



Japan
International
Cooperation
Agency



JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY



**Metodología para la determinación de la calidad
hídrica**

Mediante comunidades zoobentónicas

Río Maipo

Informe Final

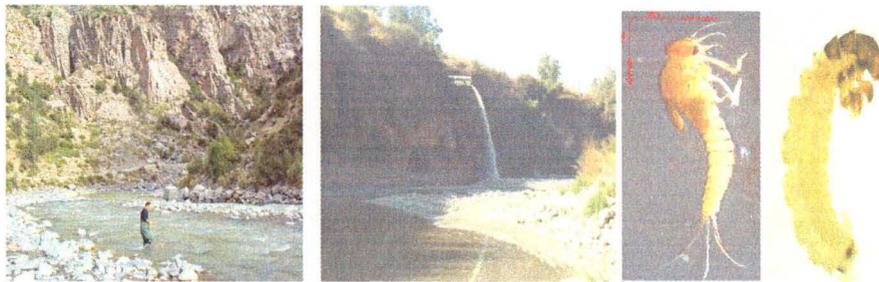
Marzo 2004



CENTRO DE ECOLOGÍA APLICADA



JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY



**Metodología para la determinación de la calidad hídrica
mediante comunidades zoobentónicas.**

Río Maipo

Informe Final
Marzo 2004

INDICE

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVO GENERAL	4
2.1. Objetivos Específicos	4
3. AREA DE ESTUDIO Y ESTACIONES DE MUESTREO	5
3.1 Estaciones de Muestreo	5
3.2. Fechas de Muestreo	14
4. METODOLOGÍA	15
4.1. Parámetros Físicos	15
4.1.1. Toma y conservación de las muestras	15
4.1.2. Métodos analíticos	16
4.2. Parámetros Biológicos	17
4.2.1. Macroinvertebrados bentónicos	17
4.2.1.1. Toma y conservación de las muestras	17
4.2.1.2. Parámetros comunitarios	18
4.2.1.3. Índices bióticos (Método Beck Tsuda)	19
4.3. Análisis Estadísticos	21
5. RESULTADOS	22
5.1. Parámetros Físico-Químicos	22
5.1.1. Calidad de agua por parámetro (Instructivo Presidencial)	34
5.1.2. Variables ambientales físicas y químicas (Análisis de CANOCO)	39
5.2. Macroinvertebrados Bentónicos	41
5.2.1. Diversidad general del área	41
5.2.2. Parámetros comunitarios	43
5.2.3. Muestreo Mayo 2004	50
5.2.4. Aplicación de índices bióticos	53
5.2.5. Análisis de CANOCO	82
6. DISCUSIÓN	88
7. CONCLUSIONES	93
7.1 Parámetros Físico-Químicos	
7.2 Macroinvertebrados bentónicos	
8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	97
9. EQUIPO DE TRABAJO	100

1. INTRODUCCION

La contaminación del agua es ante todo un problema biológico, ya que afecta directa o indirectamente a las especies incluyendo al hombre. Tradicionalmente los parámetros físicos y químicos han sido utilizados para evaluar la calidad del agua en sus diferentes usos. Para ello, se han desarrollado numerosos métodos e índices que tratan de interpretar la situación global, o grado de alteración de los sistemas acuáticos. Unos se basan exclusivamente en análisis químicos, si bien en principio son de una gran precisión, son testigos, de las condiciones instantáneas de las aguas, donde los contaminantes se detectan sólo si son dispuestos en el momento. Los resultados son puntuales en la dimensión temporal y no revelan mucho de la evolución de una carga contaminante y de la capacidad resiliente de los ecosistemas acuáticos (Roldan 1999).

Como una alternativa a estos procedimientos, desde hace varios años numerosos países han generado conocimientos y desarrollado técnicas de biomonitoreo basados en indicadores biológicos, a través de la evaluación de reacciones e índices de sensibilidad de organismos vivos ante la presencia de sustancias xenobióticas en los sistemas acuáticos. Los organismos informan de la situación tanto momentánea como de lo acontecido algún tiempo antes de la toma de muestras, es decir, es como tener información del presente y pasado de lo que esta sucediendo en el ecosistema (Alba-Tercedor 1988).

En este marco, una especie indicadora es definida (Rosenberg & Resh 1993) como una especie (o asociación de especies) que tiene requerimientos particulares respecto a un conjunto de variables físicas o químicas, donde cambios en la presencia / ausencia, abundancia, morfología, fisiología o el comportamiento de las especies indicarían que las variables químicas o físicas están fuera de sus límites de tolerancia. El o los factores que regulan la distribución y abundancia pueden actuar en algún estado de su ciclo de vida, y puede ser de origen abiótico (e.g. variables químicas como oxígeno, iones hidrógeno, o concentraciones de metales traza; variables físicas como la sedimentación) o biótico (e.g. competencia, depredación, parasitismo). Los organismos indicadores son aquellas especies que tienen tolerancias ambientales estrechas y específicas. La presencia de una comunidad biológica o de ciertos taxa en un cuerpo de agua, es un índice inequívoco de las condiciones que allí están prevaleciendo, su presencia significa que los requerimientos físicos, químicos y nutricionales están siendo satisfechos. Por lo tanto, si los factores ambientales que comúnmente están limitando a las especies son conocidos, la presencia del organismo indicaría condiciones ambientales específicas. Al contrario, organismos que presentan amplias tolerancias para diferentes condiciones ambientales, y aquellos patrones de distribución o abundancia son sólo levemente afectados por importantes variaciones en la calidad ambiental, serían pobres indicadores. Mientras la presencia de una especie nos asegura que ciertas condiciones mínimas han sido encontradas, la ausencia de una especie no significa necesariamente que estas condiciones mínimas no han sido cumplidas, ya que tal ausencia podría también resultar de barreras geográficas, ocupación de su nicho funcional o eventos intrínsecos de su ciclo de vida.

El uso de índices para resumir la información y para evaluar el efecto de la contaminación sobre las comunidades acuáticas ha sido aplicado por los científicos hace décadas. Existen tres tipos básicos de índices: los de diversidad (Shannon, Simpsons, Margalef, Berger-Parker), comparación (similaridad o disimilaridad) y los índices bióticos. Los índices bióticos difieren de los otros dos en que a menudo son específicos al tipo de contaminación o al área geográfica involucrada. Estos índices son usados para clasificar el grado de contaminación en los sistemas acuáticos determinando las tolerancias o sensibilidades de un organismo a un determinado contaminante (concepto de organismo indicador). A la presencia de organismos indicadores en una muestra, son asignados puntajes de acuerdo a su tolerancia o intolerancia al contaminante en cuestión. La suma de los puntajes individuales entrega un valor en el cual el grado de contaminación de un sitio puede ser identificado. Los índices bióticos son los más utilizados debido a que ellos incorporan respuestas biológicas en una expresión numérica la que puede ser entendida fácilmente.

El uso de macroinvertebrados bentónicos para valorar y determinar la calidad del agua tiene cuando menos 100 años de antigüedad. De estas técnicas, los insectos acuáticos (entre un 70-90% de la fauna de macroinvertebrados dulceacuícolas) han sido el grupo más estudiado por numerosos investigadores (Hynes 1962; Hellawell 1986; Abel 1989; Rosenberg & Resh 1993, 1996). Los macroinvertebrados acuáticos son generalmente abundantes, relativamente fáciles de coleccionar y tienen el suficiente tamaño para ser observados sin necesidad del microscopio, o cuando menos se prescindir de infraestructura sofisticada. Por otra parte, la literatura menciona que en términos generales existen pocas diferencias en la entomofauna acuática que existe en los ríos y lagos naturales y la de los canales artificiales y presas (Sánchez & García 1999). Los insectos acuáticos presentan las siguientes ventajas de acuerdo a Rosenberg & Resh (1996).

- 1) Son casi omnipresentes.
- 2) Son sedentarios.
- 3) Son extremadamente sensibles a perturbaciones.
- 4) Presentan largos ciclos de vida.
- 5) Muestran una respuesta inmediata ante un determinado impacto.
- 6) Existe un patrón de estímulo-respuesta ante alteraciones físico-químicas.
- 7) Existen ya métodos de evaluación y conocimiento sobre taxonomía para algunas regiones.

La aplicación de este tipo de instrumentos en nuestro país podría ser de bastante utilidad para evaluar la salud de los ecosistemas acuáticos, los cuales están sometidos a un nivel elevado de perturbaciones naturales y antrópicas (Contreras 1998). La implementación de estos instrumentos requiere en forma previa de su calibración y validación, debido a que la flora y fauna que dieron origen a los bioindicadores es diferente a la que habita en nuestro país. Por ende, antes de aplicar los índices desarrollados en el extranjero, es necesario conocer que tipos de organismos viven aquí, cuales son sus requerimientos ambientales y su distribución geográfica. Debe igualmente tenerse en cuenta, que dentro de los métodos existentes, los hay desde los más simples, en los cuales bastaría utilizar sólo grupos mayores de organismos (por

ejemplo al nivel de órdenes y familias: Índice Biótico Extendido, Getti 1986), hasta los más complejos como el sistema saprobio alemán (basado en el principio planteado por Kolkowitz & Marson, 1908, 1909), el cual exige llegar hasta nivel de especie. El conocimiento en nuestro país de la flora y fauna acuática de agua dulce aún es escaso e incompleto, situación que limita fuertemente el uso de los bioindicadores.

En Mayo del 2003 se realizó un estudio que tuvo como objetivo desarrollar una "Metodología para la determinación de la calidad hídrica mediante comunidades biológicas (diatomeas y macroinvertebrados bentónicos) en la cuenca del río Maipo".

Entre los resultados se obtuvo que:

- Con relación a la determinación de organismos indicadores, existen numerosas especies del zoobentos que responden al cambio en la calidad del agua. Se recomendó aumentar los tamaños muestrales para aumentar la precisión.
- En cuanto a la metodología para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas, se puede establecer que el Método Beck-Tsuda es factible de ser implementado a partir de los macroinvertebrados bentónicos, pero como las especies son pocas y existen diferencias en cuanto a sus requerimientos ambientales, es necesario validar el método.

Las preguntas que se pretenden responder en este trabajo son:

- 1.- ¿Es posible utilizar a los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de diferentes grados de calidad del agua en el río Maipo?
- 2.- ¿Es posible establecer la metodología Beck Tsuda (ampliamente utilizado en Japón) en la determinación de la calidad del agua mediante los macroinvertebrados bentónicos?

2. Objetivo General

Desarrollar una metodología para la determinación de la calidad del agua mediante comunidades biológicas, en la cuenca del río Maipo. Para lo cual se complementaron los resultados obtenidos en Mayo del 2003 respecto del uso de comunidades zoobentónicas como indicadores bióticos.

2.1 Objetivos Específicos

- Caracterizar químicamente la calidad de agua del Maipo en 28 estaciones.
- Realizar un muestreo de 24 horas en las estaciones del río Maipo que presentaron las mayores concentraciones de DBO_5 en la campaña de Mayo del 2003.
- Caracterizar aspectos biológicos seleccionados del zoobentos presentes en el río Maipo.
- Relacionar las comunidades del zoobentos (macroinvertebrados bentónicos) con las diferentes concentraciones de DBO_5 obtenidos en las estaciones evaluadas del río Maipo (Método Beck Tsuda), para así poder determinar especies indicadoras de buena, regular y mala calidad de las aguas.

3. Area de estudio y estaciones de muestreo

3.1 Estaciones de muestreo: El área de estudio correspondió al curso principal del río Maipo, donde se realizó un muestreo de tipo cuantitativo para las variables físicas y químicas además de un muestreo biológico de macroinvertebrados bentónicos. El muestreo se realizó en febrero del 2004 en 28 estaciones para el muestreo químico, y en 27 para el biológico, esto último debido a la inaccesibilidad a la estación E2. La **Tabla 3.1** indica las 28 estaciones muestreadas en la cuenca del río Maipo, ubicadas longitudinalmente en el curso principal, desde el nacimiento del río hasta su desembocadura. A diferencia del muestreo realizado en Mayo del 2003, en esta ocasión sólo fue evaluado el curso principal, sin incluir los tributarios.

Tabla 3.1. Codificación, ubicación y descripción de las 28 estaciones seleccionadas para el muestreo físico, químico y biológico desarrollado en el río Maipo.

Estación	Descripción	Norte	Este
1 M1	Río Maipo sector Las Melosas	6.255.048	388.185
2 M2	Río Maipo sector Ingenio	6.263.070	382.231
3 M3	Río Maipo sector de San Alfonso	6.266.751	379.723
4 M4	Río Maipo aguas abajo desembocadura río Colorado	6.282.022	373.403
5 M5	Río Maipo sector la Lajas	6.283.929	368.274
6 M6	Río Maipo sector Las Vertientes	6.282.553	364.464
7 M7	Río Maipo aguas arriba efluentes aguas servidas e industriales	6.279.356	356.674
8 M8a	Río Maipo inmediatamente aguas abajo aguas industriales matadero	6.279.500	356.800
9 M8b	Río Maipo aprox. 3 km aguas abajo aguas industriales matadero	6.278.628	354.557
10 M9a	Río Maipo aprox. 800 m alcantarillado planta de tratamiento y aguas industriales (matadero)	6.278.546	354.434
11 M9b	Río Maipo aprox. 1,5 km alcantarillado planta de tratamiento y aguas industriales (matadero)	6.277.764	353.559
12 M10	Río Maipo aguas arriba alcantarillado aguas servidas, sector Los Morros	6.275.265	346.543
13 E1	Río Maipo aguas arriba embalse, sector con sustrato de grava	6.276.357	349.195
14 E2	Río Maipo aguas arriba embalse, sector con fondos arenosos	6.275.977	348.636
15 E3	Río Maipo inmediatamente aguas abajo embalse	6.275.297	348.636
16 M11	Río Maipo a 1 Km. aguas abajo alcantarillado aguas servidas, sector Los Morros	6.274.979	345.855
17 M12	Río Maipo en Panamericana	6.271.653	340.892
18 M13	Río Maipo aguas arriba alcantarillado aguas servidas, sector Viconto.	6.266.527	333.799
19 M14	Sector Valdivia de Paine, bajo 2 alcantarillados aguas servidas	6.263.952	331.834
20 M15	Sector Viconto sector Naltahua	6.266.840	322.343
21 M16	Río Maipo antes de la desembocadura río Mapocho	6.267.348	314.085
22 M17	Río Maipo aguas abajo desembocadura río Mapocho	6.267.541	311.112
23 M18	Río Maipo en sector Chihuehue (Juncal)	6.269.741	304.433
24 M19	Río Maipo aguas arriba industria Bata y efluente aguas tratadas, sector Melipilla.	6.269.396	297.710
25 M20	Río Maipo inmediatamente aguas abajo Planta de tratamiento aguas servidas	6.268.557	295.885
26 M21	Río Maipo en sector Quincagüe	6.2590.93	272.745
27 M22	Río Maipo en sector Cabimbao	6.260.404	267.882
28 M23	Río Maipo aprox. a 4 km. de la desembocadura	6.275.129	259.767

Fueron incorporadas en el sector de Puente Alto (existencia de efluentes industriales y plantas de tratamiento) 2 estaciones para ver el efecto puntual y la disolución de la carga contaminantes de estos efluentes (M8a, M9b). También fueron agregadas 3 estaciones (Embalse 1, Embalse 2, Embalse 3) en el sector de la confluencia del río Clarillo con el Maipo, donde se encuentra un embalse de paso, el objetivo de la incorporación de estas estaciones fue determinar el efecto de la sedimentación del material particulado del río Maipo aguas abajo de esta presa sobre las comunidades de macroinvertebrados.

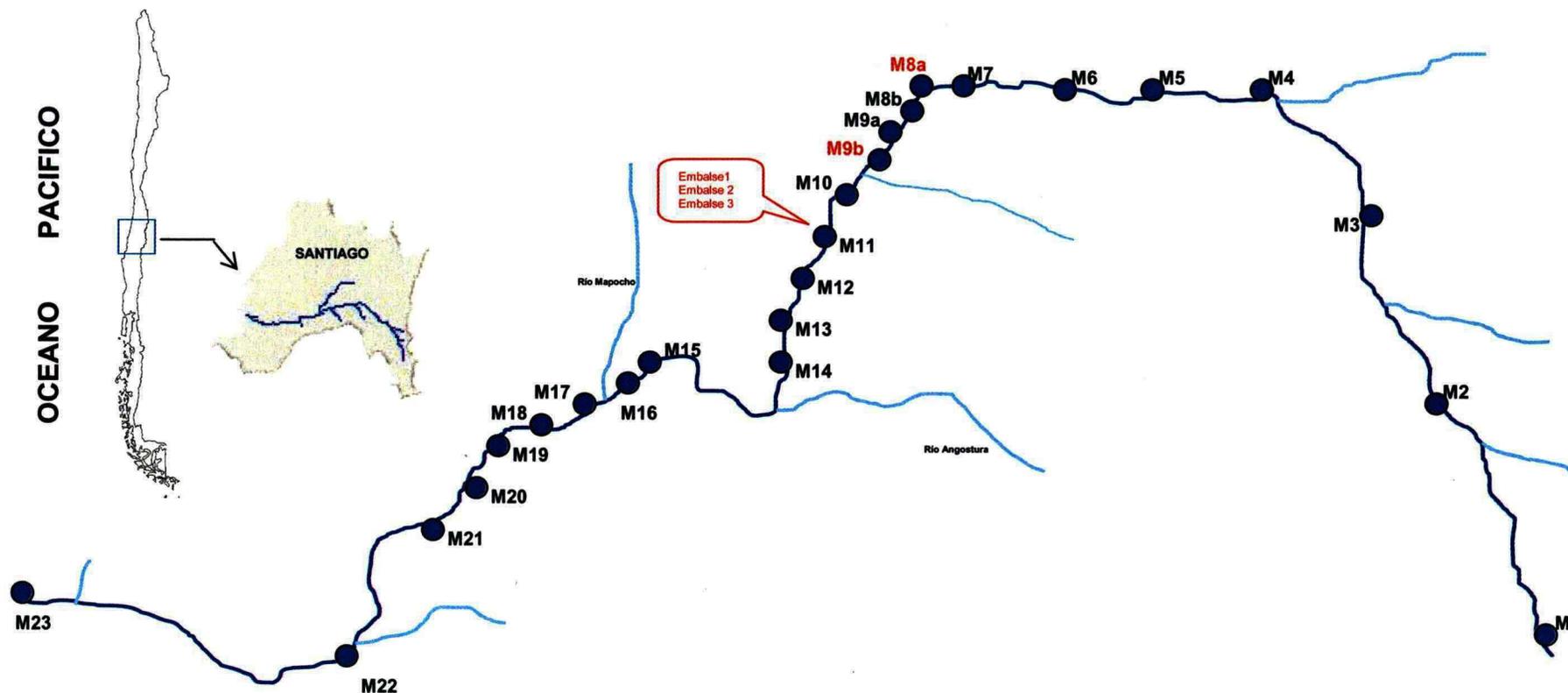
El río Maipo en Febrero del 2004 se caracterizó por altos caudales como resultado de los deshielos primaverales y estivales. Por esto motivo, al momento del muestreo se observó una baja densidad de macroinvertebrados bentónicos producto de la alta carga de sólidos suspendidos que impedían la colonización y adherir de dicho grupo biológico a los sustratos del fondo (grava). Esto fue detectado principalmente en el sector alto y medio del río, aproximadamente hasta la estación M12. Con los antecedentes de Mayo 2003, se sabía que el sector comprendido entre las estaciones M8 y M9 presentaba las menores riquezas taxonómicas y mayores DBO₅. Por esta razón, para tener la posibilidad de poder capturar organismos bentónicos indicadores de mala calidad del agua, se repitió en mayo del 2004 el muestreo biológico y de DBO₅ en este sector.

La **Figura 3.1** entrega un mapa con la ubicación relativa de las estaciones de muestreo. La **Figura 3.2; Figura 3.3 y Figura 3.4** entregan las vistas panorámicas del muestreo de Febrero del 2004, del monitoreo continuo de DBO₅ y de la campaña de Mayo 2004.

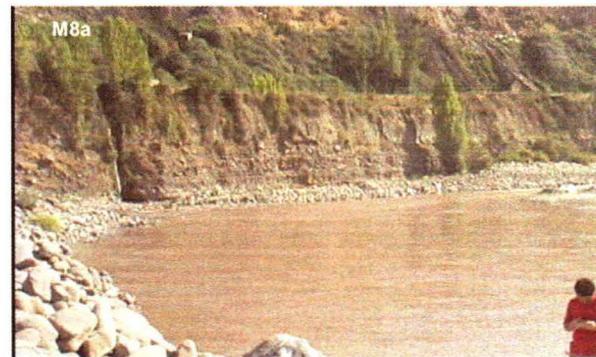
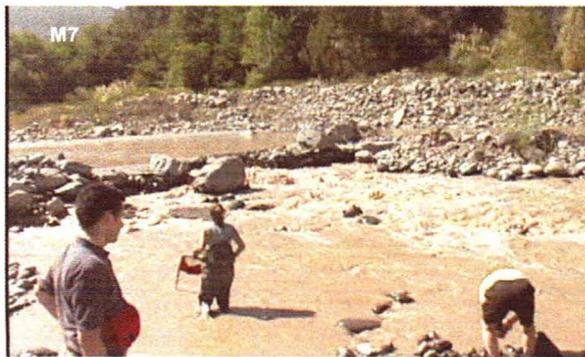
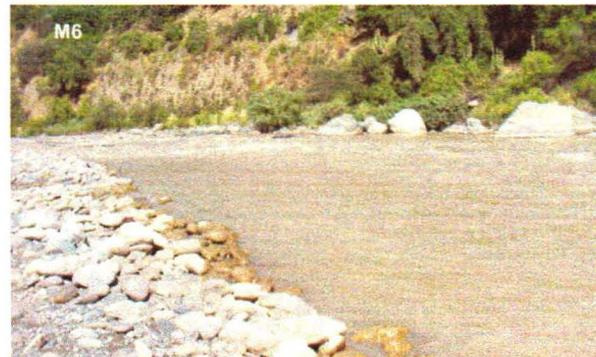
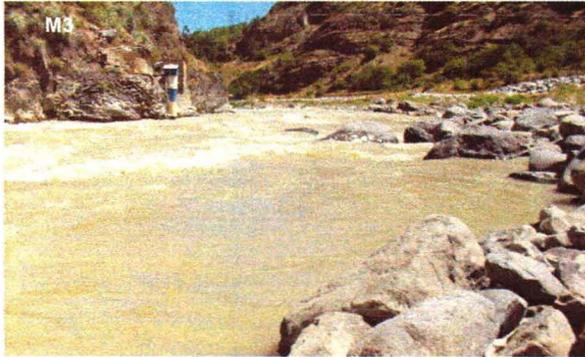
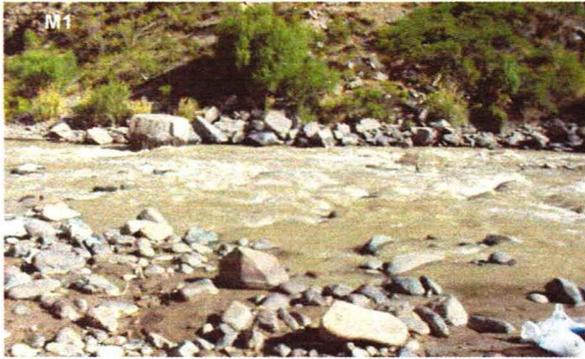
CUENCA DEL RÍO MAIPO

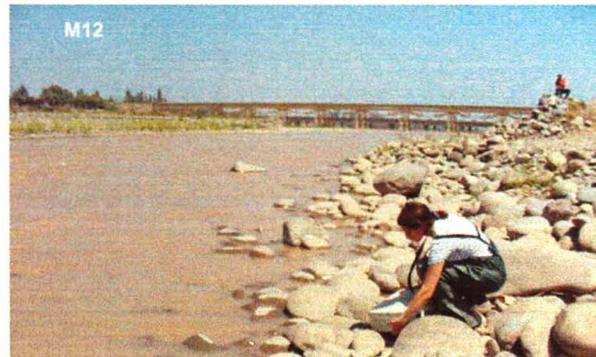
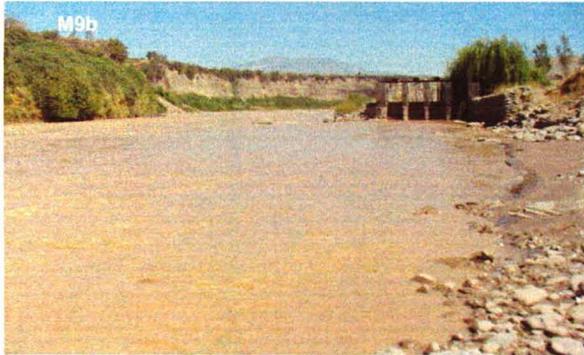
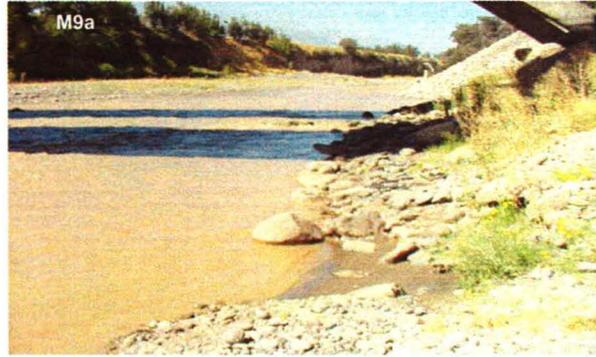
Estaciones de Muestreo

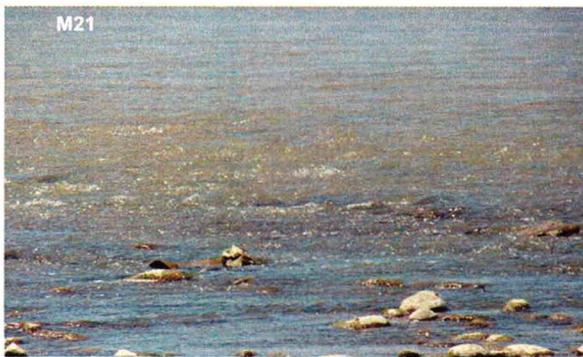
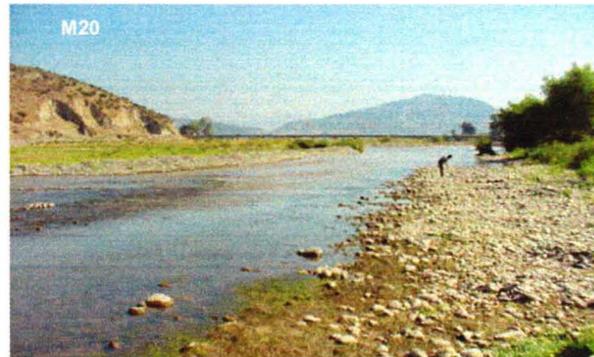
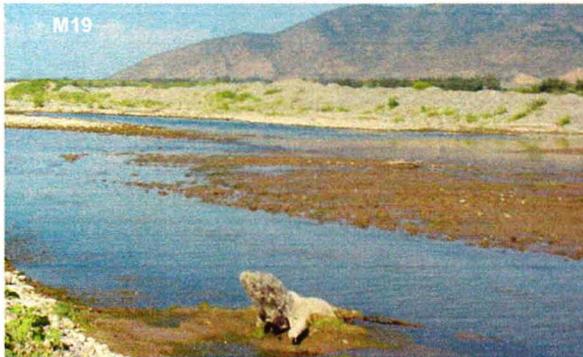
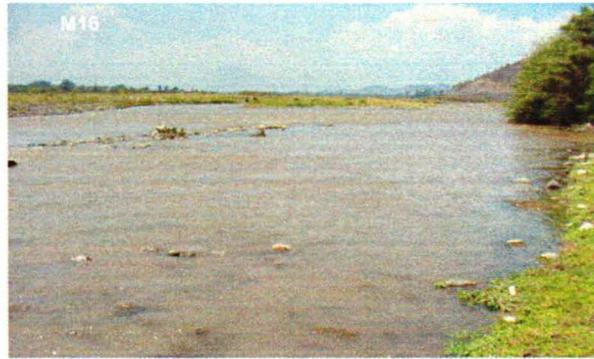
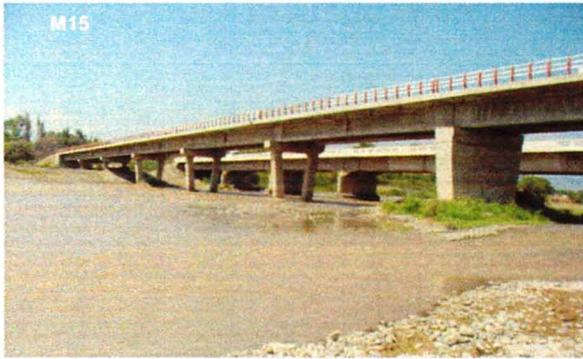
(Figura 3.1)



M1: Río Maipo sector Las Melosas, **M2:** Río Maipo sector Ingenio, **M3:** Río Maipo sector de San Alfonso, **M4:** Río Maipo aguas abajo desembocadura río Colorado, **M5:** Río Maipo sector la Lajas, **M6:** Río Maipo sector Las Vertientes, **M7:** Río Maipo aguas arriba efluentes aguas servidas e industriales, **M8a:** Río Maipo inmediatamente aguas abajo efluente industrial (matadero) **M8b:** Río Maipo inmediatamente aguas abajo de planta de tratamiento, **M9a:** Río Maipo a 100 m de alcantarillado planta de tratamiento, **M9b:** Río maipú aproximadamente a 500 m aguas abajo de Planta de tratamiento, **M10:** Río Maipo aguas arriba alcantarillado aguas servidas, sector Los Morros, **M11:** Río Maipo a 1 Km. aguas abajo alcantarillado aguas servidas, sector Los Morros, **M12:** Río Maipo en Panamericana, **M13:** Río Maipo aguas arriba alcantarillado aguas servidas, sector Viconto, **M14:** Sector Valdivia de Paine, bajo 2 alcantarillados aguas servidas, **M15:** Sector Viconto sector Naltahua, **M16:** Río Maipo antes de la desembocadura río Mapocho, **M17:** Río Maipo aguas abajo desembocadura río Mapocho, **M18** Río Maipo en sector Chifihue (Juncal), **M19:** Río Maipo aguas arriba industria Bata y efluente aguas tratadas, sector Melipilla, **M20:** Río Maipo inmediatamente aguas abajo Planta de tratamiento aguas servidas, **M21:** Río Maipo en sector Quincagüe, **M22:** Río Maipo en sector Cabimbao, **M23:** Río Maipo aprox. a 4 km. de la desembocadura. **Embalse 1 (E1):** Río Maipo aguas arriba embalse, sector con sustrato de grava; **Embalse 2 (E2):** Río Maipo aguas arriba embalse, sector con fondos arenosos; **Embalse 3 (E3):** Río Maipo inmediatamente aguas abajo embalse.







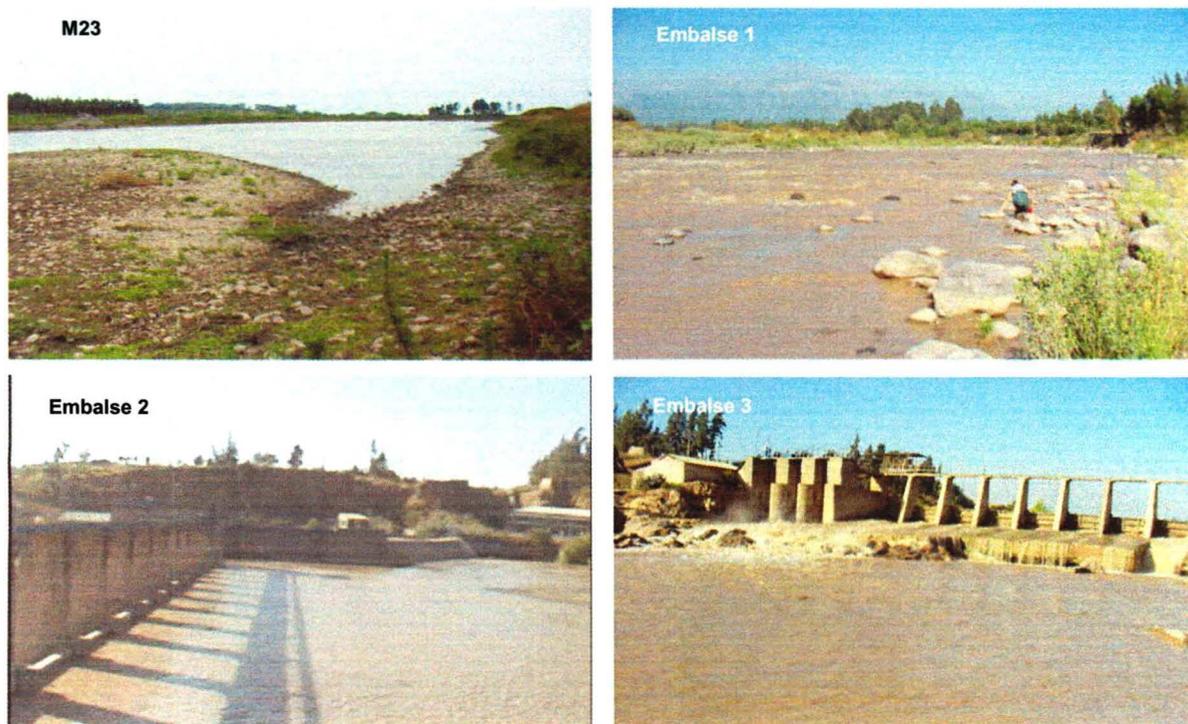


Figura 3.2. Vistas panorámicas de las 28 estaciones muestreadas en la campaña realizada en Febrero 2004. Cuenca del río Maipo.

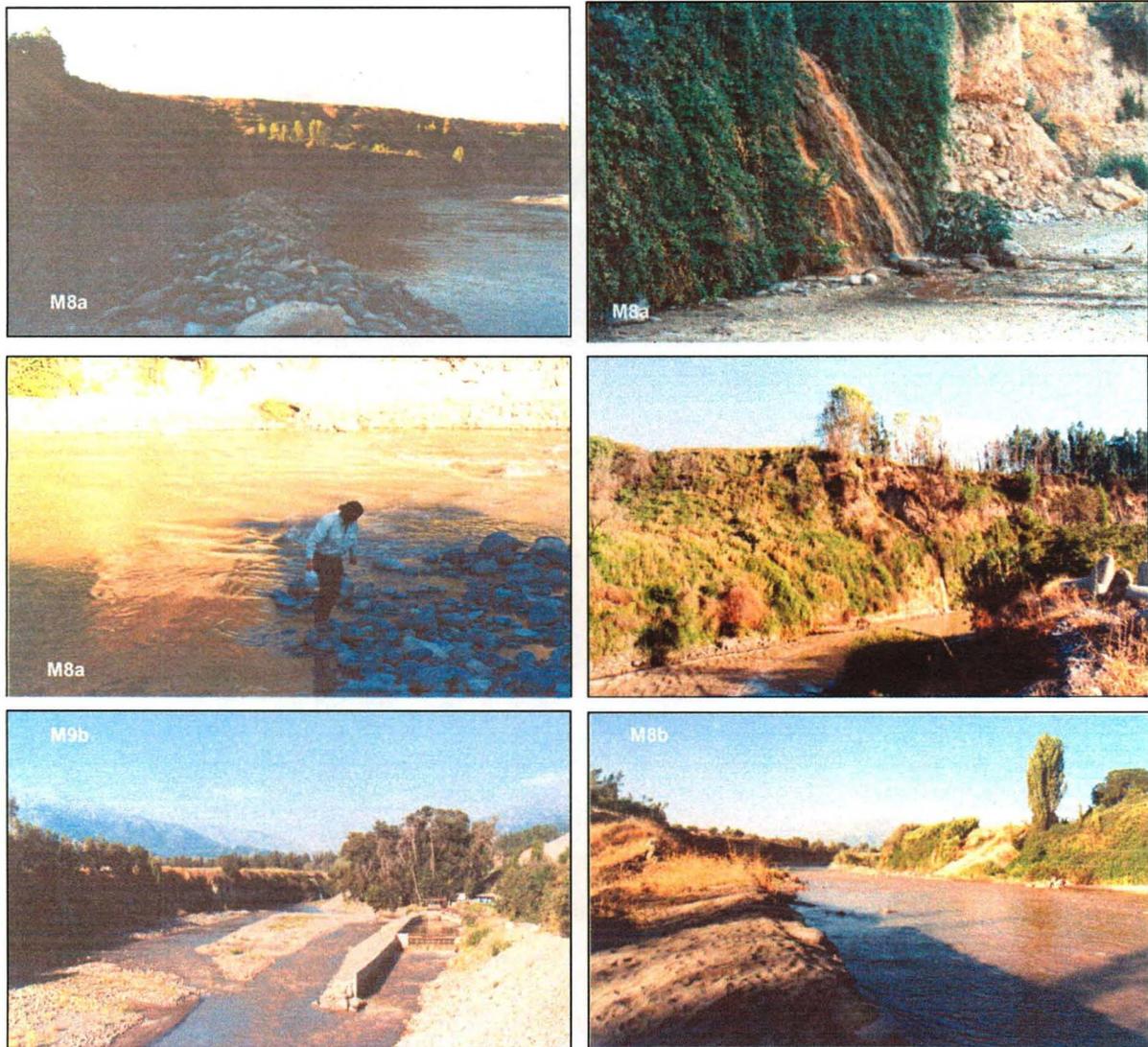


Figura 3.3. Vistas panorámicas de las estaciones en que se realizaron muestreos continuos del parámetro DBO_5 . Campaña Febrero 2004. Cuenca del río Maipo.

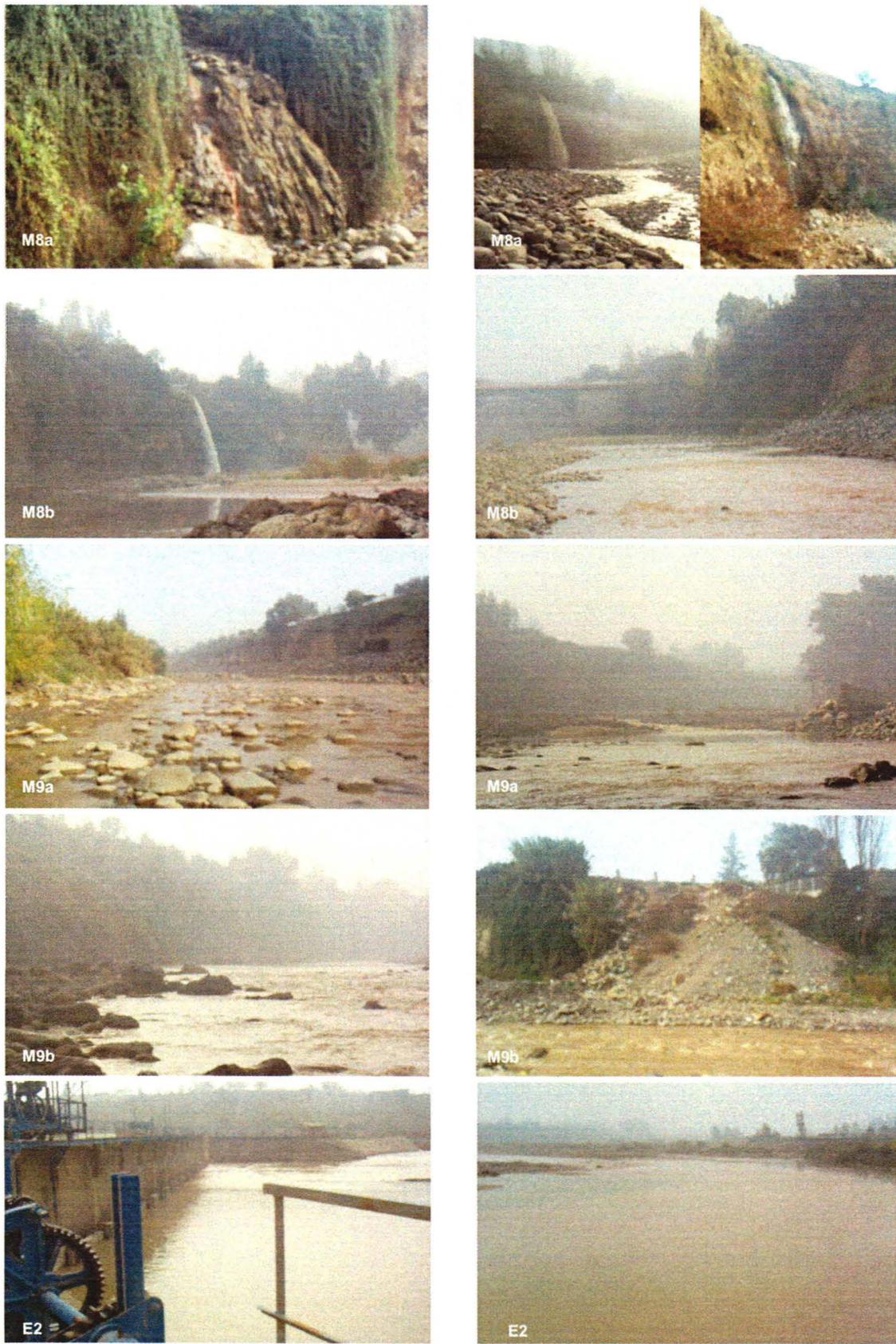


Figura 3.4. Vistas panorámicas de las estaciones en que se repitió el muestreo de macroinvertebrados bentónicos y DBO_5 . Mayo 2004.

3.2 Fechas de muestreo: En la **Tabla 3.2** se indican las fechas en que fueron muestreadas cada una de las estaciones.

Tabla 3.2. Fechas en que fueron muestreadas cada una de las estaciones.

Fecha de Muestreo	Estaciones muestreadas
Lunes 16 febrero Martes 17 febrero	Obtención muestras de DBO durante 24 horas (M7, M8a, M8b, M9a, M9b). M7: Control, muestras de DBO cada 12 horas. M8a: Muestras de DBO cada 4 horas M8b: Muestras de DBO cada 4 horas M9: Muestras de DBO cada 4 horas M9b: Muestras cada 12 horas
Miércoles 18 febrero	Muestreo estaciones: M2, M3, M4, M5, M6 (Calidad de agua y macroinvertebrados bentónicos)
Jueves 19 febrero	Muestreo estaciones: M7, M8a, M8b, M9a, M9b más 3 estaciones ubicada en el embalse sector Los Morros (Embalse 1, Embalse 2, Embalse 3). (Calidad de agua y macroinvertebrados bentónicos)
Viernes 20 febrero	Muestreo estaciones: M10, M11, M12, M13, M14, M15 (Calidad de agua y macroinvertebrados bentónicos)
Martes 24 febrero	Muestreo estaciones: M16, M17, M18, M19, M20 (Calidad de agua y macroinvertebrados bentónicos)
Miércoles 25 febrero	Muestreo estaciones: M21, M22, M23. (Calidad de agua y macroinvertebrados bentónicos)
Jueves 26 febrero	Muestreo estación: M1 (Calidad de agua y macroinvertebrados bentónicos)
Miércoles 19 Mayo	Muestreo biológico y DBO5 en las estaciones M8a, M8b, M9a y M9b.

4. METODOLOGÍA

4.1 Parámetros físicos y químicos

Fueron evaluados en la campaña de Febrero 2004 los siguientes parámetros físicos y químicos: temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad, porcentaje de saturación, turbiedad, color, DBO₅, nitrógeno y fósforo total, materia orgánica e inorgánica en sedimento, materia orgánica particulada en agua. En la campaña de Mayo 2004 sólo se evaluó el parámetro DBO₅.

4.1.1 Toma y conservación de las muestras

La toma y preservación de las muestras para el análisis físico-químico, fue realizado siguiendo los procedimientos definidos por el Standar Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA-AWWA-WPCF 1995). La **Tabla 4.2.1** entrega los parámetros físicos y químicos analizados.

Tabla 4.1.1 Parámetros físico-químicos incluidos en el estudio

PARAMETROS	ESTACIONES
Temperatura	Todas
pH	Todas
Oxígeno disuelto	Todas
Conductividad	Todas
% saturación de oxígeno	Todas
Turbiedad	Todas
Color	Todas
N-total	Todas
P-total	Todas
DBO ₅	Todas
Materia orgánica particulada agua	Todas
Materia orgánica de sedimento	Todas
Materia inorgánica de sedimento	Todas
Coliformes totales y fecales	Todas

La obtención de las muestras superficiales se realizó con un muestreador de polietileno, el que fue sumergido totalmente en el curso de agua, llenando con él los frascos proporcionados por el laboratorio analítico para los distintos análisis.

Adicionalmente se realizó un muestreo de DBO₅ durante 24 horas en el sector comprendido entre M7 y M9b.

Una vez tomadas las muestras, fueron debidamente rotuladas y preservadas, embaladas en cajas contenedoras aislantes con bolsas de hielo e ice pack para mantener las muestras a una temperatura aproximada de 4 °C durante el transporte al laboratorio.

4.1.2 Métodos analíticos

Los métodos analíticos utilizados para cada uno de los parámetros incluidos en el estudio fueron los siguientes:

- **Parámetros in situ:** Los parámetros temperatura, pH, color, conductividad, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación fueron medidas *in situ*, mediante la utilización de un Sensor Multiparamétrico WTW, Modelo Multiline P4 / Multiline F-Set T-3.

- **Turbiedad y Color:** El color aparente se midió por colorimetría utilizando un colorímetro portátil marca Hanna. La determinación de turbidez se realizó de acuerdo al método Nefelométrico según Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 19th Edition. APHA AWWA WEF.1995.

- **Fósforo total:** Se midió en muestras de agua sin filtrar según Mühlhauser et al. (1987).

- **Nitrógeno total:** Se midió en muestras de agua sin filtrar según Mühlhauser et al. (1987).

- **Demanda bioquímica de oxígeno:** La muestra para análisis de Demanda Bioquímica de Oxígeno, una vez tomada se mantuvo a una temperatura de 4°C hasta llegar al laboratorio de análisis donde fue sometida a análisis a través del Método de Winkler para estimar la concentración de DBO₅ en forma previa y posterior a la incubación.

- **Materia Orgánica particulada y en sedimento:** La muestra tomada fue filtrada utilizando un filtro de fibra de vidrio de tamaño de poro aprox. 0,7 µm, quedando retenido el material particulado presente en el curso de agua. Posteriormente, se realizó un análisis gravimétrico para determinar el porcentaje de materia orgánica por diferencia de ceniza. Para obtener la materia orgánica en sedimento, se homogenizó la muestra sólida y se colocó en estufa para eliminar la humedad a 105°C por tres días, a partir de esta se pesó aproximadamente 2 gramos y finalmente se calcinó en la mufla a 450°C por 2 horas y se volvió a pesar la muestra. A través de cálculos se determinó el contenido de materia orgánica.

- **Coliformes Totales y Fecales:** Se utilizó el test de sustrato cromogénico de acuerdo APHA, AWWA & WFF (1995).

4.2 Parámetros biológicos

4.2.1 Macroinvertebrados bentónicos

4.2.1.1 Toma y conservación de las muestras

Se tomaron muestras cuantitativas y cualitativas de macroinvertebrados bentónicos en todas las estaciones de muestreo. Los muestreos cuantitativos se realizaron mediante una red Surber de 0,1 m² de área de superficie de muestreo y 250 µm de abertura de malla, siguiendo las especificaciones de la norma ASTM (1989) (**Figura 4.2.2.1.**). Se consideraron 6 réplicas por punto de muestreo.

Las muestras fueron almacenadas en bolsas plásticas, etiquetadas y fijadas con formalina neutra al 4%. La separación de los organismos se realizó con pinzas, bajo una lupa estereoscópica, donde fueron extraídos todos los individuos, cuantificados e identificados. La identificación de los organismos se realizó mediante literatura especializada, tratando de llegar hasta el nivel taxonómico más bajo posible, siguiendo principalmente a: Illies (1963), Csiro (1970), Benedetto (1974), Jara (1982), McCafferty (1983), Merrit & Cummins (1984), Caamaño (1985), Flint (1968,1969,1973a,b, 1974, 1979, 1983, 1985), Spangler (1979), Edmunds *et al.* (1979), Holzenthal (1984, 1986a, 1986b, 1988 1995), Holzenthal & Harris (1992), Domínguez *et al.* (1992), Hauer & Lamberti (1996).

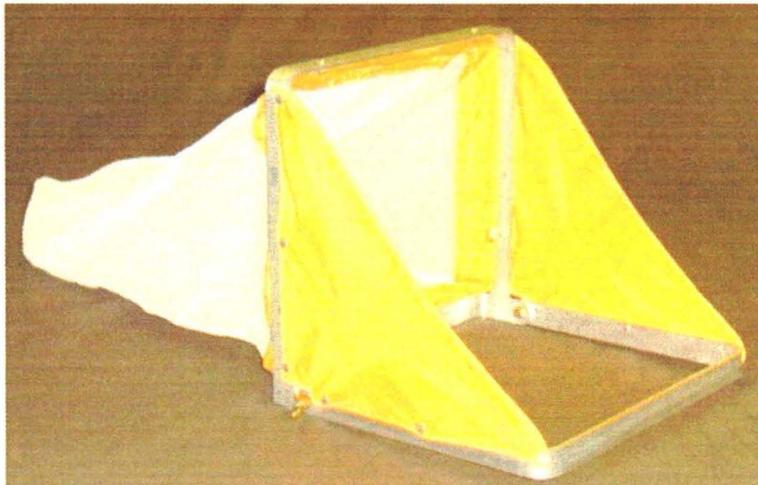


Figura 4.2.2.1. Muestreador de macroinvertebrados bentónicos, red Surber. Muestreo tipo cuantitativo.

4.2.1.2 Parámetros Comunitarios

Fueron determinados a partir de una matriz de especies v/s estaciones de muestreo.

- **Riqueza taxonómica:** Número de grupos taxonómicos diferentes presentes en cada una de las estaciones de muestreo.

- **Abundancia Total:** Número de individuos obtenidos por m² en cada una de las muestras.

- **Diversidad de Shannon (H')**: Se aplicó el índice de diversidad biológica de Shannon-Wiener ("H") (Krebs 1988), su cálculo se realizó basándose en todos los organismos presentes en las muestras de acuerdo a:

$$H'(\text{bits}) = - \sum_{i=1}^s (p_i) (\log_2 p_i)$$

donde:

s = número de especies.

p_i = proporción de la especie i en la muestra.

- **Equidad (J')**: Este es un índice de la homogeneidad en la abundancia de las especies en la muestra (Krebs 1988), según:

$$J' = H' / H' \text{ max.}$$

donde:

H' = índice de Shannon-Wiener.

H' max = valor máximo teórico de H'.

4.2.1.3 Índices bióticos (Método Beck Tsuda)

Este método fue propuesto originalmente por BECK (1955), pero, más tarde TSUDA realizó algunas modificaciones para facilitar su aplicación. Existen dos métodos, α y β , los cuales se denominan índice biótico (α) e índice biótico (β) respectivamente.

- Índice biótico α

- a) Sacar una muestra del fondo pedregoso de un río con corriente.
- b) Elegir un lugar de muestreo es donde haya mayor cantidad de piedras de tamaños menor a una sandía y mayor a una mandarina, y cuya velocidad de la corriente sea 100-150 cm/seg.
- c) La profundidad del lugar de muestreo debe ser hasta la altura de las rodillas.
- d) Estandarizar el área de muestreo. Colocar un marco de metal de 30cm x 30cm en el fondo del río, y dentro de esa área, coleccionar todos los organismos visibles a simple vista.
- e) Identificar taxonómicamente los organismos coleccionados. Dividir los organismos en tolerantes e intolerantes a contaminación. En el sistema de saprobio (saprobie system), los organismos oligosaprobios corresponden a los intolerantes a contaminación; los mesosaprobios y polisaprobios se consideran tolerantes. Las especies de organismos indicadores que se utilizan en esta clasificación se nombrarán más adelante.
- f) Para calcular el índice biótico, el número de especies intolerantes corresponde a A y los tolerantes B, entonces,

$$\text{Índice biótico} = 2A+B$$

- g) Hacer un muestreo 2 veces utilizando el marco de metal de 30 cm x 30 cm, calcular el índice biótico, y se considera como índice biótico del lugar el correspondiente al mayor valor numérico.

Los puntos a, b y c corresponden a medidas para uniformar las condiciones medio ambientales del lugar de muestreo.

El punto f) está basado en un principio ecológico (THIENEMANN), el cual menciona que “en los lugares con condiciones medio ambientales favorables habita un gran número de especies, mientras menos equilibrado sea el ambiente, el número de especies disminuye (aunque aumenta el número dentro de una misma especie)”. Mientras más limpio es el río, mayor es la diversidad de especies y vice versa. Esta es la razón de por qué en $2A+B$, las especies intolerantes (A) corresponde al doble del valor de los tolerantes (B).

De acuerdo a los índices bióticos, la clasificación de los niveles de los medios acuáticos es el siguiente.

2A+B	Niveles
>20	oligosaprobio
11 - 19	α - mesosaprobio
6 - 10	β - mesosaprobio
0 - 5	polisaprobio

- Índice biótico β

Este método, a diferencia del índice biótico α el cual se hace un muestreo en un punto determinado, se procede a coleccionar la mayor cantidad de organismos en un área de muestreo. Una persona sostiene una red, y otras personas ubicadas río arriba remueven las piedras y las hacen rodar. Los insectos adheridos a las piedras se sueltan, fluyen en dirección de la corriente y son atrapados en la red. Este método es apto para obtener una muestra con grandes cantidades de insectos. También se puede hacer un muestreo con redes en ríos con fondos arenosos, barro u en la orillas de los ríos. Se realiza el muestreo con 4 a 5 personas por aproximadamente 30 minutos. Luego, con los organismos coleccionados se calcula el índice biótico. Debido a que el resultado del índice biótico β es mayor que el índice biótico α , el cuadro de clasificación de niveles de calidad hídrica también es diferente.

2A+B	Niveles
>30	oligosaprobio
15 - 29	β - mesosaprobio
6 - 14	α - mesosaprobio
0 - 5	polisaprobio

El método BECK-TSUDA, al igual que el método tradicional de KOLKWITZ-MARSSON (1908, 1909), se basa en la cantidad de especies coleccionadas. De acuerdo a ello, es posible determinar el nivel de calidad del agua, observando en que niveles de calidad se ubican cada una de las especies coleccionadas y en cuál nivel se encuentra la mayor cantidad de organismos. En este caso, no se considera la totalidad de organismos que viven en ese medio acuático, sino, sólo se toman en cuenta los organismos visibles por el ojo humano que habitan en los fondos del río. Por lo tanto, se considera como un método relativamente simple.

4.3. Análisis Estadísticos

Se aplicó un análisis de componentes principales (ACP) para detectar fuentes de variación espacial de parámetros ambientales y taxa mediante el programa estadístico SYSTAT (Wilkinson et al. 1992). Para establecer potenciales asociaciones entre variables ambientales y los taxa se utilizaron 2 análisis de ordenación: a) análisis de correspondencia canónica (ACC) aplicado sobre la presencia/ausencia de los taxa y b) análisis de redundancia (AR), aplicado sobre valores de abundancia absoluta, los que fueron transformados ($\text{Log}(x+1)$) para normalizar y estabilizar la varianza. Se utilizó el programa CANOCO versión 4.5 (Ter Braak & Smilauer 1999). Las covariables ambientales fueron excluidas del análisis considerando un Factor de inflación (VIF) > 10.

En el análisis de correspondencia canónica (ACC) se supone una respuesta unimodal de los taxa (puntos) con respecto a la combinación lineal de cada variable ambiental (flechas). A través de la proyección ortogonal sobre cada flecha (variable ambiental) se establece una posición relativa de cada punto (taxa), lo cual permite establecer mayor o menor grado de correlación dependiendo de su cercanía a la punta de la flecha. También es posible establecer una correlación positiva o negativa según su ubicación respecto de la dirección de la flecha.

El análisis de redundancia (AR) es descrito a través de diagramas de ordenación y se basa en una respuesta lineal de la abundancia de los taxa frente al rango de cada variable ambiental. En estos diagramas aparecen puntos que representan a los sitios de muestreo y flechas que representan a los taxa y a las variables ambientales. A través de los diagramas es posible detectar correlación entre sitios, taxa y variables ambientales. Flechas señalando en la misma dirección indican correlación positiva y en dirección opuesta correlación negativa. A mayor longitud de la flecha mayor es la variabilidad explicada por cada taxa y variable ambiental, siendo por ello estas variables las de mayor poder explicativo en el diagrama.

5. RESULTADOS

5.1. Parámetros físico-químicos

Fueron caracterizadas física y químicamente las aguas del río Maipo en las mismas estaciones donde fue realizado el muestreo biológico. Las variables evaluadas fueron los parámetros *in situ* temperatura, pH, conductividad y oxígeno disuelto, mientras que las variables analizadas en laboratorio fueron color, turbidez, DBO₅, materia orgánica e inorgánica en sedimento, materia inorgánica en la columna de agua, nitrógeno total, fósforo total, coliformes totales y fecales. El comportamiento espacial de cada una de estas variables a lo largo del río Maipo en la campaña Febrero y Mayo (DBO₅) del 2004 es presentado a continuación:

- **Temperatura (°C), Oxígeno disuelto (mg/l):** Los valores de temperatura presentaron un valor promedio de 18,0 °C, con los rangos extremos entre los 9,2 °C y los 25,9 °C. Se observa en la **Figura 5.1.4a** una tendencia al aumento de esta variable en el sentido longitudinal aguas abajo del río, excepto entre algunas estaciones como M11-M14 y M22-M23, lo que se debe probablemente al momento del día en que fue tomada la muestra. Como tendencia general, los valores más bajos fueron registrados en el sector alto de la cuenca, y los más altos en el sector bajo. Con respecto a las concentraciones de oxígeno disuelto, estos fueron altos en todas las estaciones, y con porcentajes de saturación en la mayoría de las estaciones sobre el 90%. El valor promedio fue de 8,9 mg/l con los máximos y mínimos registrados en M19 con 7,9 mg/l y M18 con 12,3 mg/l. Se observó un patrón espacial marginal con las mayores concentraciones de oxígeno en el sector alto del río, las más bajas en el sector medio y bajo (excepto M18 que presentó el valor más alto). Los valores de temperatura y oxígeno disuelto se correlacionaron negativamente (**Figura 5.1.4b**).

- **pH:** Los valores de pH se presentaron en esta campaña estacional con tendencia a la alcalinidad. El valor promedio fue de 8,0 con los máximos y mínimos en las estaciones E2 con un pH de 7,3 y la estación M21 con un pH de 8,7 (**Tabla 5.1.1** y **Figura 5.1.4c**). Como tendencia general, se observaron valores de este parámetro relativamente constantes en el sector alto y medio del río, aumentando en el sector terminal a pH mayores a 8,0.

- **Conductividad (µS/cm):** Los valores de conductividad fueron altos en todas las estaciones de muestreo (**Figura 5.1.4d**). El valor promedio fue de 1085 µS/cm. Los mayores valores de este parámetro fueron registrados en estación M1 (sector las Melosas) con 1344 µS/cm, mientras que la menor conductividad fue de 945,0 µS/cm en M12 (Maipo en Panamericana). En general, este parámetro tuvo un comportamiento constante a lo largo de todo el río, con una leve tendencia a la disminución desde la estación M1 a la estación M14. Desde la estación M14 hasta la estación M23 se observó nuevamente un leve aumento de este parámetro.

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅ mg/l)**: La **Figura 5.1.5a** muestra los resultados promedio obtenidos para este parámetro. Las mayores concentraciones de DBO₅ fueron obtenidas en el curso principal (en su tramo medio), con un valor promedio de 4,7 mg/l, con los máximos valores registrados en las estaciones M9a y M9b con un valor promedio de 8,1 mg/l y 11,2 mg/l respectivamente. Las menores concentraciones de este parámetro fueron registrados en el sector alto y terminal de la cuenca, entre las estaciones M1-M8b (<2 mg/l – 4,2 mg/l) y entre las estaciones M15 y M23 (2,8 mg/l - 2,4 mg/l).

La **Tabla 5.1.3** y **Figura 5.1.2** y **Figura 5.1.3 a,b** entrega los resultados del monitoreo continuo de DBO₅ (24 horas) realizado en las estaciones M7, M8a, M8b, M9a y M9b (Mayo 2004). Existieron algunas diferencias en la DBO₅ registrada en las estaciones a distintos momentos del día en que fue tomada la muestra, siendo más marcadas estas diferencias en las estaciones M7 (control), M8a (descarga matadero), M9a (aguas abajo Fe Grande). La estación M7 presentó una concentración promedio de DBO₅ de 3,3 mg/l, las concentración más alta en este punto se registró a las 18:30 con 5,5 mg/l, mientras que en los muestreos posteriores se mantuvo constante con bajos valores (2,1 mg/l-2,4 mg/l). La estación M8a (muestreada cada 4 horas), presentó importantes variaciones en la concentración de este parámetro en el río entre las 18:30 (13,6 mg/l) y 04:00 (5,6 mg/l), mientras que en el resto del muestreo los valores oscilaron entre <2 mg/l-2,3 mg/l. La estación M8b presentó valores bajos y relativamente constantes, con el valor más alto a las 04:00, en el resto del muestreo los valores oscilaron entre <2 mg/l y 2,4 mg/l. En la estación M9a se observó un importante aumento de este parámetro respecto a las estaciones previas, con un valor promedio de 8,1 mg/l y un máximo con 15,2 mg/l (12:00). En el resto del muestreo los valores se mantuvieron entre los 4,0 mg/l y 9,1 mg/l. La estación M9b se mantuvo estable en los 3 muestreos realizados a las 18:30, 08:00 y 18:15 con un valor promedio de 11,2 mg/l y valores entre 10,2 mg/l y 12,1 mg/l.

La **Figura 5.1.3c** grafica los resultados comparativos entre los muestreos realizados en Febrero y Mayo 2004 entre las estaciones M8a, M8b, M9a y M9b. En todas las estaciones los valores de DBO₅ fueron mayores en Mayo 2004, en M8a esta diferencia fue menor, con concentraciones de 4,2 mg/l (Febrero) y 8,0 mg/l (Mayo). Estas diferencias tienen relación con los diferentes caudales del río Maipo en la época de verano y otoño, donde los elevados caudales de febrero (aún producidos por deshielos) diluyen mucha de la carga orgánica presente en el río, no así en otoño, donde el río muestra una notoria disminución de su caudal (ver **Figura 5.1.1**), concentrándose así los contaminantes.

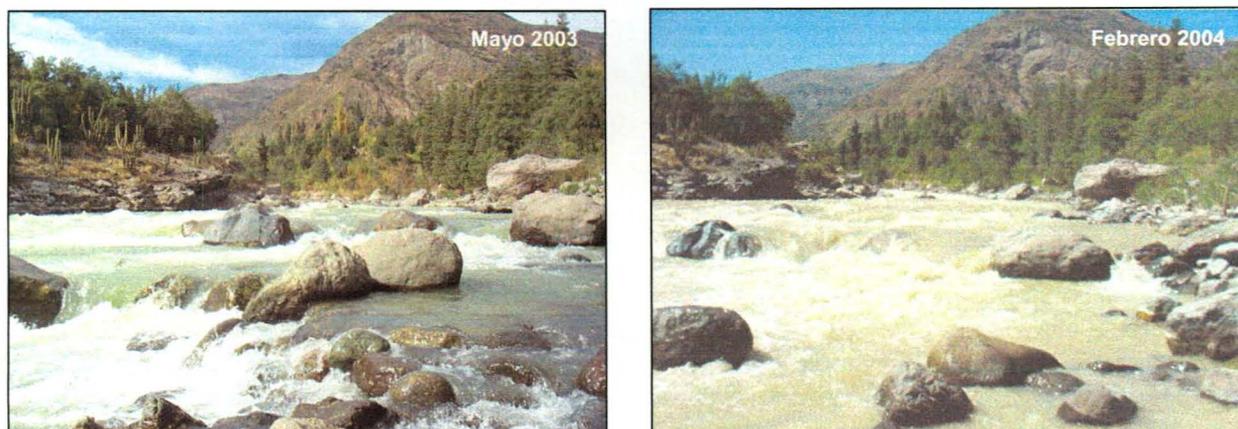


Figura 5.1.1. Vistas panorámicas de la estación M2 (sector Ingenio), donde se aprecia las diferencias de caudal entre los meses de Febrero y Mayo 2004.

- **Turbiedad (UNT):** El valor promedio de este parámetro fue de 417 UNT. Los rangos estuvieron entre los 45,5 UNT en M20 y 1049,3 UNT en M7. Este parámetro presentó un patrón similar al color, con los valores más bajos en el sector alto (M1-M6) y terminal (M15-M23), y los máximos valores entre las estaciones M7 y M14 (**Figura 5.1.5b**).

- **Color aparente (UPC):** La **Figura 5.1.5c** muestra los resultados obtenidos para este parámetro. El valor promedio fue de 2179 UPC. Los valores fluctuaron entre los 160-7600 UPC en las estaciones M20 y M7 respectivamente, registrándose los más altos en las estaciones ubicadas en el curso principal, sector medio. En la **Figura 5.1.5c** se puede observar bajos valores de este parámetro en el sector alto (M1-M6) y terminal (M15-M23) del río, con valores entre los 160-1300 UPC, en cambio en el sector medio del río los valores de este parámetro aumentan considerablemente, entre 2200-7600 UPC.

- **Fósforo total ($\mu\text{g/l}$):** Los resultados de este parámetro son presentados en la **Figura 5.1.5d**. El valor promedio de fósforo total en el curso principal fue de 232 $\mu\text{g/l}$, con los valores más altos registrados en las estaciones M8a (746 $\mu\text{g/l}$), E3 (553 $\mu\text{g/l}$), M18 (428 $\mu\text{g/l}$). El mínimo valor registrado fue en las estaciones E1 y M20 (D= detectado).

- **Nitrógeno total (mg/l):** Los resultados del parámetro nitrógeno total presentaron un valor promedio de 0,6 mg/l . Los valores extremos fueron reconocidos en las estaciones M2, M19 y M23 con un valor de <0,28 mg/l , y el valor más alto en la estación M9b con 1,11 mg/l . (**Figura 5.1.6a**). En general, no se observó un patrón espacial de este parámetro a lo largo del río, aunque si se pudo distinguir los sectores altos y terminales como los que presentaron las concentraciones más bajas, y el sector medio con los valores más altos.

- **Materia orgánica e inorgánica en sedimento (gr/K):** Los resultados de la concentración de este parámetro en el río son presentados en la **Figura 5.1.6b** y **Figura 5.1.6c**. El valor promedio obtenido para la materia orgánica en sedimento fue de 13,3 gr/K. No existió patrón espacial entre las estaciones de muestreo, aunque se logró visualizar una leve tendencia a aumentar la materia orgánica hacia las estaciones del sector medio y terminal del río. Los valores extremos fueron determinados en las estaciones M8a con una concentración de 1,6 gr/K y las estaciones M10, M15 y M23 con concentraciones de 32,4 gr/K, 18,5 gr/K y 29,4 gr/K respectivamente. Con respecto a las concentraciones de la materia inorgánica, los valores se correlacionaron negativamente con la materia orgánica, observándose una leve disminución de este parámetro hacia el sector terminal del río. El valor promedio para este parámetro fue de 987 gr/K, con los valores extremos en las estaciones M10 y M23 con concentraciones de 967,6 gr/K y 970,6 gr/K respectivamente, mientras que los valores mas altos fueron obtenidos en las estaciones M8a y M8b con 998,4 gr/K y 996,9 gr/K.

- **Materia inorgánica en agua (mg/l):** Los resultados de este parámetro son presentados en la **Figura 5.1.6d**. El valor promedio obtenido en todas las estaciones de muestreo fue de 522 mg/l. En general, las concentraciones de este parámetro tendieron a ser similares, con valores entre los 125 mg/l y los 859 mg/l, excluyendo las estaciones M7 y M10 que presentaron valores muy altos (2454 mg/l y 1398 mg/l).

- **Coliformes Totales y Fecales (NMP/100 ml):** Los resultados de estos parámetros son entregados en la **Figura 5.1.7a** y **Figura 5.1.7b**. El valor promedio para el parámetro coliformes totales fue de $2,6 \times 10^7$ NMP/100ml. Las estaciones M11 y M12 presentaron los valores más altos con $7,2 \times 10^8$ NMP/100 ml y $2,0 \times 10^7$ NMP/100 ml respectivamente, mientras que los más bajos en el sector alto (M1-M7) y terminal (M18-M23) del río.

Se detectaron coliformes fecales en todas las estaciones de muestreo. El valor promedio fue de 4717 NMP/100 ml, con los valores más altos en las estaciones M9a, M13 y M14 con 21900 NMP/100 ml, 20000 NMP/100 ml y 22800 NMP/100 ml respectivamente. Como se observa en la **Figura 5.1.7b**, los valores más bajos fueron registrados en el sector alto del río Maipo (M1-M7), con valores menores a 70 NMP/100 ml, y en el sector terminal del río, con valores entre 100-400 NMP/100 ml.

Tabla 5.1.1. Resultados de los parámetros físico-químicos medidos “*in situ*” en las 28 estaciones muestreadas en la cuenca del río Maipo.

Parámetros	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8a	M8b	M9a	M9b	M10
Temperatura (°C)	9,2	9,9	10,5	13,2	13,1	13,9	14,7	15,6	19,4	18,8	19,5	22,2
pH	7,8	8,1	8,0	8,1	8,2	8,1	7,8	8,0	8,0	8,0	8,0	8,1
Conductividad (µS/cm)	1344,0	1155,0	1150,0	1138,0	1010,0	1010,0	1014,0	1004,0	966,0	1032,0	976,0	963,0
Oxígeno disuelto (mg/L)	9,49	10,2	10,2	9,9	10,0	9,8	11,8	10,6	11,3	11,1	10,7	8,7

Parámetros	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M23
Temperatura (°C)	15,8	20,0	15,8	17,6	19,6	20,8	21,9	23,6	24,5	25,9	23,2	19,7	20,1
pH	8,0	8,0	8,0	8,0	7,9	8,0	8,0	8,5	8,2	8,4	8,7	8,1	8,3
Conductividad (µS/cm)	951,0	945,0	990,0	1005,0	1098,0	1150,0	1148,0	1220,0	1161,0	1226,0	1235	1261,0	1270,0
Oxígeno disuelto (mg/L)	9,5	8,1	9,0	8,5	8,4	9,1	8,0	12,3	7,9	7,8	8,2	9,4	9,3

Parámetros	Embalse 1	Embalse 2	Embalse 3
Temperatura (°C)	19,4	17,8	19,4
pH	7,9	7,3	7,8
Conductividad (µS/cm)	978,0	979,0	1008,0
Oxígeno disuelto (mg/L)	10,5	10,8	10,8

Tabla 5.1.2. Resultados de los parámetros físico-químicos analizados en laboratorio en las 28 estaciones muestreadas en la cuenca del río Maipo. Los resultados de DBO₅ es valor promedio obtenido en el muestreo continuo de 24 horas (M7, M8a, M8b, M9a, M9b).

Estación	DBO (mg/L)	Turbiedad (UNT)	Color (UPC)	N-Total (mg/L)	P-Total (µg/L)	M. org. (gr/K)	M. Inorg. (gr/K)	M. Inorg. Agua (mg/L)	Colif. Tot. (NMP/100ml)	Colif. Fec. (NMP/100ml)
M1	<2	272,6	1250	0,53	109	7,4	992,6	514,3	19000	44
M2	<2	178,8	900	<0,28	198	10,6	989,4	309,4	980	26
M3	<2	173,4	875	0,42	248	5,4	994,6	305,6	770	20
M4	<2	201,8	1000	0,43	240	15,2	984,8	332,4	44	11
M5	<2	206,9	950	0,34	237	4,5	995,5	328,3	866	36
M6	<2	207,7	975	0,35	273	1,7	998,3	651,9	1986	35
M7	3,3	1049,3	7600	0,99	232	13,3	986,7	2453,9	1414	70
M8a	4,2	568,3	3100	0,35	746	1,6	998,4	485,5	13900	9676
M8b	2,3	920,6	5400	0,66	226	3,1	996,9	634,7	30800	10500
M9a	8,1	1006,8	6400	1,11	318	9,9	990,1	678,7	104600	21900
M9b	11,2	843,0	4150	0,58	441	11,3	988,7	558,7	23800	3972
E1	7,0	593,4	2700	0,78	D	15,2	984,8	435,8	22500	1414
E2	6,8	757,6	3650	0,98	240	9,2	990,8	489,0	48800	5600
E3	5,8	623,6	3000	0,98	553	9,2	990,8	432,7	32600	7400
M10	6,1	1025,3	5600	0,72	268	32,4	967,6	1397,5	19860	2419
M11	5,2	749,7	3400	0,84	217	12,7	987,3	859,1	727000000	2419
M12	4,8	365,2	1600	1,04	76	14,6	985,4	454,3	20000000	2419
M13	5,6	544,8	2450	0,77	82	13,7	986,3	764,3	100000	20000
M14	5,7	500,8	2250	0,88	52	8,6	991,4	661,2	50000	22800
M15	2,8	201,8	950	0,62	74	18,5	981,5	266,5	160000	4400
M16	3,3	143,2	650	0,61	77	14,4	985,6	389,3	90000	8200
M17	3,2	153,5	700	0,50	107	16,7	983,3	304,5	100000	5400
M18	2,2	77,3	320	0,41	428	31,1	968,9	150,0	3000	1600
M19	2,6	68,0	280	<0,28	180	17,2	982,8	148,5	23600	700
M20	<2	45,5	160	0,36	D	11,5	988,5	125,1	13700	400
M21	<2	67,0	230	0,48	134	14,1	985,9	202,1	9100	100
M22	<2	66,2	250	0,34	160	20,7	979,3	140,7	21400	400
M23	2,4	56,0	210	<0,28	124	29,4	970,6	136,2	21400	100

D: detectado

Tabla 5.1.3. Resultados de los análisis de DBO₅ (mg/L) realizados en las estaciones M7, M8a, M8b, M9a y M9b. Monitoreo continuo por 24 horas (16-17 febrero 2004).

Hora	M7	M8a	M8b	M9a	M9b
18:30	5,5	13,6	2,4	8,2	11,3
23:00	-	2,3	2,0	4,0	-
04:00	-	5,6	4,0	5,2	-
08:00	2,4	< 2	< 2	6,6	10,2
12:00	-	2,1	<2	15,2	-
15:30	-	2,2	< 2	8,2	-
18:15	2,1	< 2	<2	9,1	12,1

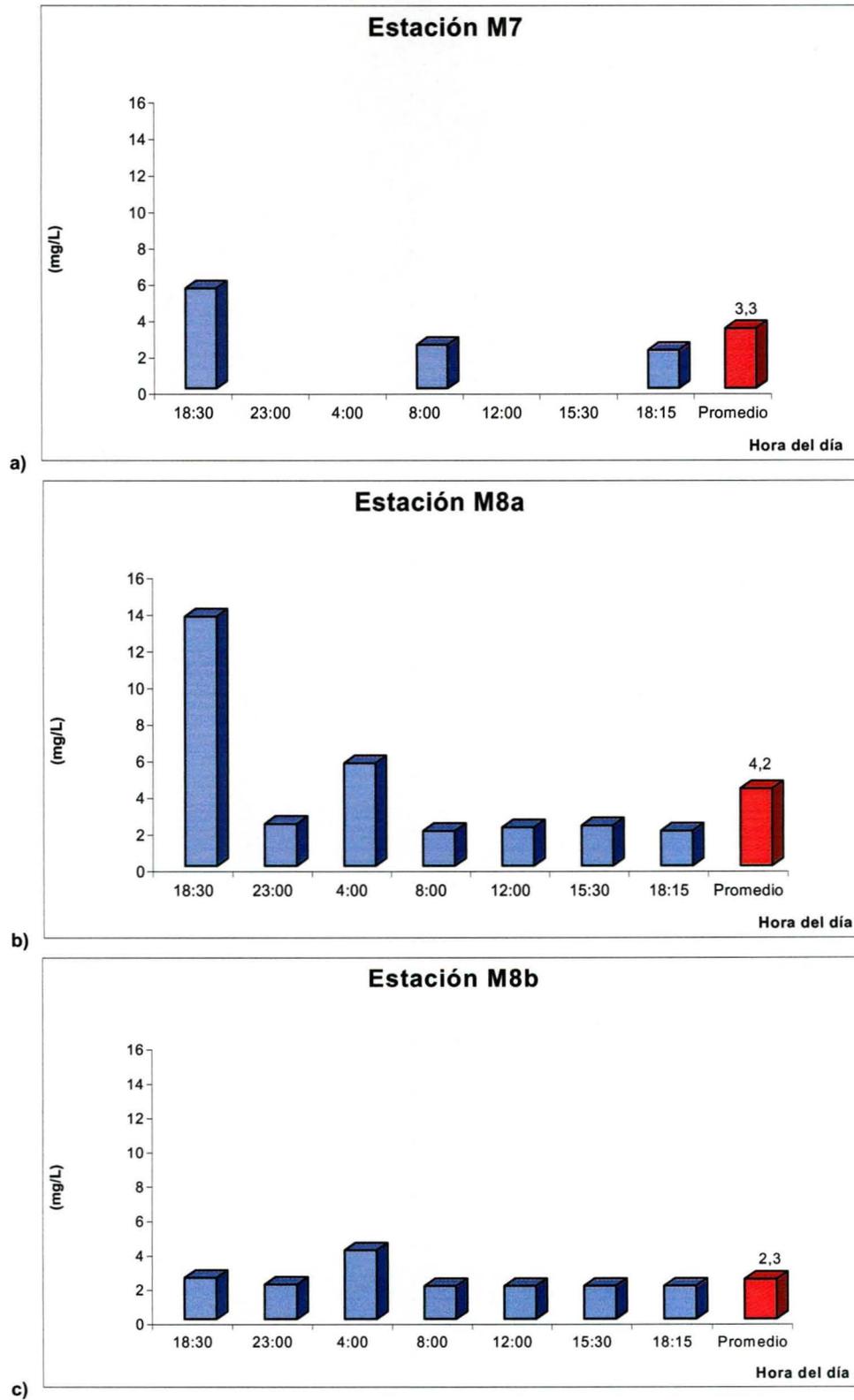


Figura 5.1.2. Muestreo continuo (24 horas) del parámetro DBO_5 en el sector medio del río Maipo. a) Estación M7 (control), b) Estación M8a (descarga matadero), c) Estación M8b (sector dilución descarga matadero).

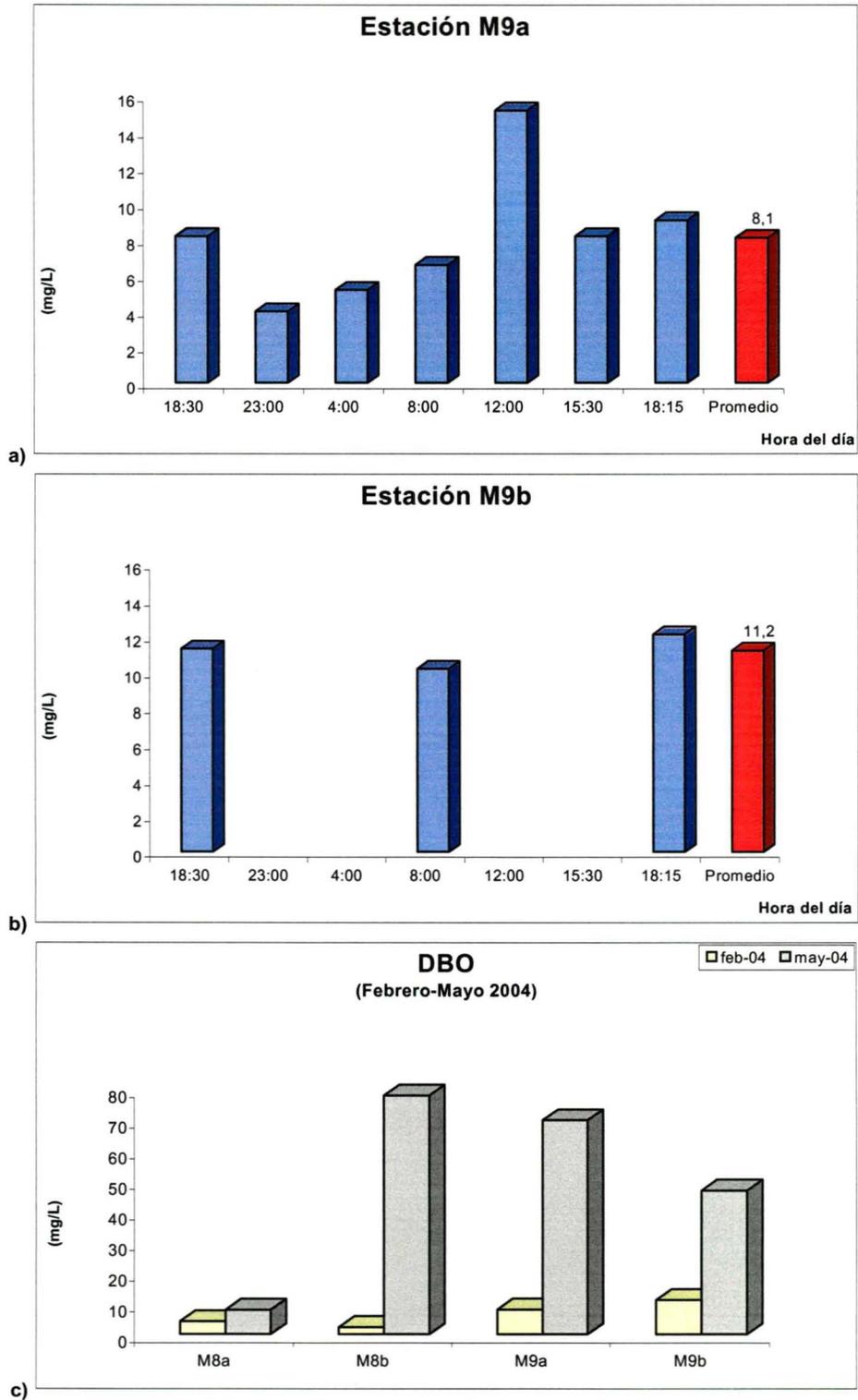


Figura 5.1.3. Muestreo continuo (24 horas) del parámetro DBO₅ en el sector medio del río Maipo. a) Estación M9 (sector Fe Grande), b) Estación M9b (efecto estación M8) c) DBO₅ obtenidas en las campañas de Febrero y Mayo del 2004.

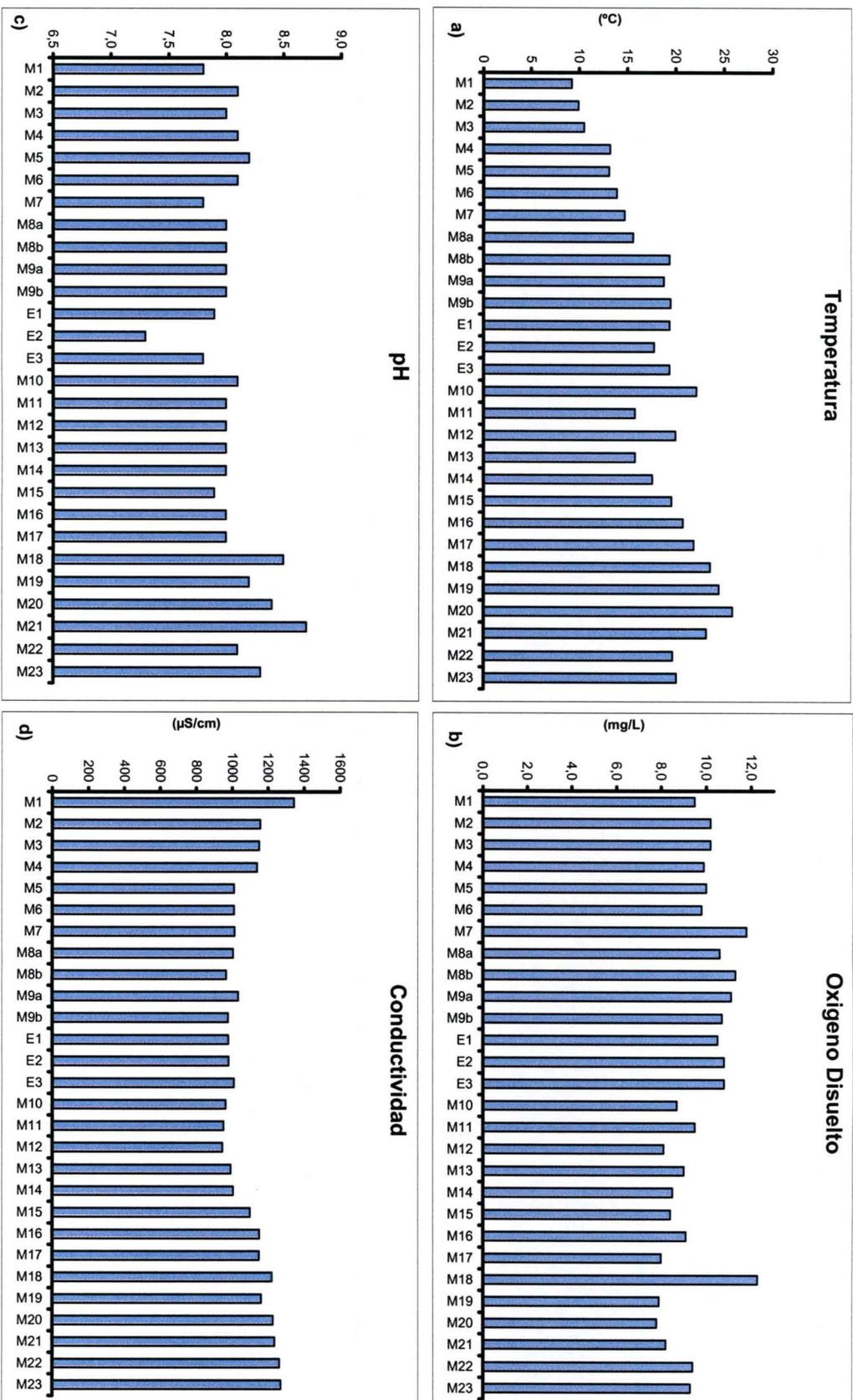


Figura 5.1.4. Parámetros físicos y químicos medidos *in situ*: a) Temperatura, b) Oxígeno disuelto, c) pH, d) Conductividad.

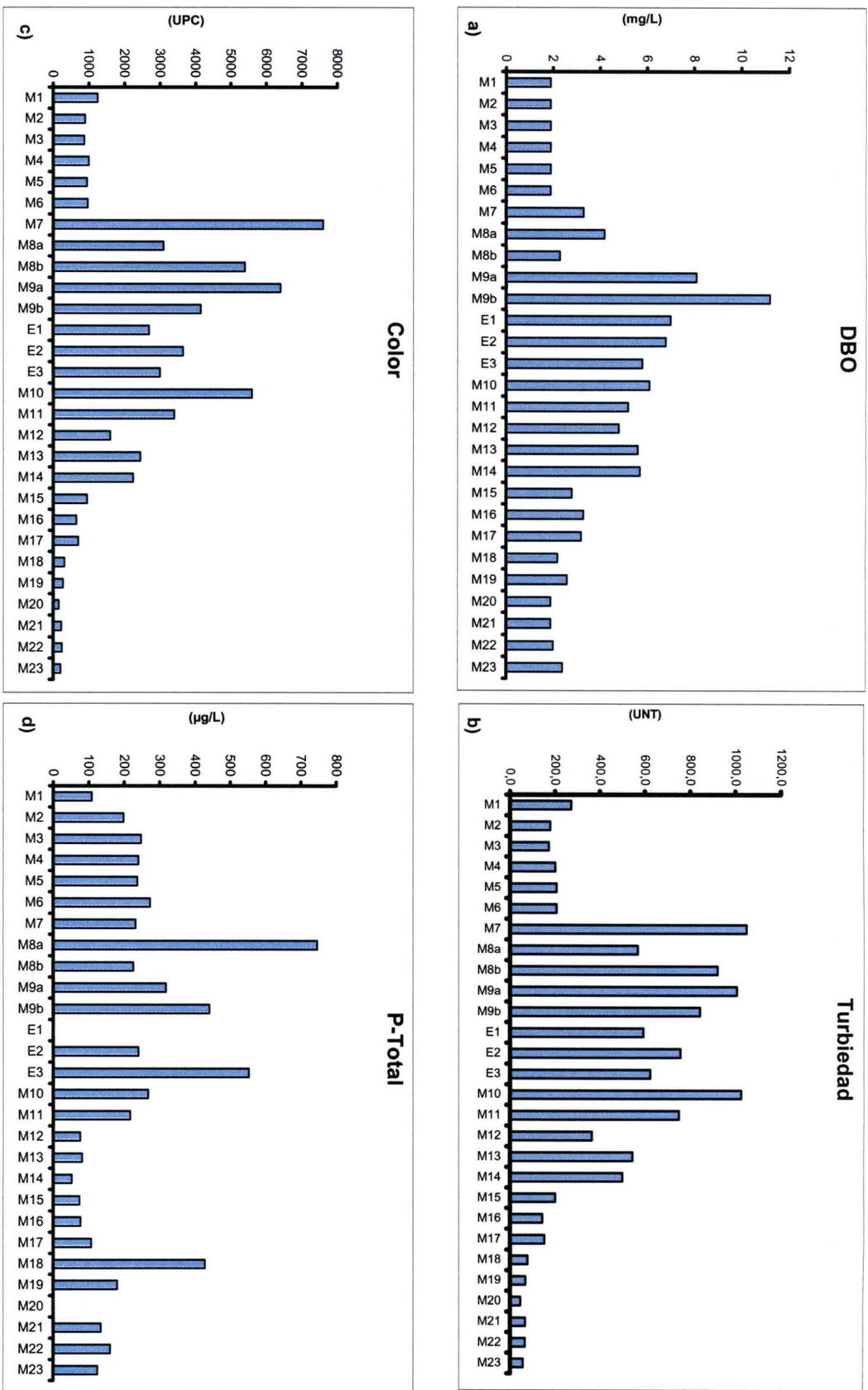


Figura 5.1.5. Parámetros químicos medidos en laboratorio: e) Demanda bioquímica de oxígeno (DBO), f) Turbiedad, g) Color, h) Fósforo Total (P- Total)

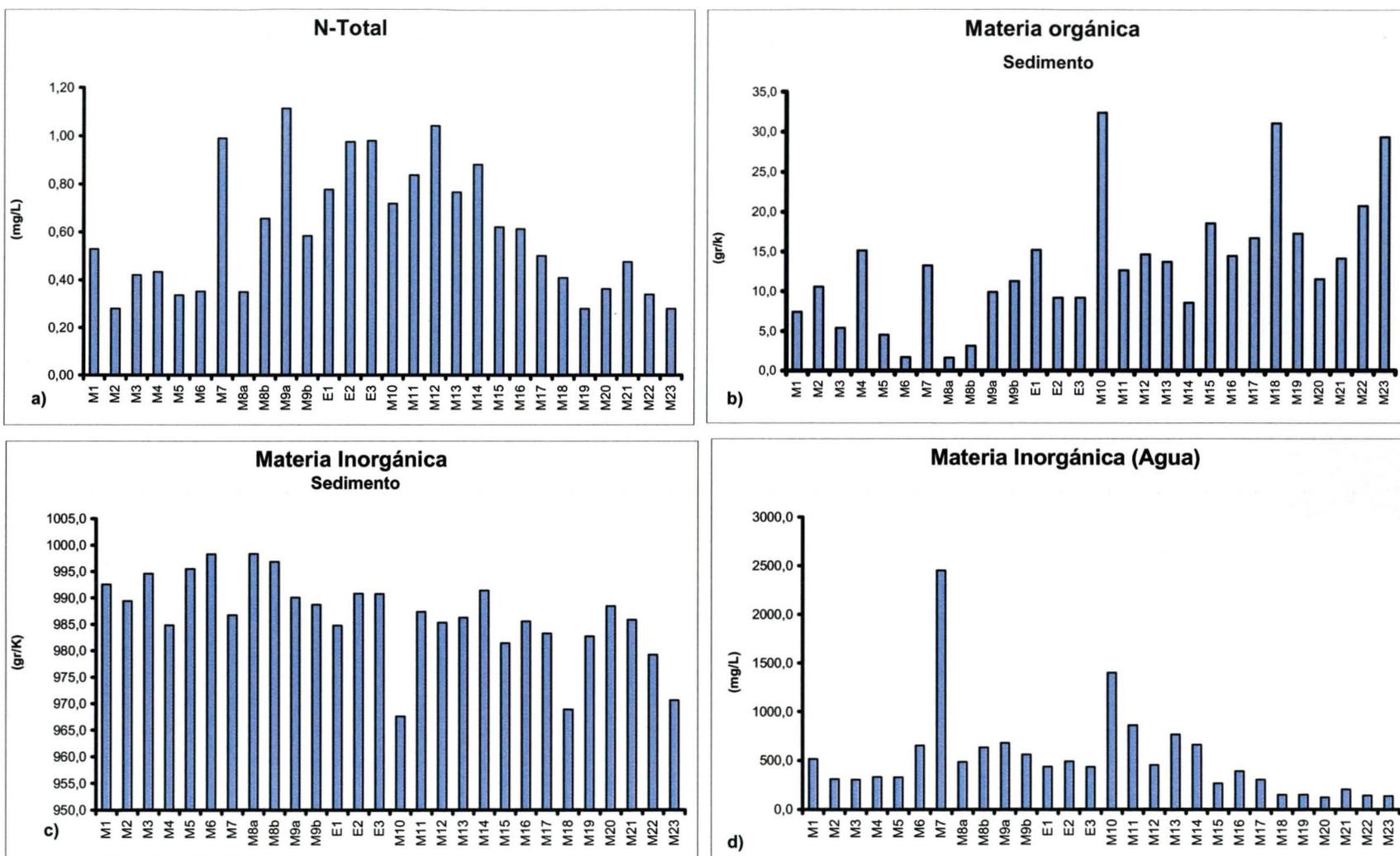


Figura 5.1.6. Parámetros químicos medidos en laboratorio: a) Nitrógeno Total (N-Total), b) Materia Orgánica (sedimento), c) Materia Inorgánica (sedimento), d) Materia Inorgánica (agua).

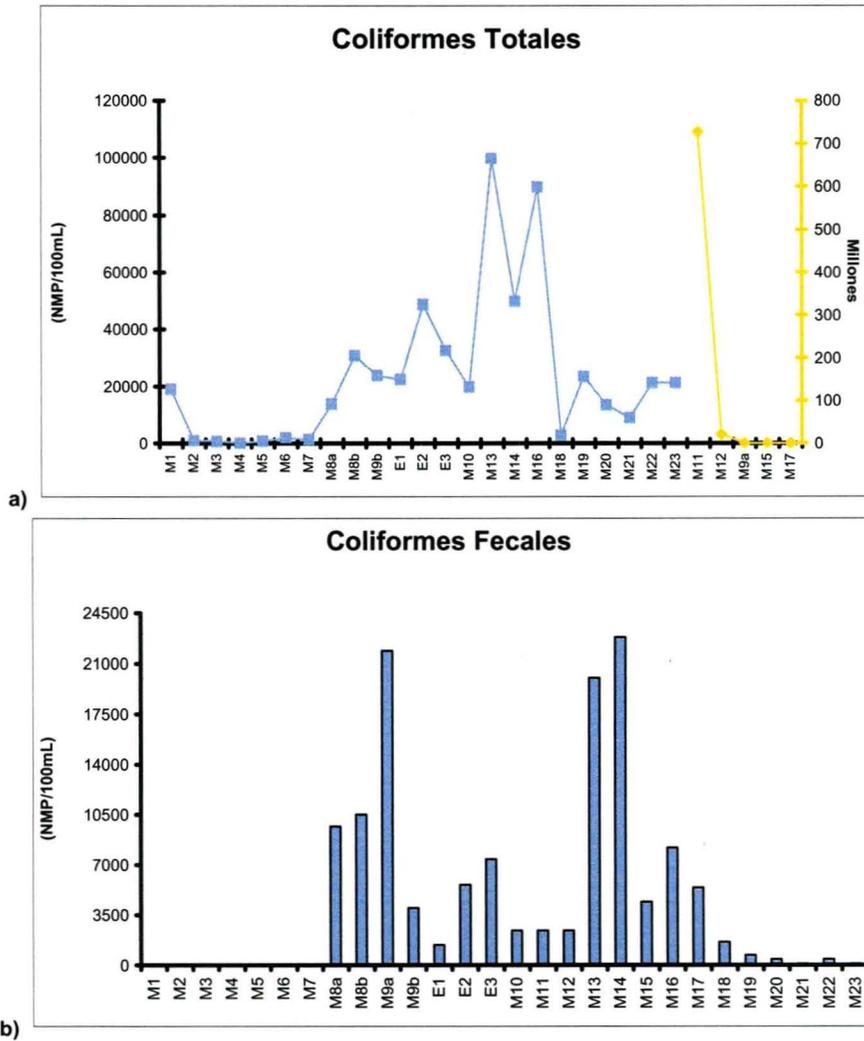


Figura 5.1.7. Variabilidad espacial de coliformes en el curso principal del río Maipo. a) Coliformes Totales, b) Coliformes Fecales.

5.1.1 Calidad de agua por parámetro (Instructivo Presidencial)

A continuación se presentan los resultados obtenidos del análisis de calidad de agua basado en los parámetros físicos y químicos utilizando normativa vigente como Nch 1333 y el Instructivo Presidencial (CONAMA 2003).

Nch 1333: La Norma Chilena Oficial 1333 “Requisitos de calidad del agua para diferentes usos” es la que se encuentra vigente en nuestro país. Las aguas del río Maipo presentarían las siguientes calidades de las aguas para ser utilizadas para riego:

Con respecto al parámetro conductividad, todas las estaciones presentarían aguas que pueden tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles (conductividades entre 750 y 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Según la Norma Chilena 1333 “Requisitos del agua para aguas destinadas a la vida acuática” los parámetros medidos estarían dentro los límites permitidos para la protección y conservación de las comunidades acuáticas.

Instructivo Presidencial: El *Instructivo Presidencial* imparte instrucciones para la dictación de normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y aguas marinas. Los parámetros y límites a considerar para la elaboración de las normas secundarias tendrían por objetivo general “Proteger, mantener y recuperar la calidad de las aguas continentales superficiales de manera de salvaguardar la salud de las personas, el aprovechamiento del recurso, la protección y conservación de las comunidades acuáticas y de los ecosistemas lacustres, maximizando los beneficios sociales, económicos y medioambientales”.

Las normas de calidad secundarias asociadas a la protección de las aguas continentales superficiales para la protección y conservación de las comunidades acuáticas y para los usos prioritarios, deberán considerar las clases de calidad que a continuación se indican (CONAMA 2003):

Excepcional (E) Indica un agua de mejor calidad que la clase 1, que por su extraordinaria pureza y escasez, forma parte única del patrimonio ambiental de la República. Esta calidad es adecuada también para la conservación de las comunidades acuáticas y demás usos definidos cuyos requerimientos de calidad sean inferiores a esta clase.

Clase 1 Muy buena calidad. Indica un agua apta para la protección y conservación de las comunidades acuáticas, para el riego irrestricto y para los usos comprendidos en las clases 2 y 3.

Clase 2 Buena calidad. Indica un agua apta para el desarrollo de la acuicultura, de la pesca deportiva y recreativa, y para los usos comprendidos en la clase 3.

Clase 3 Regular calidad. Indica un agua adecuada para la bebida de animales y para riego restringido.

Clase 4 Mala calidad. Aguas que exceden los límites establecidos para la clase 3, indicando que no son aguas adecuadas para la conservación de las comunidades acuáticas ni para los usos prioritarios a los que se hizo referencia, sin perjuicio de su utilización en potabilización con tratamiento apropiado o para aprovechamiento industrial.

Las clases de calidad comprendidas entre las clases Excepcional y la Clase 3, son aptas para la captación de agua para potabilizarla, según el tratamiento que se utilice.

A continuación se entregan los resultados de la calidad de las aguas por parámetro. Es importante destacar que sólo son presentados aquellos parámetros evaluados en el río Maipo y que se encuentran en el Instructivo Presidencial (pH, conductividad, oxígeno disuelto, DBO₅, color aparente, coliformes totales y fecales).

De los parámetros evaluados, presentaron clase excepción en todas las estaciones muestreadas sólo oxígeno disuelto (**Figura 5.1.8**). A continuación se presenta las diferentes clases de calidad del agua por parámetro obtenidas en cada una de las estaciones:

- **Conductividad:** El río Maipo presentó en todas las estaciones de muestreo clase 2, es decir una “Buena” calidad de sus aguas (**Figura 5.1.9**).

- **DBO:** En el muestreo realizado en Febrero del 2004, las estaciones M1-M6 y M20-22 presentaron aguas de calidad Excepción (E) según el parámetro DBO₅. En clase 1, es decir “Muy Buena” calidad las estaciones M7- M8a, M8b, M11-M12, M15-M19 y M23). En clase de calidad 2, es decir, “Buena” se encontraron las estaciones M9a, M9b, E1, E2, E3, M10, M13, M14. Ninguna estación presentó concentraciones de DBO₅ que sobrepasaran los 20 mg/l. En cambio, en el muestreo realizado en Mayo 2004 los resultados de DBO₅ indicaron para la estación M8a aguas de “Buena” calidad, mientras que en las estaciones M8b, M9a y M9b las concentraciones obtenidas superaron los 20 mg/l siendo clasificadas estas estaciones en clase de calidad “Mala” (**Figura 5.1.10**).

- **Color aparente:** Los valores de este parámetro indican que todas las estaciones muestreadas del río Maipo presentarían clase de calidad 4, es decir, de muy mala calidad. Todos los valores de color aparente sobrepasaron las 160 UPC (**Figura 5.1.11**).

- **pH:** Excepto las estaciones M18 y M21 las aguas del río Maipo presentarían clase de calidad Excepción (E) para este parámetro. Las estaciones M18 y M21 no permitirían la protección y conservación de las comunidades acuáticas (**Figura 5.1.12**).

- **Coliformes Totales y Fecales:** Con respecto a las coliformes totales, el sector alto del río (entre M2-M7) presentaron aguas de calidad Excepción (E) y clase 1 (Muy Buena). En cambio, desde M8a hasta el sector terminal del río, la calidad de las aguas según este parámetro fueron “Buena” (M18), “Regular” (M21) y “Muy Mala” (M8a-M17; M19-M20; M22-M23), es decir, clases de calidad 2, 3 y 4 respectivamente (**Figura 5.1.13**).

Para el parámetro coliformes fecales (**Figura 5.1.14**) fueron reconocidas en las estaciones de muestreo 4 clases de calidad. El sector alto (M1-M7) y terminal (M19-M23) del río presentaron clase de calidad 1, es decir “Muy Buena” calidad de las aguas, mientras que el sector medio (salvo E1 y M18) presentó aguas de regular a mala calidad (clases de calidad 3 y 4).

A continuación se presentan los mapas de calidad por parámetro según el Instructivo presidencial.

Figura 5.1.8

Oxígeno disuelto

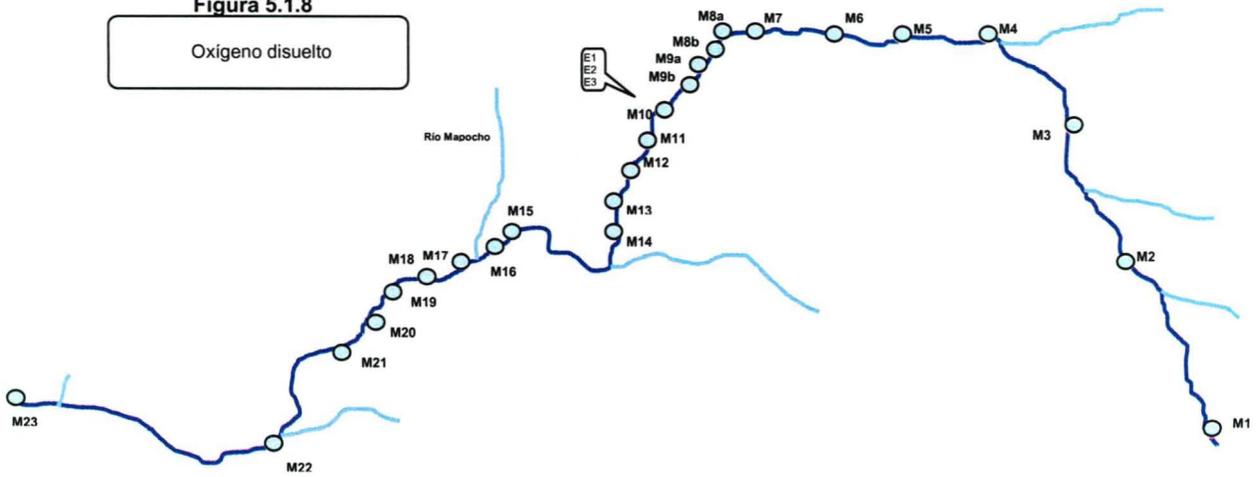


Figura 5.1.9

Conductividad

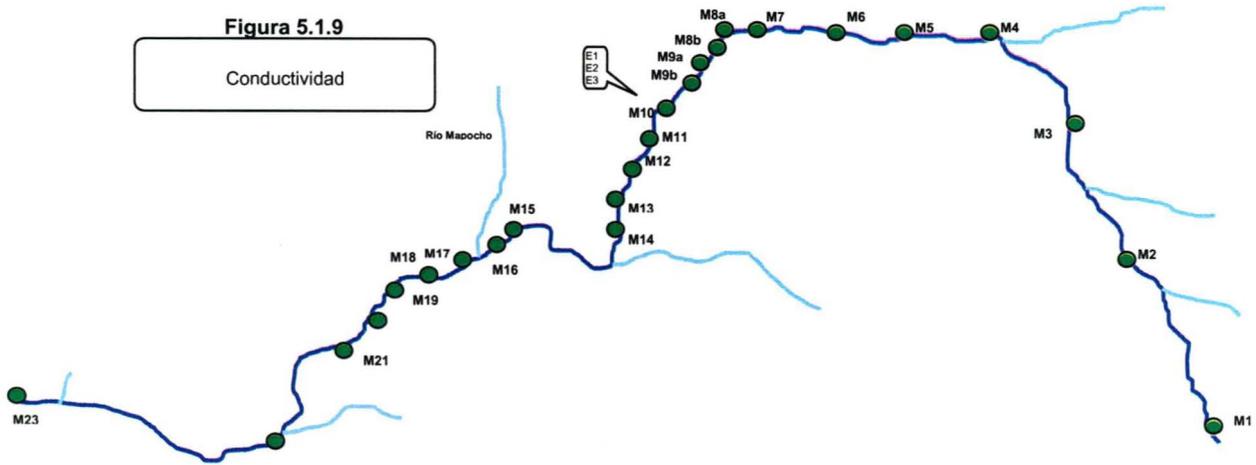
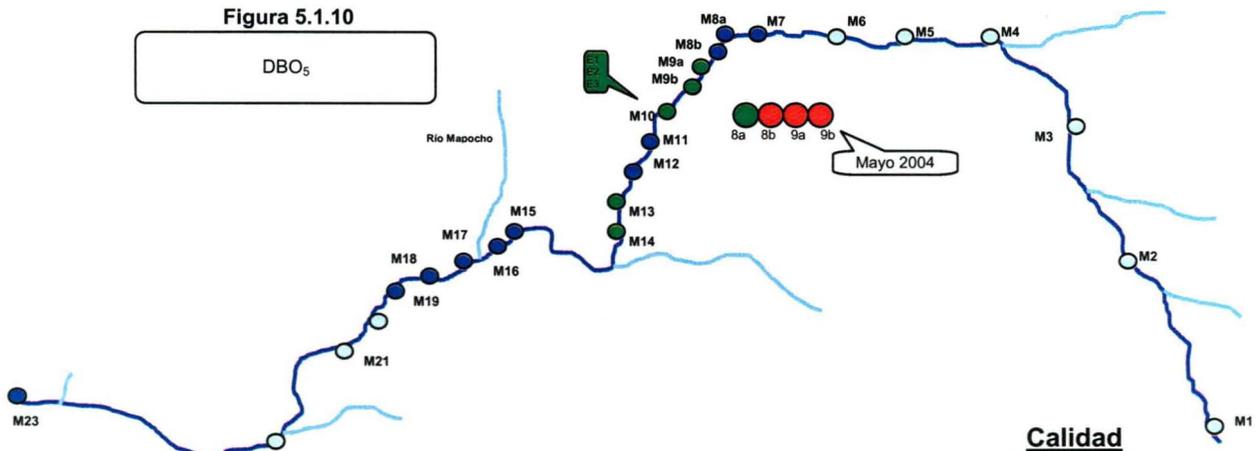


Figura 5.1.10

DBO₅



Calidad

- Excepción
- Muy Buena
- Buena
- Regular
- Mala

Figura 5.1.11

Color

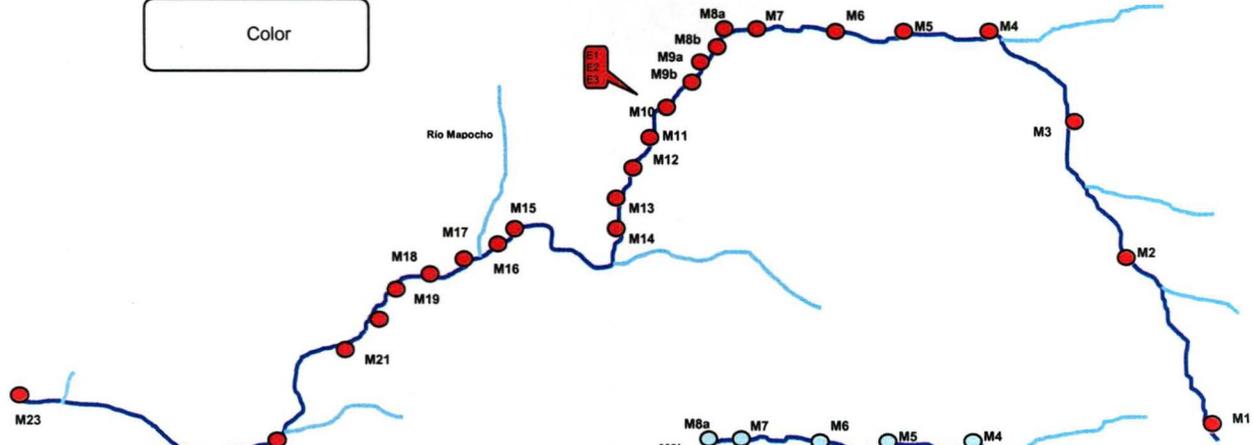


Figura 5.1.12

pH

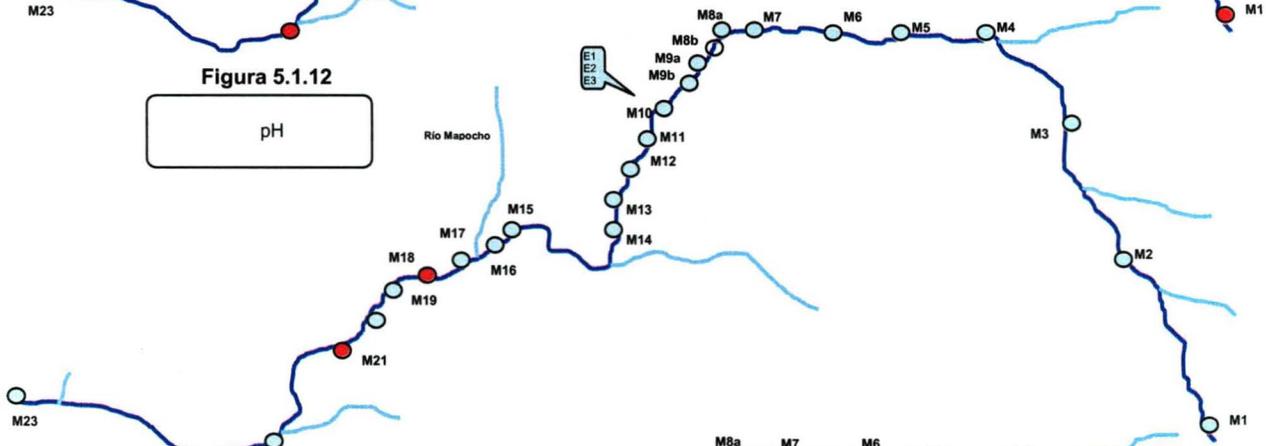


Figura 5.1.13

Coliformes Totales

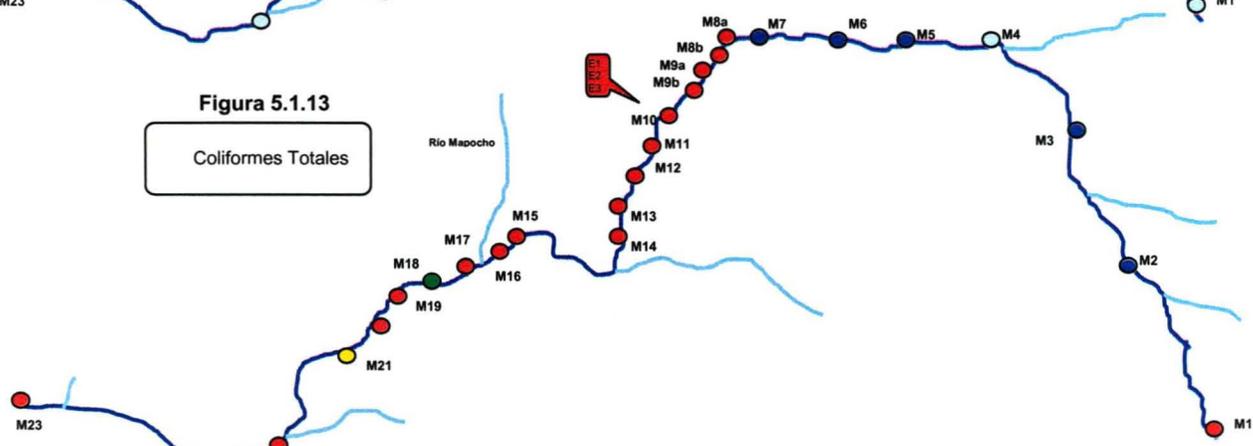
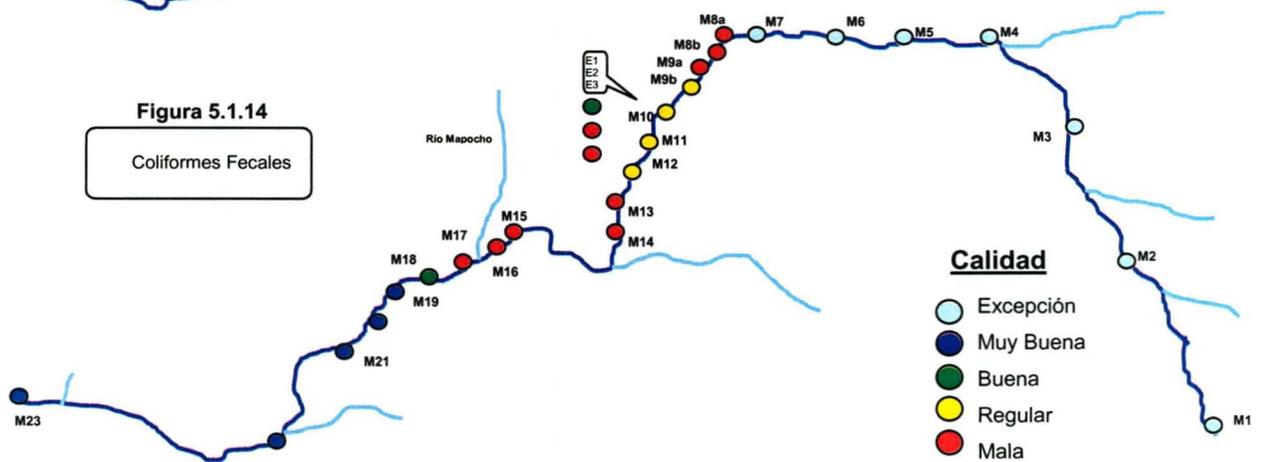


Figura 5.1.14

Coliformes Fecales



Calidad

- Excepción
- Muy Buena
- Buena
- Regular
- Mala

5.1. 2. Variables ambientales físicas y químicas (Análisis de CANOCO)

El análisis multivariado de asociación mostró que las variables ambientales: Temperatura (T), Conductividad específica (COND), pH, Color, Oxígeno disuelto (OD), Materia orgánica en sedimento (MO-sed), Materia inorgánica en sedimento (MI-sed), Nitrógeno orgánico (N-org), Fósforo orgánico (P-org), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Coliformes Totales (Col-Tot), Coliformes fecales (Col-Fec), explicaron en forma significativa la distribución de taxa de macroinvertebrados bentónicos del área de estudio (Análisis de Correspondencia Canónica, $F = 1.759$, $P = 0,002$, **Figura 5.1.15**).

Las principales variables físicas que se correlacionaron con la frecuencia de cada taxa en el área de estudio (mayor longitud del los vectores) fueron la Temperatura (-0.87), Conductividad (-0.72) y Color (0.69). Por el contrario, la principal variable química que predijo la distribución de taxa fue la DBO₅ (0.79) y secundariamente surgieron las variables Nitrógeno orgánico (0.67), Coliformes Fecales (0.52) y Materia Orgánica en sedimento (0.49). La DBO₅ se correlacionó en forma negativa con la Conductividad (65,0 %) mientras que se asoció positivamente con el Nitrógeno orgánico (66,0 %). Por el contrario, la DBO₅ mostró baja correlación con las variables Materia inorgánica en sedimento (-3,5%), Materia orgánica en sedimento (3,5%), Oxígeno disuelto (13,8%), Coliformes totales (16,3%) y Fósforo orgánico (17,4%).

Estos resultados indican que dentro de las variables indicadoras de contaminación orgánica, la DBO₅ es el mejor predictor de la distribución de los taxa de macroinvertebrados bentónicos. Este parámetro será utilizado más adelante (**Capítulo 5.2**) en la determinación de diferentes clases de calidad de agua para el río Maipo y su correspondencia con la calidad del agua otorgada por el grupo de los macroinvertebrados bentónicos.

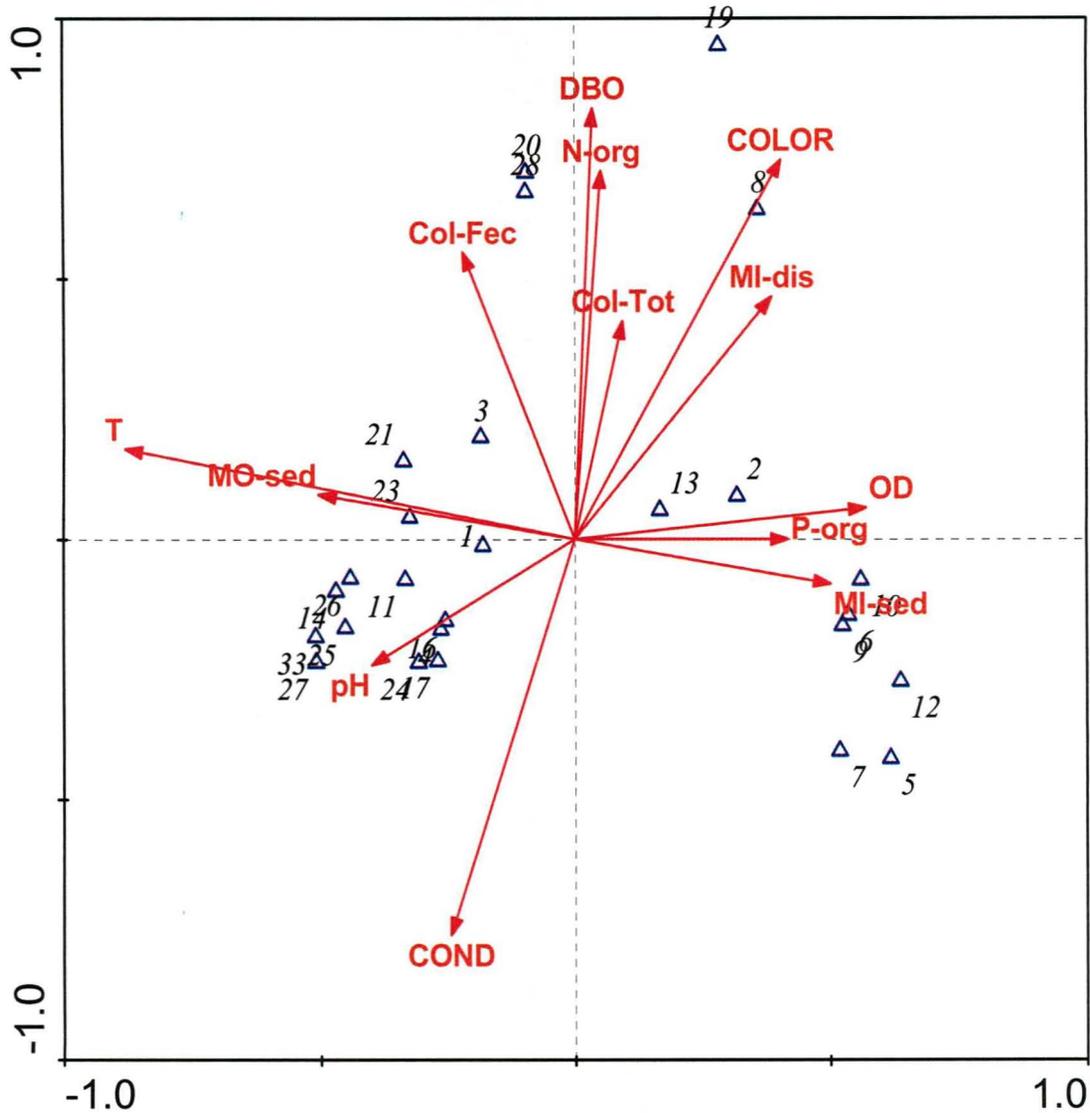


Figura 5.1.15. Análisis de CANOCO entre las variables físico-químicas y macroinvertebrados bentónicos. Temperatura (T), Conductividad específica (COND), pH, Color, Oxígeno disuelto (OD), Materia orgánica en sedimento (MO-sed), Materia inorgánica en sedimento (MI-sed), Nitrógeno orgánico (N-org), Fósforo orgánico (P-org), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Coliformes Totales (Col-Tot), Coliformes fecales (Col-Fec). Los números indican a cada uno de los taxa identificados en las muestras biológicas.

1. Chironomidae indet.	8. Empididae indet.	15. <i>Pisidium</i> sp.	22. <i>Hydra</i> sp.	29. Ephrydidae indet.
2. Simuliidae indet.	9. <i>Notoperlopsis</i> sp.	16. <i>Limnoperla jaffueli</i>	23. <i>Camelobaetidius</i> sp.	30. <i>Biomphalaria</i> sp.
3. <i>Nais</i> sp.	10. Hydrobiosidae indet.	17. Nematoda indet.	24. <i>Metrichia</i> sp.	31. <i>Aphrophila bidentata</i>
4. <i>Smicridea</i> sp.	11. Elmidae indet.	18. <i>Collembolla</i> sp.	25. <i>Dugesia</i> sp.	32. Ceratopogonidae indet.
5. Blephariceridae indet.	12. <i>Meridialaris</i> sp.	19. Psychodidae indet.	26. <i>Littoridina cummingi</i>	33. Corixidae indet.
6. <i>Decepsivosa</i> sp.	13. <i>Andesiops</i> sp.	20. <i>Hyallela</i> sp.	27. Hirudinea sp.	34. Neuroptera indet.
7. Athericidae indet.	14. <i>Gundlachia gayana</i>	21. <i>Physa</i> sp.	28. <i>Lumbriculus</i> sp.	35. Crustacea indet.

5. 2 Macroinvertebrados Bentónicos

5.2.1 Diversidad general del área

Los siguientes resultados corresponden al total de la diversidad encontrada mediante los muestreos cuantitativos realizados en cada una de las estaciones de muestreo. Los estados inmaduros de insectos acuáticos (larvas y ninfas) fueron los más abundantes, representados por un 61,1%. Grupos menos frecuentes fueron Mollusca (13,8%), Crustacea (5,4%), Annelida (10,8%), Cnidaria (2,7%), Nematoda (2,7%), Platyhelminthes (2,7%) (**Figura 5.2.1**). Se identificaron en el área de estudio un total de 36 taxa (**Tabla 5.2.1**, 35 fueron reconocidas en Febrero 2004 y 1 en Mayo 2004), que se distribuyen en los phylum Cnidaria (1), Nematoda (1), Platyhelminthes (1), Mollusca (5), Annelida (4), Crustácea (2), y los ordenes del phylum Insecta como Hemiptera (1), Collembola (1), Ephemeroptera (4), Plecoptera (2), Trichoptera (3), Coleóptera (1), Diptera (9) y Neuroptera (1) (en paréntesis el N° de taxa).

No existió ningún taxa que se distribuyera en todas las estaciones de muestreo evaluadas en Febrero 2004. Sin embargo, existieron taxa que presentaron una amplia distribución como Chironomidae indet. (26 estaciones, 96,2%), *Smicridea* sp. (23 estaciones, 85,1%), Elmidae indet. (21 estaciones, 77,7%). Los taxa menos frecuentes (sólo representadas en una estación), fueron Collembola, *Hydra* sp., Ephydridae indet., *Biomphalaria* sp., *Aprophila bidentata*, Ceratopogonidae indet., Neuroptera indet., Crustácea indet. (3,7% cada uno).

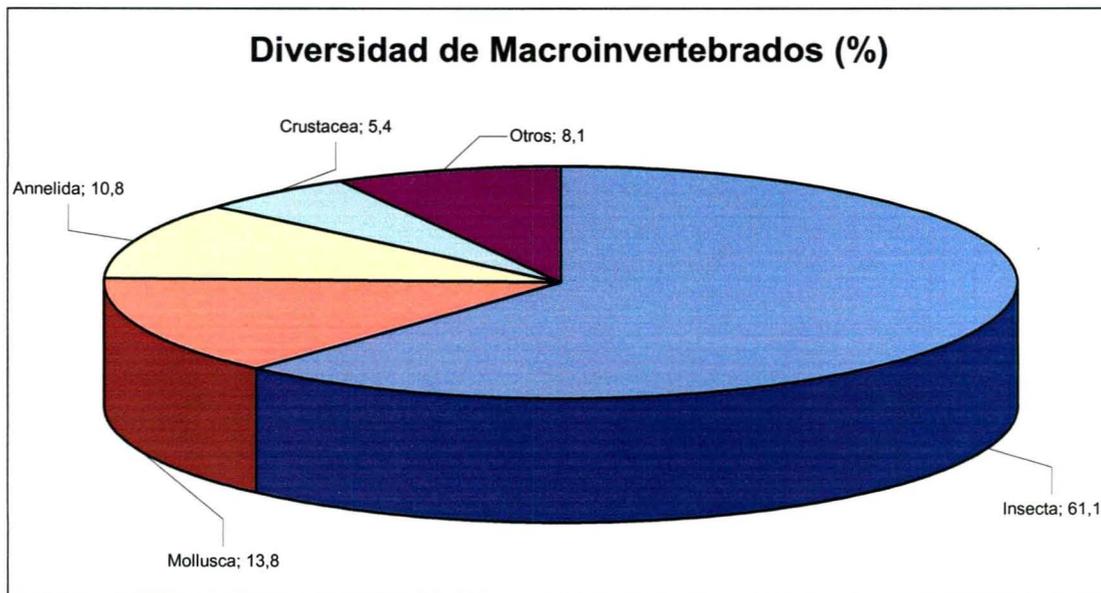


Figura 5.2.1. Diversidad de la fauna de macroinvertebrados bentónicos presentes en la cuenca del río Maipo. El grupo de los insectos fue el mejor representado con un 61,1%. Campaña Febrero 2004.

Tabla 5.2.1. Lista de macroinvertebrados bentónicos registrados en las 28 estaciones de muestreo en la cuenca del río Maipo. (Febrero del 2004).

PHYLUM	CLASE/ORDEN	FAMILIA	TAXA	
Cnidaria	Hydrozoa	Familia indet.	<i>Hydra</i> sp.	
Nematoda	Adenophorea	Familia indet.	Espec. indet.	
Platyhelminthes	Tricladida	Dugesiidae	<i>Dugesia</i> sp.	
Annelida	Hirudinea	Familia indet.	Espec. indet.	
	Oligochaeta	Naididae	<i>Nais</i> sp.	
	Oligochaeta	Lumbriculiidae	<i>Lumbriculus</i> sp.	
	Oligochaeta	Tubificidae	<i>Tubifex</i> sp.	
Mollusca	Gastropoda	Amnicolidae	<i>Littoridina cummingi</i>	
		Planorbidae	<i>Biomphalaria</i> sp.	
		Ancylidae	<i>Gundlachia gayana</i>	
		Physidae	<i>Physa</i> sp.	
	Bivalvia	Sphaeriidae	<i>Pisidium</i> sp.	
Crustacea	Amphipoda	Hyalellidae	<i>Hyallela</i> sp.	
	Isopoda	Familia indet.	Espec. indet.	
Insecta	Collembolla	Familia indet.	Espec. indet.	
	Hemiptera	Corixidae	Espec. indet.	
		Ephemeroptera	Leptophlebiidae	<i>Meridialaris</i> sp.
			Baetidae	<i>Camelobaetidius</i> sp.
			Baetidae	<i>Deceptiviosa</i> sp.
			Baetidae	<i>Andesiops</i> sp.
	Plecoptera	Gripopterygiidae	<i>Limnoperla jaffueli</i>	
		Gripopterygiidae	<i>Notoperlopsis</i> sp.	
	Trichoptera	Hydrobiosidae	Espec. indet.	
		Hydropsychidae	<i>Smicridea</i> sp.	
		Hydroptilidae	<i>Metrichia</i> sp.	
	Coleoptera	Elmidae	Espec. indet.	
	Diptera	Tipulidae	<i>Aphrophila bidentata</i>	
		Ceratopogonidae	Espec. indet.	
		Simuliidae	Espec. indet.	
Empididae		Espec. indet.		
Blephariceridae		Espec. indet.		
Athericeidae		Espec. indet.		
Psychodidae		Espec. indet.		
Chironomidae		Espec. indet.		
Ephydriidae		Espec. indet.		
Neuroptera		Familia indet.	Espec. indet.	

5.2.2 Parámetros comunitarios

La **Tabla 5.2.2** entrega los resultados de los parámetros comunitarios obtenidos de la matriz de datos (abundancias/taxa) registrados en cada una de las estaciones de muestreo (**Tabla 5.2.3, 5.2.4**).

Tabla 5.2.2. Resultados de los parámetros comunitarios obtenidos en cada una de las estaciones.

Parámetros	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8a	M8b	M9a	M9b	E1	E3	M10
Abundancia Total (ind/m ²)	535	531	354	931	259	183	48	6	17	31	163	43	144	63
Riqueza Taxonómica	11	8	11	10	8	10	7	3	4	7	7	8	7	9
Shannon H'	1,80	1,56	1,44	1,71	1,64	2,25	2,30	1,59	1,76	2,18	1,34	1,91	1,76	2,10
Shannon J'	0,52	0,52	0,42	0,52	0,55	0,68	0,82	1,00	0,88	0,78	0,48	0,64	0,63	0,66

Parámetros	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M23
Abundancia Total (ind/m ²)	131	113	15	2969	5546	4661	9811	5348	7861	6043	7881	448	917
Riqueza Taxonómica	10	6	3	9	9	10	10	7	13	11	8	8	8
Shannon H'	1,60	1,66	1,07	0,74	0,55	1,22	0,61	1,12	1,10	0,73	1,62	2,04	1,98
Shannon J'	0,48	0,64	0,68	0,23	0,17	0,37	0,18	0,40	0,30	0,21	0,54	0,68	0,66

a) Riqueza taxonómica (Nº de taxa): Los muestreos cuantitativos realizados en Febrero del 2004 permitieron reconocer un total de 35 grupos taxonómicos. La variabilidad de la riqueza taxonómica en el área de estudio es presentada en la **Figura 5.2.2a**.

El valor promedio de la riqueza taxonómica fue de 8 taxa. Los valores máximos y mínimos respecto a este parámetro fueron registrados en el curso principal, obteniendo el valor más alto la estación M19 con 13 taxa y el valor más bajo las estaciones M8a y M13 con sólo 3 taxa. No se observó un claro patrón espacial de la riqueza taxonómica. En general, las mayores riquezas se reconocieron en el sector alto del río Maipo, entre las estaciones M1 y M6, y en algunas estaciones del sector medio y bajo del río (M11, M16, M17, M19 y M20). El sector medio-bajo se caracterizó en general, por valores inferiores, entre 7 y 9 taxa.

Cómo se observa en las **Tabla 5.2.2** y **Figura 5.2.2a**, los valores más bajos respecto a este parámetro se encuentran en aquellas estaciones aguas abajo de efluentes del tipo industrial o aguas servidas. La estación M8a inmediatamente aguas abajo de un efluente industrial (matadero), mientras que la estación M13 recibe las descargas de efluentes de aguas servidas aguas arriba (Los Morros).

Tabla 5.2.3. Abundancia promedio (Nº de individuos/m²) de la fauna de macroinvertebrados bentónicos en cada una de las estaciones definidas para la cuenca del río Maipo. (Campaña Febrero del 2004).

Taxa	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8a	M8b	M8c	M8d	E1	E2	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M23
Chironomidae indet.	37,0	3,7	5,6	9,3	7,4	11,1	16,7	1,9		16,7	120,4	27,8	72,2	37,0	96,3	7,4	1,9	94,4	305,6	401,9	163,0	1035,2	533,3	153,7	946,3	74,1	161,1
Simuliidae indet.	5,6	3,7	5,6									3,7	1,9	9,3		3,7											
Nais sp.	1,9		1,9	5,6	1,9	3,7				3,7	24,1	1,9	42,6	1,9	9,3			2625,9	11,1	33,3	1,9		166,7	29,6	7,4	129,6	411,1
Smicridea sp.	318,5	363,0	261,1	433,3	144,4	38,9	3,7					1,9	22,2	3,7	1,9	68,5	1,9	85,2	5068,5	3672,2	8894,4	3916,7	6414,8	5268,5	4261,1	188,9	201,9
Blephariceridae indet.	5,6	5,6	1,9			1,9																					
Deceptivosa sp.	109,3	64,8	3,7	98,1	13,0	20,4	14,8		7,4	1,9	5,6		1,9	1,9													
Athericidae indet.	1,9		1,9	5,6		3,7																					
Empididae indet.					1,9						5,6	1,9			1,9												
Notoperlopsis sp.	48,1	46,3	35,2	357,4	83,3	90,7	7,4		5,6	3,7	3,7		1,9		1,9												
Hydrobiosidae indet.	3,7	3,7		5,6			1,9	1,9		1,9																	
Elmidae indet.			1,9	1,9		3,7		1,9		1,9	1,9	1,9		3,7	9,3	25,9	11,1	16,7	114,8	327,8	542,6	337,0	455,6	550,0	437,0	16,7	5,6
Meridialaris sp.		40,7	33,3	3,7	1,9	3,7	1,9																				
Andesiops sp.				11,1	5,6	5,6	1,9				1,9	1,9		3,7									1,9	16,7			
<i>Gundlachia gayana</i>																				20,4	13,0						
<i>Pisidium</i> sp.																											1,9
<i>Limnoperta jaffueli</i>																			1,9							1,9	
Nematoda indet.																										3,7	1,9
Collembolla sp.																							1,9				
Psychodidae indet.								1,9	1,9					1,9	3,7												
<i>Hyalala</i> sp.														1,9				1,9									
<i>Physa</i> sp.														1,9	1,9			137,0		3,7	9,3		79,6	1,9	1,9	1,9	9,3
<i>Hydra</i> sp.																							11,1				
<i>Camelobaetidius</i> sp.									1,9							5,6		3,7	33,3	40,7	46,3	1,9					
<i>Metrichia</i> sp.			1,9																7,4	22,2		46,3	166,7	3,7	2220,4	31,5	124,1
<i>Dugesia</i> sp.																			1,9	55,6	3,7	7,4	16,7	7,4	5,6		
<i>Littoridina cummingi</i>																			1,9	1,9	83,3	133,3	1,9	1,9	1,9		
Hirudinea indet.																						3,7	5,6	5,6			
<i>Lumbriculus</i> sp.												1,9						1,9									
Ephryidae indet.															1,9												
<i>Biomphalaria</i> sp.																					3,7						
<i>Aphrophila bidentata</i>														1,9													
Ceratopogonidae indet.													1,9														
Corixidae indet.																							5,6	3,7			
Neuroptera indet.	1,9																										
Crustacea indet.	1,9																										
Abundancia Total	535,2	531,5	353,7	931,5	259,3	183,3	48,1	5,6	16,7	31,5	163,0	42,6	144,4	63,0	131,5	113,0	14,8	2968,5	5546,3	4661,1	9811,1	5348,1	7861,1	6042,6	7881,5	448,1	916,7
Riqueza Taxonómica	11	8	11	10	8	10	7	3	4	7	7	8	7	9	10	6	3	9	9	10	10	7	13	11	8	8	8

Tabla 5.2.4. Abundancias relativas de la fauna de macroinvertebrados bentónicos. Representación porcentual del taxon en cada una de las estaciones. (Campaña Febrero del 2004).

Abundancias absolutas	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8a	M8b	M9a	M9b	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M23	E1	E3
Chironomidae indet.	0,9	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4			0,4	2,8	0,9	2,2	0,2		2,2	7,0	9,3	3,8	23,8	12,3	3,5	21,8	1,7	3,7	0,6	1,7
Simuliidae indet.	16,7	11,1	16,7									27,8		11,1												11,1	5,6
Nais sp.	0,1		0,1	0,2	0,1	0,1				0,1	0,7	0,1	0,3			74,7	0,3	0,9	0,1		4,7	0,8	0,2	3,7	11,7	0,1	1,2
Smicridea sp.	0,8	0,9	0,7	1,1	0,4	0,1								0,2		0,2	12,8	9,3	22,4	9,9	16,2	13,3	10,8	0,5	0,5		0,1
Blephariceridae indet.	37,5	37,5	12,5			12,5																					
Deceptivosa sp.	31,9	18,9	1,1	28,6	3,8	5,9	4,3		2,2	0,5	1,6	0,5															0,5
Athericidae indet.	14,2		14,2	42,7		28,5																					
Empididae indet.					16,7							50,1	16,7														16,7
Notoperlopsis sp.	7,0	6,8	5,1	52,2	12,2	13,2	1,1		0,8	0,5	0,5		0,3														0,3
Hydrobiosidae indet.	20,0	20,0		30,0			10,0	10,0		10,0																	
Elmidae indet.			0,1	0,1		0,1		0,1		0,1	0,1	0,1	0,3	0,9	0,4	0,6	4,0	11,4	18,9	11,7	15,9	19,2	15,2	0,6	0,2	0,1	
Meridialaris sp.		47,8	39,1	4,3	2,2	4,3	2,2																				
Andesiops sp.				22,2	11,1	11,1	3,7				3,7		7,4								3,7	33,3					3,7
Gundlachia gayana																		61,2	38,9								
Pisidium sp.																											100,0
Limnoperla jaffueli																	50,1								50,1		
Nematoda indet.																									66,7	33,3	
Collembolla sp.																					100,0						
Psychodidae indet.									20,0	20,0		20,0	40,0														
Hyalala sp.												50,1				50,1											
Physsa sp.													0,7	0,7		55,2		1,5	3,7		32,1	0,7	0,7	0,7	0,7	3,7	
Hydra sp.																					100,0						
Camelobaetidium sp.									1,4							4,2	2,8	25,0	30,6	34,7	1,4						
Metrichia sp.			0,1														0,3	0,8		1,8	6,4	0,1	84,6	1,2	4,7		
Dugesia sp.																	1,9	56,6	3,8	7,6	17,0	7,6	5,7				
Littoridina cummingi																0,8	0,8	36,9	59,0		0,8	0,8	0,8				
Hirudinea sp.																					25,0	37,5	37,5				
Lumbriculus sp.																50,1											50,1
Ephryidae indet.													100,0														
Biomphalaria sp.																				100,0							
Aphrophila bidentata												100,0															
Ceratopogonidae indet.																											100,0
Corixidae indet.																					60,0	40,0					
Neuroptera indet.	100,0																										
Crustacea indet.	100,0																										

b) Abundancia (ind/m²): La variabilidad de la abundancia total en el área de estudio es presentada en forma gráfica en la **Figura 5.2.2b**. Fue colectado un total de 54.698 individuos. El valor promedio de las estaciones fue de 2.039 ind/m² con un valor máximo registrado en la estación M17 (9.811 ind/m²) y un mínimo en M8a con sólo 6 ind/m².

Como se observa en la **Figura 5.2.2b**, existe una clara diferencia entre los distintos sectores del curso principal del río Maipo respecto a este parámetro. En el sector alto y parte del sector medio (entre las estaciones M1 y M13) los valores de abundancia total son bajos, los que oscilan entre los 931 ind/m² y 6 ind/m², dentro de este sector, también se puede distinguir un subgrupo de valores de abundancia mucho menores, entre las estaciones M7 y M13. Los valores de abundancia aumentan considerablemente entre M14 y M21, con valores entre 2.969 ind/m² y 9.811 ind/m². Entre las estaciones M22 y M23 bajan nuevamente a valores comparables al sector alto del río.

Estadísticamente, las estaciones se distribuyeron en 3 grupos según su abundancia total (**Figura 5.2.2b**), **Grupo 1:** M1, M2, M3, M5, M22 y M23; **Grupo 2:** M6, M7, M8a, M8b, M9a, M9b, M10, M11, M12, M13, E1 y E3; **Grupo 3:** M15; M16, M17, M18, M19, M20 y M21 (F:120,259; gl: 2,23; p<0,0001; 96% de buena clasificación). La estación M14 no estuvo asociada a ninguno de los 3 grupos.

La variabilidad de la abundancia relativa (en cada estación) de los grupos mayores del macrozoobentos es presentada en forma gráfica en la **Figura 5.2.2c**. Los grupos más importantes en todo el curso principal del río Maipo fueron los dípteros y tricópteros (este último excepto en M8b). El grupo de los plecópteros y efemerópteros estuvo bien representado en el sector alto y medio del río, mientras que los coleópteros y anélidos alcanzaron su mayor representación porcentual en el sector medio terminal del río. Se observa además en la gráfica una distribución inversa entre los grupos mayores de dípteros y tricópteros. Los tricópteros son abundantes en el sector alto del río, los que disminuyen entre las estaciones M7 a M11 donde aumentan numéricamente los dípteros. Aguas abajo de M11 vuelven a ser importantes los tricópteros con una disminución del grupo de los dípteros.

Los dípteros estuvieron representados entre un 1,6% (M4) y un 78,9% (M11), los anélidos entre un 0% (M2, M7, M8a, M8b, M12, M13, M18) y un 88,5% (M14), tricópteros que oscilaron entre un 0% (M8b, M9b) y un 91,5% (M15), efemerópteros con valores entre 0% (M8a, M13, M21, M22, M23) y 55,6% (M8b) y plecópteros entre un 0% (M8a, E1, M12-M23) y 49,5% (M6). El grupo de los coleópteros estuvo pobremente representado en la mayoría de las estaciones, sin embargo, alcanzó apreciables abundancias relativas en las estaciones M8a (33,3%), M12 (23,0%) y M13 (75,0%).

Como muestra la **Figura 5.2.3a**, los taxa más abundantes respecto al total recolectado en la cuenca del río Maipo (Febrero 2004) fueron *Smicridea* sp. (72,0%), Chironomidae indet. (7,9%), *Nais* sp. (6,4%), Elmidae indet. (5,2%), *Metrichia* sp. (4,8%) y *Notoperlopsis* sp. (1,2%) Tan sólo estos 6 taxa correspondieron al 97,5% del total. Son

estos taxa los que contribuyen con el mayor número de individuos en cada uno de los grupos mayores del macrozoobentos (dípteros, tricópteros y anélidos).

c) Índices de diversidad: La variabilidad de los índices de diversidad de Shannon y Equidad en cada una de las estaciones es presentada en forma gráfica en la **Figura 5.2.3c** Se observa una gran variabilidad de ambos parámetros, sin patrón espacial definido entre las estaciones evaluadas. Los valores más altos de diversidad de Shannon fueron registrados en la estación M7 con 2,30 bits mientras el valor más bajo en la estación M13 con una diversidad de Shannon de 0,74 bits. Los valores de Equidad en cambio oscilaron entre $J=1,0$ en la estación M8a y $J=0,17$ en la estación M15.

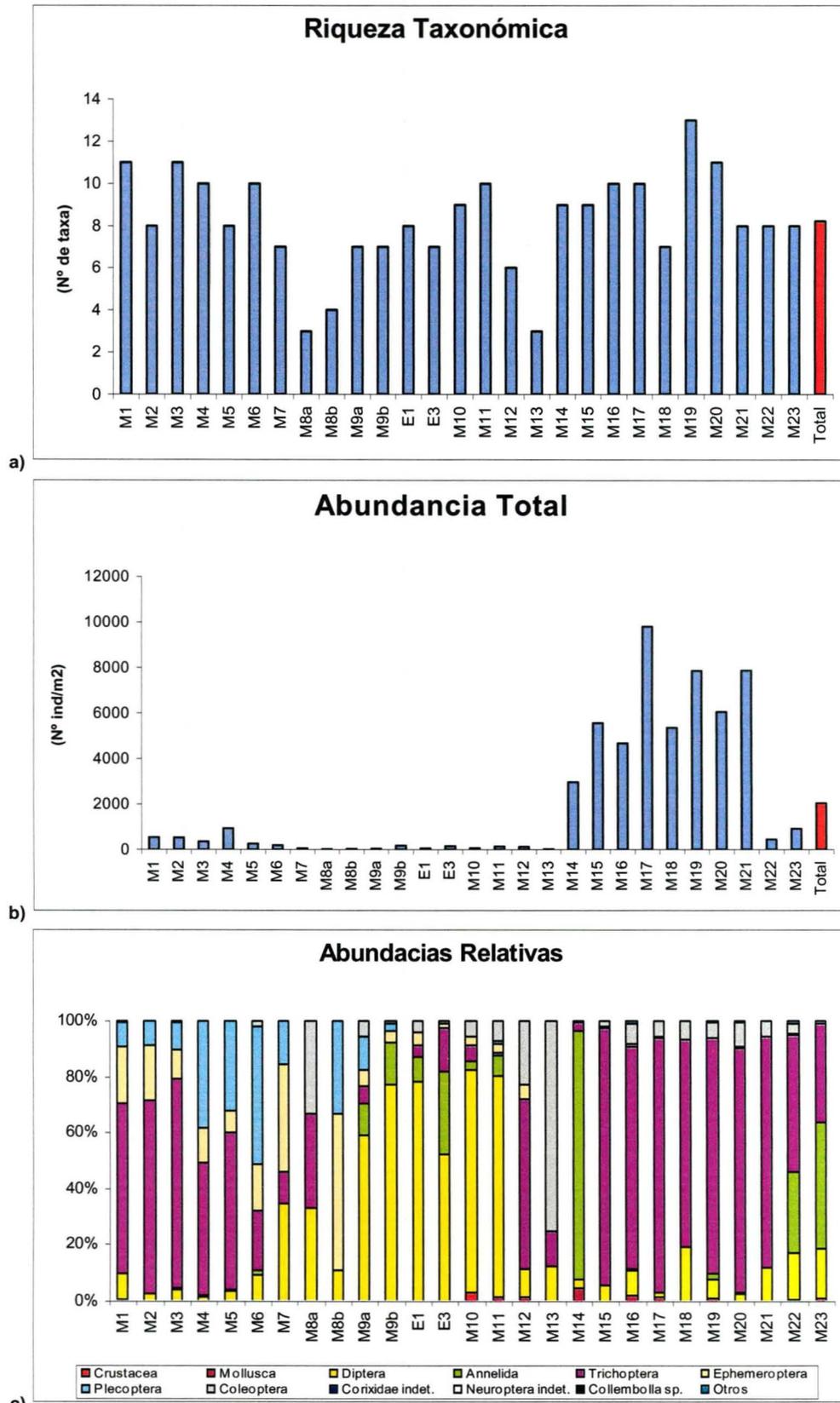
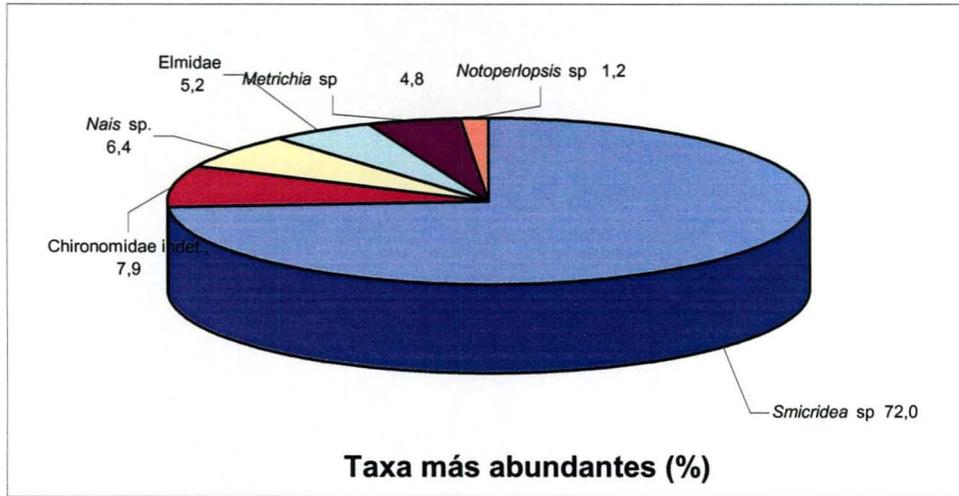


Figura 5.2.2. Parámetros comunitarios: a) Riqueza Taxonómica, b) Abundancia Total, c) Abundancia Relativa.

a)



b)

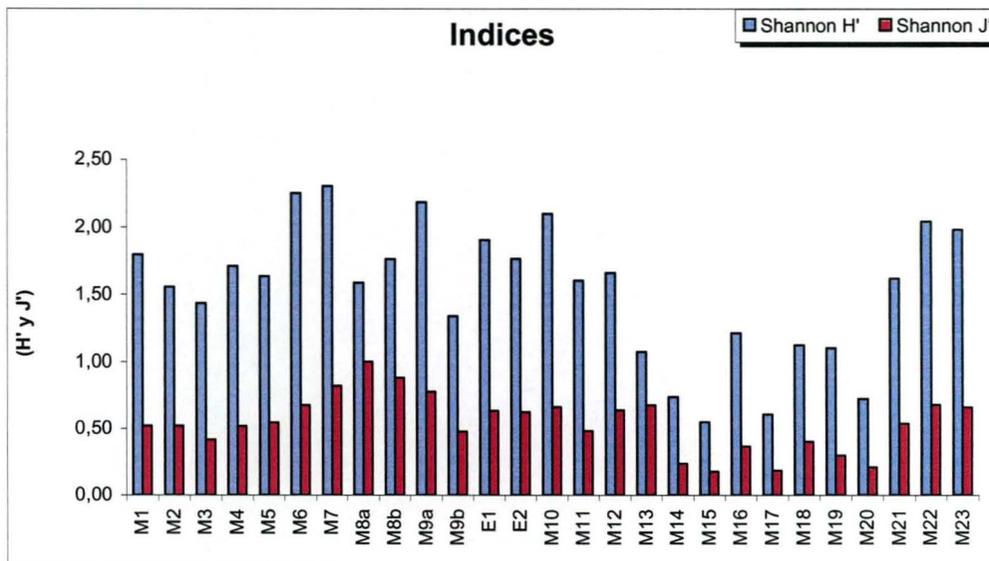


Figura 5.2.3. a) Taxa más representativas respecto al total colectado., b) Indices de diversidad: Shannon y Equidad.

5.2.3 Muestreo Mayo 2004

La campaña que fue realizada en Mayo del 2004 abarcó solo las estaciones M8a, M8b, M9a, M9b. En la **Tabla 5.2.5** y **Figura 5.2.4** se entregan los resultados de este muestreo.

En el muestreo realizado en Mayo del 2004, entre las estaciones M8a-M9b, el valor promedio fue de 6 taxa, con los máximos y mínimos registrados en las estaciones M8a (9 taxa) y M8b (3 taxa) respectivamente. Respecto al parámetro abundancia total, el valor promedio fue de 1.085 ind/m² con los máximos y mínimos registrados nuevamente en las estaciones M8a (3.565 ind/m²) y M8b (44 ind/m²) respectivamente.

Las abundancias relativas por estación muestran que en Mayo los grupos mejor representados fueron los anélidos y dípteros. Los anélidos presentaron abundancias relativas que oscilaron entre el 49,0% (estación M9a) y 89,1% (estación M8a). Los dípteros con abundancias relativas por estación entre un 10,4% (estación M8a) y un 50,0% (estación M9a).

Como se observa en la **Tabla 5.2.5**, la estación E2 (Embalse 2) presentó una baja riqueza taxonómica con sólo 3 taxa (dípteros, colémbolos y quironómidos), taxa típicas de ambientes de fondos blandos, como es el hábitat presente en esta estación. La abundancia fue de 591 ind/m². Los dípteros fueron el grupo mejor representado con un 87,2%, oligoquetos y colémbolos estuvieron representados por un 7,7% y 5,1% respectivamente.

Al comparar los resultados de estas estaciones (Febrero y Mayo) que se encontraban ubicadas en un área de influencia directa de efluentes de aguas servidas e industriales, se observan algunas diferencias en cuanto a los parámetros comunitarios riqueza taxonómica y abundancias. En general, no se observó un patrón estacional definido respecto de la riqueza taxonómica, sin embargo, hubo un importante aumento en la estación M8a en el muestreo de mayo, un leve aumento en este mismo mes en M9a, en cambio, se observaron disminuciones en M8b y M9b (**Figura 5.2.4a**). Los resultados obtenidos de abundancia muestran diferencias entre ambos muestreos estacionales, siendo los valores más altos en mayo. La estación M8a aumentó considerablemente en mayo a 3.565 ind/m², obteniendo el valor más alto, y la estación M8b presentó el valor más bajo en este muestreo con 44 ind/m², en cambio, en la campaña de febrero, los valores máximos y mínimos de abundancia estuvieron entre los 4 ind/m² (M8a) y los 159 ind/m² (M9b) (**Figura 5.2.4b**).

Con respecto a las abundancias relativas de los grupos mayores de macroinvertebrados bentónicos, también se observaron diferencias entre ambas campañas estacionales. En Mayo aumentaron considerablemente el grupo de los anélidos, mientras que los dípteros se mantuvieron presentes y bien representados en ambos períodos. Coléopteros, efemerópteros y tricópteros estuvieron representados en Febrero, mientras que en Mayo solo los anélidos y dípteros y en altas abundancias (**Figura 5.2.4c**).

Tabla 5.2.5. Abundancia promedio (Nº de individuos/m²) de la fauna de macroinvertebrados bentónicos en las estaciones M8a, M8b, M9a y M9b. Muestreo de Febrero y Mayo del 2004.

TAXA	M8a		M8b		M9a		M9b		E2
	Feb-04	May-04	Feb-04	May-04	Feb-04	May-04	Feb-04	May-04	May-04
Chironomidae indet.	1,9	316,7		11,1	16,7	222,2	120,4	53,7	515,1
Simuliidae indet.				1,9					
<i>Nais</i> sp.		3107,4		31,5	3,7	233,3	24,1	113,0	
<i>Deceptiviosa</i> sp.			7,4		1,9	1,9	5,6		
Empididae indet.		22,2				9,3	5,6		
Elmidae indet.	1,9				1,9		1,9	1,9	
<i>Andesiops</i> sp.		16,7				1,9	1,9		
Collembolla sp.									30,3
Psychodidae indet.		3,7	1,9		1,9				
<i>Hyalala</i> sp.		1,9							
<i>Physa</i> sp.								1,9	
Ephrydidae indet.		25,9							
Ceratopogonidae indet.		1,9				7,4			
Oligochaeta		68,5				1,9		81,5	45,45
<i>Notoperlopsis</i> sp.			5,6		3,7		3,7		
Hydrobiosidae indet.			1,9				1,9		
<i>Camelobaetidius</i> sp.			1,9						
Riqueza Taxonómica	2	9	5	3	6	7	8	5	3
Abundancia Total	4	3565	9	44	26	478	159	252	591

El dendrograma de similitud de Bray-Curtis (**Figura 5.2.5**) muestra que las estaciones evaluadas en los muestreos de Febrero y Mayo del 2004 presentan una baja similitud en cuanto a su composición taxonómica y abundancias. Las estaciones M8b y M9a mostraron una similitud de un 49,0% mientras el resto de las estaciones en ambos períodos estacionales mostraron una similitud menor al 30%.

Los resultados del muestreo realizado en las estaciones del embalse (E1: control, E2: embalse y E3 post-embalse) indicaron que las estaciones E1 y E3 presentaron riquezas taxonómicas mayores, entre 6 y 7 taxa respectivamente, mientras que la estación E2 sólo presentó 3 taxa. Esto se relaciona principalmente con el tipo de sustrato, ya que las estaciones E1 y E3 presentaron sustratos de grava, que permite el asentamiento de los organismos bentónicos, con una mayor diversidad de estos, en cambio la estación E2 presentó sustratos blandos (producto de la sedimentación), habitados por organismos más bien cavadores, como quironómidos y oligoquetos. Esta baja en la riqueza en la estación E2 no debe ser atribuido a contaminación, si no considerar el papel estructurador que tiene el tipo de sustrato en la fauna de macroinvertebrados bentónicos.

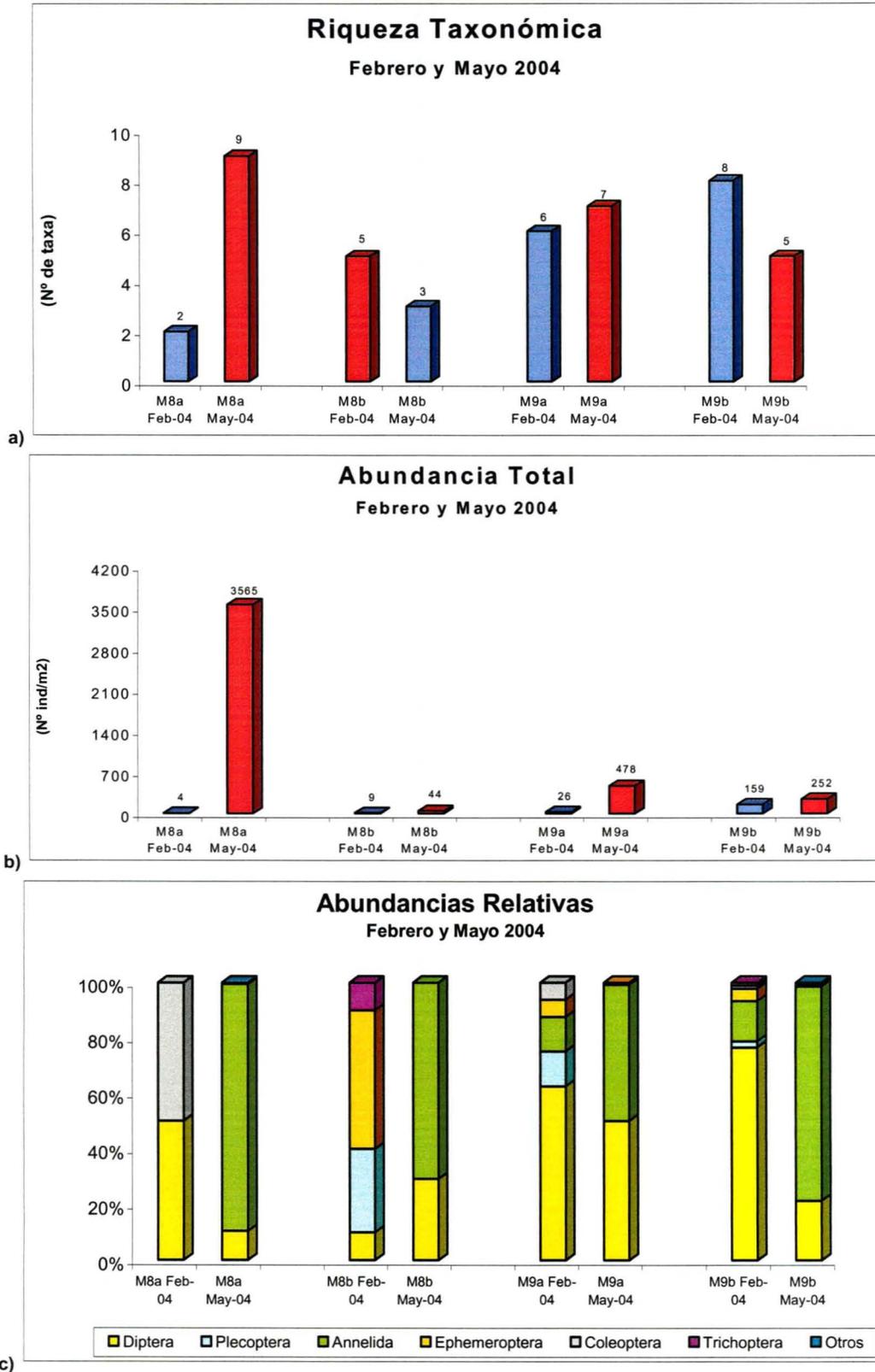


Figura 5.2.5. Parámetros comunitarios. a) Riqueza Taxonómica, b) Abundancia Total, c) Abundancias Relativas.

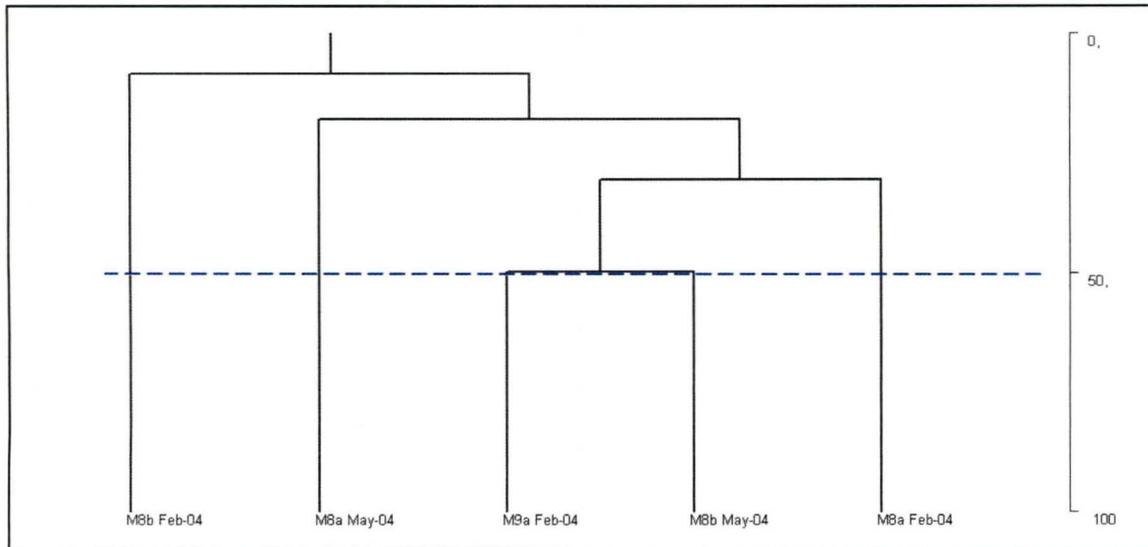


Figura 5.2.5. Clasificación de las estaciones de muestreo según su composición taxonómica y abundancias. Dendrograma de similitud de Bray-Curtis (1957).

5.2.4. Aplicación de índices bióticos

En este capítulo se entregan los resultados de la evaluación de la calidad del agua utilizando macroinvertebrados bentónicos como indicadores. En esta campaña de muestreo (Febrero 2004) fue utilizado el método Beck Tsuda, el objetivo fue establecer si es posible utilizarlo como método indicador de la calidad del agua. Básicamente este método clasifica a los taxa reconocidos en un área determinada en sólo 2 tipos: “sensibles” y “tolerantes”, dándole un puntaje determinado a cada taxa por estación de muestreo (ver más adelante).

Paralelamente, se obtuvo una mejor resolución en cuanto a la tolerancia a la contaminación orgánica de los diferentes taxa recolectados (más de 2 tipos para obtener una mayor resolución). Se determinaron 4 grupos de taxa: a) muy sensibles o indicadores de aguas de muy buena calidad, b) sensibles o indicadores de agua de buena calidad, c) medianamente tolerantes o indicadores de aguas de regular calidad y d) tolerantes o indicadores de aguas de mala calidad.

Los métodos mencionados responden principalmente a variaciones en los valores de DBO_5 detectados en el río Maipo, los diferentes grados de tolerancia son con respecto a este parámetro. Adicionalmente, fue utilizado un análisis multivariado, CANOCO, el cual muestra la asociación de los taxa a diferentes variables ambientales, por lo que además del parámetro DBO_5 , fueron obtenidos los diferentes grados de tolerancia de los taxa a variables indicadoras de contaminación orgánica como Nitrógeno y Fósforo Total, Coliformes Fecales y Materia orgánica e inorgánica en sedimento.

Finalmente se compararon los resultados obtenidos en cuanto a la calidad de las aguas del río Maipo según los índices biológicos e índices químicos, en este caso, sólo basados en el parámetro DBO_5 .

Método Beck Tsuda

A continuación se presentan los resultados de los parámetros comunitarios riqueza taxonómica, abundancia total, y las diferentes clases de calidad de agua en función de la DBO₅ (**Tabla 5.2.6** y **Tabla 5.2.7**).

Tabla 5.2.6. Clases de calidad de las aguas según las concentraciones de DBO₅ (mg/l).

Clases	DBO ₅ (mg/l)	Tipo	Calidad del agua
A	< 2,5	Oligosaprobio	muy buena
B	2,5 – 5,0	β- mesosaprobio	buena
C	>5,0 – 10,0	α- mesosaprobio	regular
D	> 10,0	Polisaprobio	mala

Como se observa en la **Tabla 5.2.7** y **Figura 5.2.6** el río Maipo presentó en su curso principal diferentes clases de calidad según el parámetro DBO₅. El sector alto y terminal del río presentaron las mejores calidades (Calidad A y B), desde la estación M1 hasta la M8b, y en el sector terminal desde la estación M15 hasta la M23. Dentro de estos dos grandes sectores las estaciones M7y M8a en el sector alto del río presentaron clases de calidad B (β- mesosaprobio), además del sector del río entre las estaciones M15-M17 y la estación M19. El sector medio del río, entre las estaciones M9a y M14, presentaron las peores calidades de las aguas designándoles clases C y D (excepto M12 que presentó clase B), la estación M9b presentó la peor calidad, clasificada como polisaprobio (DBO > 10mg/l). Las mayores concentraciones de DBO₅ localizadas en el sector medio del río guardan relación con la presión antrópica ejercida por la ciudad de Santiago sobre el río.

Como se informó en el capítulo de los parámetros comunitarios (macroinvertebrados bentónicos), las mayores riquezas taxonómicas, en general, fueron registradas en el sector alto y terminal del río, mientras que las abundancias totales fueron marcadamente superiores entre las estaciones M14 y M21. Al agrupar las estaciones según la calidad del agua (Clases A-B-C-D, DBO₅), resulta en valores promedio de riqueza y abundancia total que van disminuyendo con el deterioro de la calidad del agua (desde la clase A hasta la D, **Tabla 5.2.8**).

La clase de Calidad A (oligosaprobio) presentó el mayor número de estaciones (12 estaciones), mientras que la clase de Calidad D (polisaprobio) fue obtenida tan sola en una estación (M9b). Las clases de calidad B (β- mesosaprobio) y C (α- mesosaprobio) le fueron asignadas 7 estaciones cada una. Los valores obtenidos son presentados en la **Tabla 5.2.8**.

Tabla 5.2.7. Calidad del agua en cada una de las estaciones evaluadas de acuerdo a los criterios establecidos para la DBO₅.

Estación	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8a	M8b	M9a	M9b	E1	E3
DBO ₅ (mg/l)	<2	<2	<2	<2	<2	<2	3,3	4,2	2,3	8,1	11,2	7,0	5,8
Calidad	A	A	A	A	A	A	B	B	A	C	D	C	C
Riqueza (Nº de taxa)	11	8	11	10	8	10	7	3	4	7	7	8	7
Abundancia (Nº ind/m ²)	535	531	354	931	259	183	48	6	17	31	163	43	144

Estación	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M23
DBO ₅ (mg/l)	6,1	5,2	4,8	5,6	5,7	2,8	3,3	3,2	2,2	2,6	<2	<2	<2	2,4
Calidad	C	C	B	C	C	B	B	B	A	B	A	A	A	A
Riqueza (Nº de taxa)	9	10	6	3	9	9	10	10	7	13	11	8	8	8
Abundancia (Nº ind/m ²)	63	131	113	15	2969	5546	4661	9811	5348	7861	6043	7881	448	917

Tabla 5.2.8. Riqueza y abundancia promedio por calidad de agua en función de la DBO₅.

Calidad del agua	A	B	C	D	Promedio
Riqueza promedio (Nº taxa)	8,6	8,2	7,5	7,0	7,8
Abundancia promedio (ind/m ²)	1954,0	4006,6	485,2	163,0	1652,2
Nº estaciones	12	7	7	1	-

El paso siguiente en el método Beck Tsuda fue agrupar las estaciones en las diferentes clases de calidad de agua. Para esto se utilizó la matriz de datos de las abundancias absolutas de la fauna de macroinvertebrados bentónicos, las que fueron transformadas a abundancias relativas (**Tabla 5.2.9**).

Los resultados obtenidos de la matriz anterior (**Tabla 5.2.9**), nos permite observar a los taxa que se distribuyeron en cada una de las clases de calidad según la DBO₅. Se les asigna a cada taxa el valor de “1” si corresponde a un taxa “tolerante”, es decir, su mayor porcentaje de ocurrencia se encuentra entre las clases B, C y D, y el valor “2” si corresponde a un taxa “sensible”, es decir, su mayor porcentaje de ocurrencia está en la clase de calidad A (**Tabla 5.2.10**).

Tabla 5.2.9. Distribución de la fauna de macroinvertebrados bentónicos en las diferentes estaciones del río Maipo. Matriz de abundancias relativas.

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M8b	M18	M20	M21	M22	M23	Total	M7	M8a	M12	M15	M16	M17	M19	Total	M9a	E1	E3	M10	M11	M13	M14	Total	M9b		
DBO ₅	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2,3	2,2	<2	<2	<2	2,4	A	3,3	4,2	4,8	2,8	3,3	3,2	2,6	B	8,1	7,0	5,8	6,1	5,2	5,6	5,7	C	D		
Calidad	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C	C	D		
Chironomidae indet.	0,9	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3		23,8	3,5	21,8	1,7	3,7	56,3	0,4	0,0	0,2	7,0	9,3	3,8	12,3	32,9	0,4	0,6	1,7	0,9	2,2		2,2	8,0	2,8		
Simuliidae indet.	16,7	11,1	16,7										44,5			11,1					11,1		11,1	5,6	27,8				44,5			
Nais sp.	0,1		0,1	0,2	0,1	0,1			0,8	0,2	3,7	11,7	16,9				0,3	0,9	0,1	4,7	6,1	0,1	0,1	1,2	0,1	0,3		74,7	76,4	0,7		
Smicridea sp.	0,8	0,9	0,7	1,1	0,4	0,1		9,9	13,3	10,8	0,5	0,5	38,8			0,2	12,8	9,3	22,4	16,2	60,9			0,1				0,2	0,3			
Blephariceridae	37,5	37,5	12,5			12,5							100,1																			
Deceptivosa sp.	31,9	18,9	1,1	28,6	3,8	5,9	2,2						92,4	4,3							4,3	0,5		0,5	0,5				1,6	1,6		
Athericidae indet.	14,2		14,2	42,7		28,5							99,7																			
Empididae indet.					16,7								16,7										16,7			16,7			33,4	50,1		
Notoperlopsis sp.	7,0	6,8	5,1	52,2	12,2	13,2	0,8						97,3	1,1							1,1	0,5		0,3		0,3			1,1	0,5		
Hydrobiosidae indet.	20,0	20,0		30,0									70,1	10,0	10,0						20,0	10,0							10,0			
Elmidae indet.			0,1	0,1		0,1		11,7	19,2	15,2	0,6	0,2	47,2		0,1	0,9	4,0	11,4	18,9	15,9	51,2	0,1	0,1		0,1	0,3	0,4	0,6	1,5	0,1		
Meridialaris sp.		47,8	39,1	4,3	2,2	4,3							97,8	2,2							2,2											
Andesiops sp.				22,2	11,1	11,1			33,3				77,8	3,7							3,7	7,4		3,7		7,4			11,1	3,7		
Gundlachia gayana																	61,2	38,9			100,1											
Pisidium sp.												100,0	100,0																			
Limnoperla jaffueli											50,1		50,1			50,1					50,1											
Nematoda indet.											66,7	33,3	100,0																			
Collembolla sp.																				100,0	100,0											
Psychodidae indet.							20,0						20,0									20,0			20,0	40,0			80,0			
Hyalolela sp.																									50,0			50,0	100,0			
Physa sp.									0,7	0,7	0,7	3,7	6,0			0,7		1,5	3,7	32,1	38,1					0,7		55,2	56,0			
Hydra sp.																				100,0	100,0											
Camelobaetidium sp.							1,4	1,4					2,8			4,2	25,0	30,6	34,7		94,5						2,8	2,8				
Metrichia sp.			0,1					1,8	0,1	84,6	1,2	4,7	92,5				0,3	0,8		6,4	7,5											
Dugesia sp.								7,6	7,6	5,7			20,8				1,9	56,6	3,8	17,0	79,3											
Littoridina cummingi									0,8	0,8			1,6				0,8	36,9	59,0	0,8	97,6						0,8	0,8				
Hirudinea sp.								25,0	37,5				62,6								37,5	37,5										
Lumbriculus sp.																							50,0				50,0	100,0				
Ephryidae indet.																										100,0			100,0			
Biomphalaria sp.																			100,0		100,0											
Aphrophila bidentata																									100,0				100,0			
Ceratopogonidae																								100,0					100,0			
Corixidae indet.									40,0				40,0							60,0	60,0											
Neuroptera indet.	100,0												100,0																			
Crustacea indet.	100,0												100,0																			

CUENCA DEL RIO MAIPO (Calidad Química)

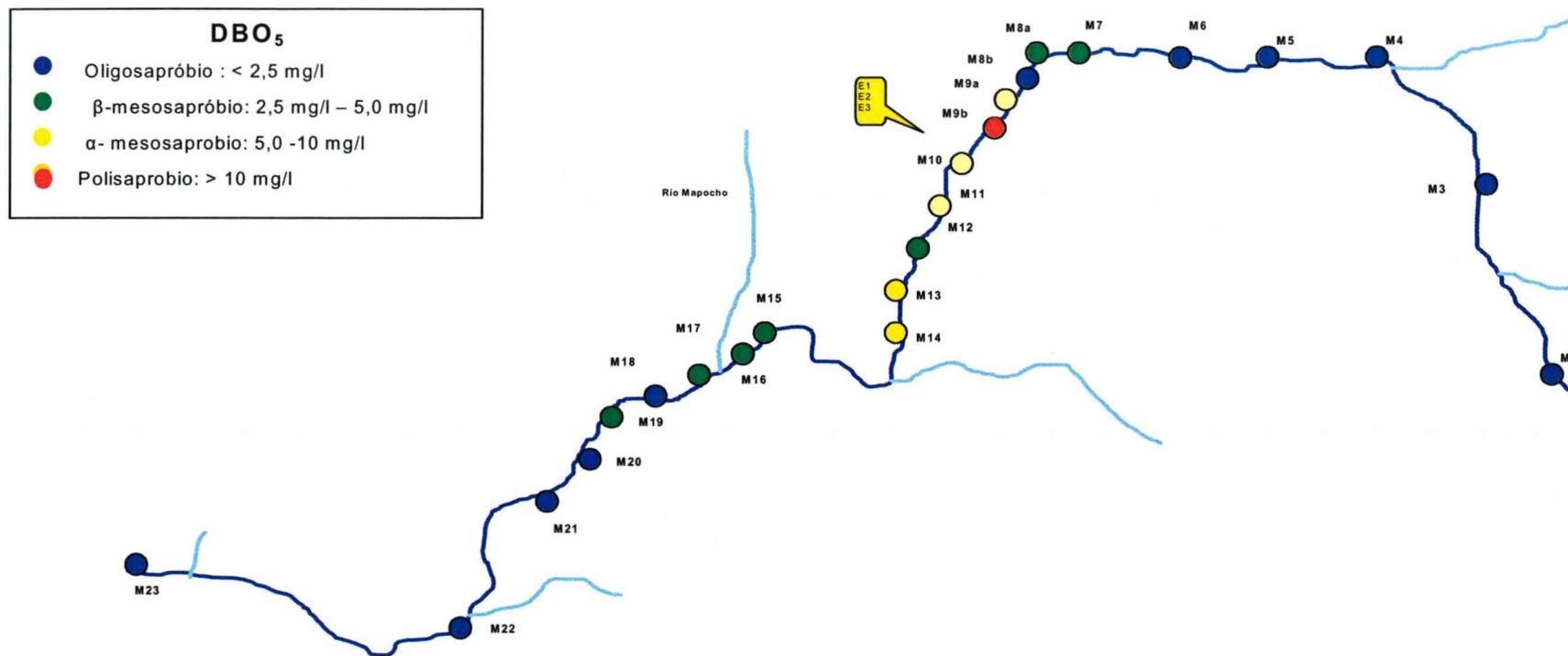


Figura 5.2.6. Mapa de calidad del agua según el parámetro Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅ mg/l).

En la **Tabla 5.2.10** se entregan los resultados de la representación porcentual de cada taxa en cada una de las clases de calidad (DBO_5) para la campaña de Febrero del 2004 y la asignación del tipo “sensible” o “tolerante”. Se agregó además los resultados obtenidos en Mayo del 2003. En el caso que un taxa estuviese distribuido en forma similar en clases de calidad A, B, C ó D, se mantiene la asignación obtenida en el muestreo de Mayo 2003, y/o apoyo bibliográfico. Estos taxa fueron Chironomidae indet., Hirudinea indet., *Limnoperla jaffueli*, *Metrichia* sp., Nematoda indet., Simuliidae indet. (criterio obtenido por comunicación personal con Jun Kurosawa). En la **Tabla 5.2.10** se destaca los 20 taxa que presentaron la misma clasificación en ambas campañas.

De estos resultados se distingue claramente aquellos taxa indicadores de aguas oligosaprobias, como Hydrobiosidae indet. (70,1% en clase A), los dípteros de las familias Blephariceridae indet. (100% en clase A), Athericidae indet. (99,7% en clase A), efemerópteros de la familia Leptophlebiidae, género *Meridialaris* sp. (97,8% en clase A).

También presentaron las mayores abundancias relativas en la Clase de Calidad A el plecóptero *Notoperlopsis* sp. (96,5% en clase A), y los efemerópteros de la familia Baetidae *Andesiops* sp. (77,8% en clase de calidad A) y *Deceptiviosa* sp. (92,4% en clase de calidad A). Es importante destacar que estos taxa se distribuyeron en la estación M9b, que presentó clase de calidad D (polisaprobio), resultando contradictorio asignarle la categoría “sensibles” si pueden sobrevivir a altas concentraciones de DBO_5 , aunque estos taxa fueron colectados en bajas abundancias en dicha estación.

Sin embargo, en el muestreo de Mayo 2003 (CNR, 2003), fue registrado en el curso principal *Deceptiviosa* sp. en un 99,5% en clase de Calidad A, y 0,5% en clase de calidad B, y el género *Notoperlopsis* sp. en un 99,2% en clase de calidad A y un 0,8% en clase B, por lo que se pondría pensar que la baja representación de estos taxa en M9b (febrero 2004), podría deberse a contaminación de la muestra, o a la captura por la red de muestreo de aquella fauna que es transportada en la columna de agua por “deriva” (aguas abajo). El muestreo realizado en Mayo del 2004 (entre las estaciones M8a y M9b) muestra que los géneros de la familia Baetidae (*Deceptiviosa* sp. y *Andesiops* sp.), nuevamente se distribuyeron en aquellas estaciones con alta DBO_5 , donde las aguas pertenecerían a la clase D (polisaprobio, aunque nuevamente en bajas abundancias). La familia Baetidae es reconocida en la literatura como tolerante más que sensible a la contaminación (Hinsenhoff 1988, BMPS Miserendino & Pizzolon 200, BMWP Alba–Tercedor 1996, Getti 1996).

No fueron registrados taxa que sólo se distribuyeran en altos porcentajes en la clase de calidad D (polisaprobio). Sólo el díptero Empididae indet. presentó una abundancia relativa medianamente alta en esta clase con un 50%. En general, los taxa que se distribuyeron en la clase D no superaron el 4%. Por tal razón no se pudo reconocer taxa indicadoras de aguas polisapróbicas.

Fueron reconocidos 5 taxa de tolerancia intermedia, que se distribuyeron en un 100% entre las clases B y C, estos fueron *Littoridina cummingi* (98,0% en clase de calidad B), *Gundlachia gayana* (100% en clase de calidad B), *Camelobaetidius* sp. (95,0% en clase

de calidad B)., Psychodidae indet. (80,0% en clase de calidad C) y *Hyalella* sp. (100% en clase de calidad C).

Según el método Beck Tsuda, el paso siguiente a la asignación de los valores de “1” (tolerantes) y “2” (sensibles) a los diferentes taxa es reemplazar la ocurrencia de cada taxa en cada una de las estaciones, por estos valores, según corresponda (Tabla 5.2.11). Finalmente se suman los valores asignados en cada estación de muestreo resultando en un índice. Este índice estuvo entre 3 y 17 (Tabla 5.2.11 y Figura 5.2.7).

Tabla 5.2.10. Representación porcentual de cada uno de los taxa en las diferentes clases de calidad. Asignación del tipo “sensible” y/o “tolerante”. Campaña Mayo 2003 y Febrero 2004.

Calidad/Taxa	A	B	C	D	Feb-04	May-03
<i>Andesiops</i> sp.	77,8	7,4	11,1	3,7	2*	●
<i>Aphrophila bidentata</i>	-	-	100,0	-	1**	●
Athericidae indet.	99,7	-	-	-	2	2
<i>Biomphalaria</i> sp.	-	100,0	-	-	1**	1
Blephariceridae indet.	100,0	-	-	-	2	2
<i>Camelobaetidius</i> sp.	2,8	94,5	2,8	-	1	1
Ceratopogonidae indet.	-	-	100,0	-	1**	●
Chironomidae indet.	56,4	32,9	8,0	2,8	1	1
Collembolla sp.	-	100,0	-	-	1**	1
Corixidae indet.	40,0	60,0	-	-	1	●
Crustacea indet.	100,0	-	-	-	2	●
<i>Deceptiviosa</i> sp.	92,5	4,3	1,6	1,6	2*	2
<i>Dugesia</i> sp.	20,8	79,3	-	-	1	1
Elmidae indet.	47,1	51,2	1,5	0,1	1	1
Empididae indet.	16,7	-	33,4	50,1	1	-
Ephryidae indet.	-	-	100,0	-	1**	1
<i>Gundlachia gayana</i>	-	100,0	-	-	1	1
Hirudinea sp.	62,5	37,5	-	-	1**	1
<i>Hyalella</i> sp.	-	-	100,0	-	1	●
<i>Hydra</i> sp.	-	100,0	-	-	1**	1
Hydrobiosidae indet.	70,1	20,0	10,0	-	2	2
<i>Limnoperla jaffueli</i>	50,0	50,0	-	-	1	●
<i>Littoridina cummingi</i>	1,6	97,6	0,8	-	1	1
<i>Lumbriculus</i> sp.	-	-	100,0	-	1	●
<i>Meridialaris</i> sp.	97,8	2,2	-	-	2	2
<i>Metrichia</i> sp.	92,5	7,5	-	-	1	1
<i>Nais</i> sp.	16,9	6,1	76,4	0,7	1	1
Nematoda indet.	100	-	-	-	1	1
Neuroptera indet.	100,0	-	-	-	2	●
<i>Notoperlopsis</i> sp.	97,3	1,1	1,1	0,5	2*	2
<i>Physsa</i> sp.	5,9	38,1	56,0	-	1	1
<i>Pisidium</i> sp.	100,0	-	-	-	2**	●
Psychodidae indet.	20,0	-	80,0	-	1	1
Simuliidae indet.	44,5	11,1	44,5	-	2	2
<i>Smicridea</i> sp.	38,9	60,9	0,3	-	1	1

● Taxa no recolectados en el curso principal en Mayo del 2003.

* Taxa “sensibles” pero que se distribuyen en aguas polisapróbicas

** Taxa excluida por distribuirse sólo en una estación

Tabla 5.2.11. Matriz de datos (nivel taxonómico más bajo posible) donde fue reemplazada la ocurrencia de cada uno de los taxa en cada estación por el valor “1” (tolerantes) y “2” (sensibles).

Estación	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M8b	M18	M20	M21	M22	M23	M7	M8a	M12	M15	M16	M17	M19	M9a	E1	E3	M10	M11	M13	M14	M9b
DBO₅	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2,3	2,2	<2	<2	<2	2,4	3,3	4,2	4,8	2,8	3,3	3,2	2,6	8,1	7,0	5,8	6,1	5,2	5,6	5,7	11,2
Calidad	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C	D
Chironomidae indet.	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Simuliidae indet.	2	2	2												2						2	2	2				
<i>Nais</i> sp.	1		1	1	1	1			1	1	1	1				1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1
<i>Smicridea</i> sp.	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1
Blephariceridae indet.	2	2	2			2																					
<i>Deceptivosa</i> sp.	2	2	2	2	2	2	2						2							2		2	2				2
Athericidae indet.	2		2	2		2																					
Empididae indet.					1																1			1			1
<i>Notoperlopsis</i> sp.	2	2	2	2	2	2	2						2							2		2		2			2
Hydrobiosidae indet.	2	2		2									2	2						2							
Elmidae indet.			1	1		1		1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1
<i>Meridialaris</i> sp.		2	2	2	2	2							2														
<i>Andesiops</i> sp.				2	2	2			2				2						2		2			2			2
<i>Gundlachia gayana</i>																1	1										
<i>Limnoperta jaffueli</i>											1				1												
Nematoda indet.											1	1															
Psychodidae indet.							1													1			1	1			
<i>Hyalala</i> sp.																							1			1	
<i>Physa</i> sp.									1	1	1	1			1		1	1	1					1		1	
<i>Camelobaetidius</i> sp.							1	1							1	1	1	1								1	
<i>Metrichia</i> sp.			1					1	1	1	1	1				1	1		1								
<i>Dugesia</i> sp.								1	1	1					1	1	1	1									
<i>Littoridina cummingi</i>									1	1					1	1	1	1								1	
Hirudinea sp.								1	1										1								
<i>Lumbriculus</i> sp.																				1						1	
Corixidae indet.									1										1								
Indice	15	14	17	16	12	16	6	7	12	8	8	7	12	4	7	9	10	9	12	10	10	9	10	11	3	9	10

A continuación se entrega el cálculo del valor promedio del índice por clase de calidad del agua (Beck Tsuda nivel taxonómico más bajo posible: **BTT**):

Clase A= 15 + 14 + 17 + 16 + 12 + 16 + 6 + 7 + 12 + 8 + 8 + 7 = **11,5**

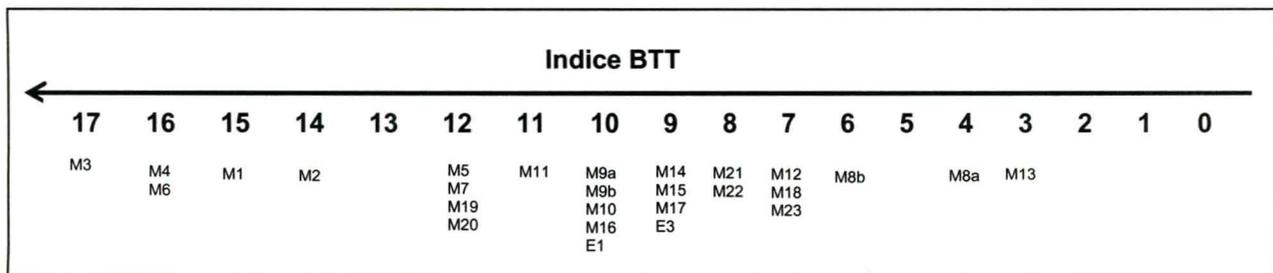
Clase B= 12 + 4 + 7 + 9 + 10 + 9 + 12 = **9,0**

Clase C= 10 + 10 + 9 + 10 + 11 + 3 + 9 = **8,9**

Clase D= 10

Según el método de Beck Tsuda, se espera encontrar valores promedios más altos en la mejor clase de calidad. Esto se cumplió sólo para las clases de calidad A, B y C, aunque los valores presentaron intervalos estrechos, sobre todo entre las clases B y C. La clase polisaprobia debería obtener el índice más bajo, lo que no ocurrió. Se debe considerar que el valor proviene sólo de una estación, en bajas densidades, pero como el método sólo considera la presencia del taxa, el índice aumenta.

Los mayores valores del índice (entre 12 y 17) fueron obtenidos en las estaciones del sector alto del río (M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7), la estación M11 y parte del sector terminal en M19 y M20, siendo clasificadas como aguas β-mesosapróbicas. Estas estaciones presentaron la mejor calidad del agua. El sector medio y terminal del río (excepto M8a, M8b y M13) presentaron valores intermedios del índice (entre 10 y 6), siendo clasificados como aguas de regular calidad (clases de calidad C). Los valores más bajos del índice (entre 3 y 4) fueron obtenidos en las estaciones M8a y M13, estaciones que se encuentran afectadas por la presencia de efluentes puntuales y las que fueron clasificadas como clase D polisapróbicas. El esquema siguiente muestra la ubicación de cada una de las estaciones respecto al valor del índice.



En Mayo del 2004 los valores del índice fueron las siguientes; M8a=10 (α-mesosapróbico); M8b=4 (polisapróbico); M9a=9 (α-mesosapróbico) y M9b=5 (polisapróbico). Según el parámetro DBO₅, la estación M8a presentó aguas α-mesosapróbico, mientras que el resto aguas polisapróbicas (**Figura 5.2.7**). Estos valores del índice podrían disminuir en al menos 1 valor ya que en cada una de las estaciones fueron colectados taxa sensibles en bajas abundancias (1 individuo entre las 6 réplicas).

CUENCA DEL RIO MAIPO (Macroinvertebrados Bentónicos)

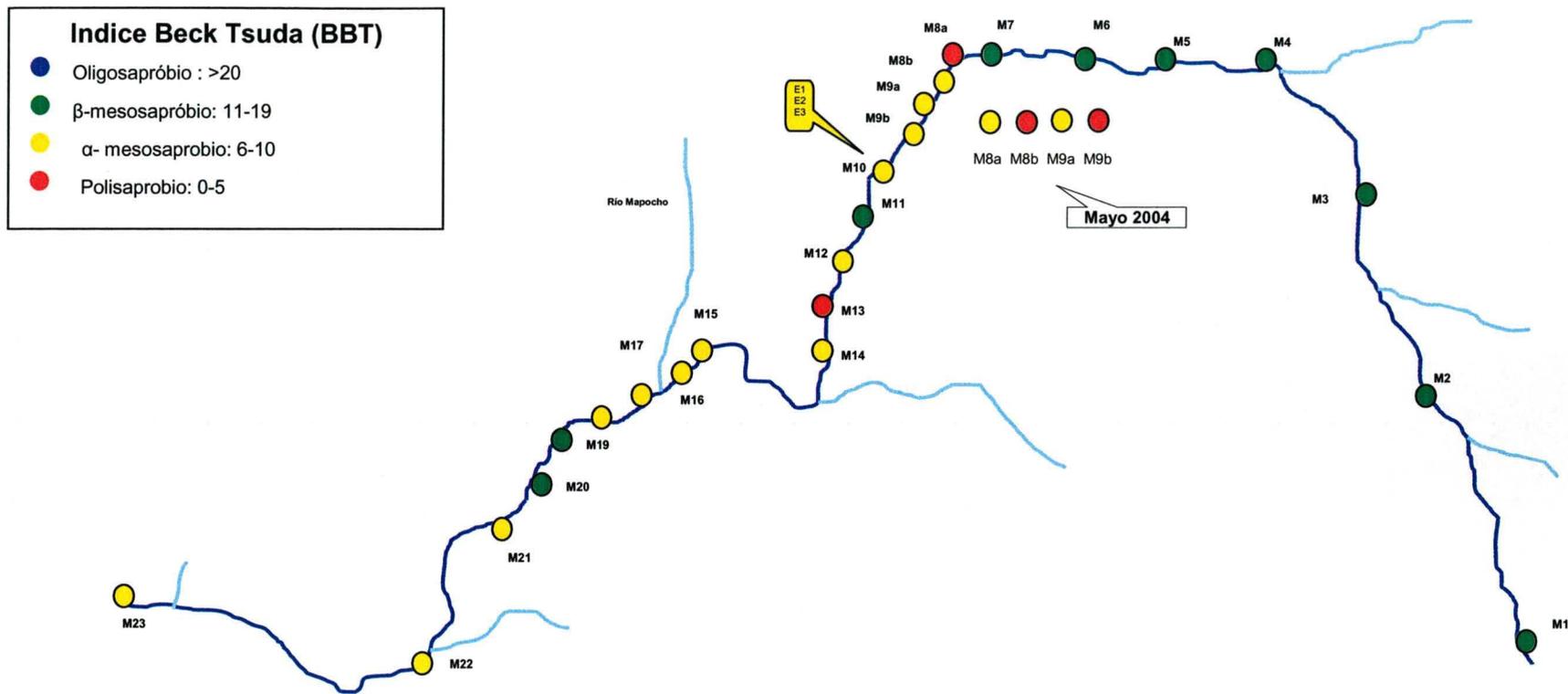


Figura 5.2.7. Mapa de calidad del agua según el índice Beck Tsuda (BTT)

Al comparar los resultados de los índices bióticos con la DBO₅, se encontró lo siguiente:

- Coinciden en atribuir al sector alto del río (M1-M6) con aguas de mejor calidad
- Coinciden en asignarles al sector medio las peores clases de calidad
- Excepto por las estaciones M19 y M20, el valor del índice biótico no clasifica al sector terminal del río en aguas de mejor calidad, sí el parámetro DBO₅. Porque su situación de escasa contaminación es reciente (Aguas tratadas la Farfana).
- No coincide la clasificación dada por la DBO₅ y el índice biótico al momento de clasificar las aguas de peor calidad, ya que mientras la DBO₅ clasifica a M8b, M18, M21, M22 y M23 como oligosapróbicas, el índice clasifica a M8a como polisaprobio, a M21 y M23 como α -mesosapróbico y a M22 como β -mososapróbico.
- Según el índice biótico, la estación que presentó la peor calidad del agua no fue M9b (clasificación de la DBO₅), sino M8a, M8b y M13.
- En Mayo del 2004 coinciden la evaluación química y biológica en otorgarles a la estación M8a clase C y a M8b, M9a y M9b clase D. La diferencia estuvo en la estación M9a, en que el índice otorgó clase C. En esta estación fueron registrados 3 taxa sensibles en bajas densidades (1 individuo en 6 réplicas).

Es importante mencionar que la utilización del nivel taxonómico más bajo posible que se ha realizado hasta ahora, puede presentar desventajas en nuestro país al no poseer una resolución (conocimiento) taxonómico acabado a nivel género o especie en todas las familias de invertebrados bentónicos. Por ejemplo, puede darse el caso que se conozcan mejor a grupos de plecópteros, efemerópteros y tricópteros, por lo que se tendrá un mayor número de taxa o riqueza taxonómica en aquellas estaciones que estén presentes estos grupos, aumentando el valor del índice.

Por esta razón, se estaría sobreestimado el valor del índice sólo en algunos sectores del río, y por la baja resolución taxonómica en otras estaciones, el valor del índice será menor. Por esto se aplicó el mismo método (Beck Tsuda), pero con una resolución taxonómica al nivel de **FAMILIA**.

La **Tabla 5.2.12** presenta los resultados obtenidos con el índice Beck Tsuda utilizando resolución taxonómica a nivel de familias (**BTF**). En el caso de familias que presentaran taxa sensibles y tolerantes se acudió a índices utilizados en Sudamérica para asignarles la categoría (BMPS, presenta la mayoría de nuestras familias). Este fue el caso de las familias Baetidae y Gripopterygiidae. Hirudinea indet. fue mantenida como tolerante por ser considerada así internacionalmente en muchos índices bióticos. Nematoda e Hydroptilidae fueron consideradas sensibles, basados en los resultados de esta campaña.

A continuación se entrega el cálculo del valor promedio del índice por clase de calidad del agua (Beck Tsuda a nivel de Familia: **BTF**)

$$\text{Clase A} = 14 + 13 + 17 + 13 + 9 + 13 + 4 + 8 + 12 + 9 + 11 + 9 = \mathbf{11,0}$$

$$\text{Clase B} = 4 + 9 + 7 + 11 + 11 + 9 + 12 = \mathbf{9,0}$$

$$\text{Clase C} = 9 + 9 + 8 + 9 + 10 + 4 + 9 = \mathbf{8,3}$$

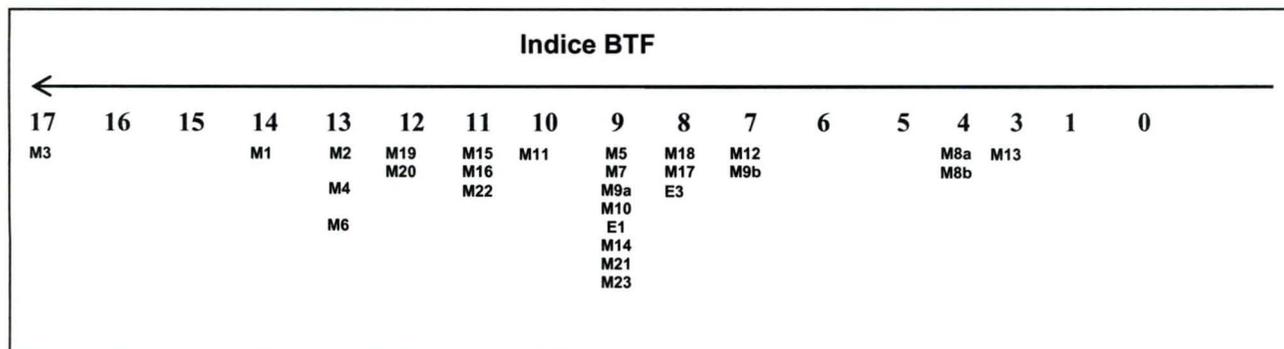
$$\text{Clase D} = \mathbf{7}$$

El índice utilizando la categoría taxonómica de familias muestra concordancia entre las clases de calidad y el valor promedio obtenido en cada una de ellas, disminuyendo el valor obtenido con las clases de calidad.

Tabla 5.2.12. Matriz de datos (nivel taxonómico más bajo posible) donde fue reemplazada la ocurrencia de cada uno de las familias en cada estación por el valor “1” (tolerantes) y “2” (sensibles).

Estación	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M8b	M18	M20	M21	M22	M23	M8a	M7	M12	M15	M16	M17	M19	M9a	E1	E3	M10	M11	M13	M14	M9b	
DBO ₅	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2,3	2,2	<2	<2	<2	2,4	4,2	3,3	4,8	2,8	3,3	3,2	2,6	8,1	7,0	5,8	6,1	5,2	5,6	5,7	11,2	
Calidad	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C	D
Chironomidae	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Simuliidae	2	2	2												2							2	2	2				
Oligochaeta	1		1	1	1	1			1	1	1	1				1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	
Hydropsychidae	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	
Blephariceridae	2	2	2			2																						
Baetidae	1	1	1	1	1	1	1	1	1					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Athericidae	2		2	2		2																						
Empididae					1																1			1			1	
Gripopterygiidae	2	2	2	2	2	2	2				2			2		2					2		2		2		2	
Hydrobiosidae	2	2		2									2	2							2							
Elmidae			1	1		1		1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	
Leptophlebiidae		2	2	2	2	2								2														
Ancyliidae																	1	1										
Nematoda										2	2																	
Psychodidae							1														1		1	1				
Hyalellidae																							1			1		
Physidae									1	1	1	1			1		1	1	1					1		1		
Hydroptilidae			2					2	2	2	2	2				2	2		2									
Dugesidae								1	1	1						1	1	1	1									
Amnicoliidae									1	1						1	1	1	1							1		
Hirudinea								1	1										1									
Lumbriculidae																					1					1		
Corixidae									1													1						
INDICE	14	13	17	13	9	13	4	8	12	9	11	9	4	9	7	11	11	9	12	9	9	8	9	10	4	9	7	

El BTF presentó valores entre 3-17. Nuevamente los valores más altos (entre 11 y 17) se registraron entre las estaciones M1 y M6 (sector alto del río), seguido por las estaciones M15, M16, M19, M20 y M22, asignándoles clases de calidad B (β -mesosapróbicas). El siguiente esquema muestra la ubicación de las estaciones a los diferentes puntajes del índice.



Estaciones del sector medio y algunas del sector terminal del río presentaron las peores calidades, clasificándose según el BTF en clases C y D (α -mesosapróbicas y polisapróbicas). Las estaciones M8a, M8b y M13 presentaron aguas polisapróbicas según el índice, coincidiendo con BTT y siendo una de las más importantes diferencias con la clasificación química. La **Figura 5.2.8** entrega los resultados de la clasificación del agua del río Maipo según el BTF.

Los resultados del índice aplicado a las estaciones muestreadas en Mayo del 2004 fueron los mismos que en el BTT. La DBO_5 clasificó a la estación M8a en clase C y a M8b, M9a y M9b en clase D. La diferencia estuvo en la estación M9a, aunque, que el índice otorgó clase C (**Figura 5.2.8**).

Fueron correlacionados los valores de los índices BTT y BTF con la DBO_5 , además de algunos parámetros comunitarios como riqueza taxonómica, abundancia total, diversidad de Shannon, Equidad. Como se muestra en las **Figuras 5.2.9 y Figura 5.2.10**, sólo el método de Beck Tsuda a nivel de Familias (BTF) arrojó una correlación negativa con significancia con el parámetro de la DBO_5 .

CUENCA DEL RIO MAIPO (Macroinvertebrados Bentónicos)

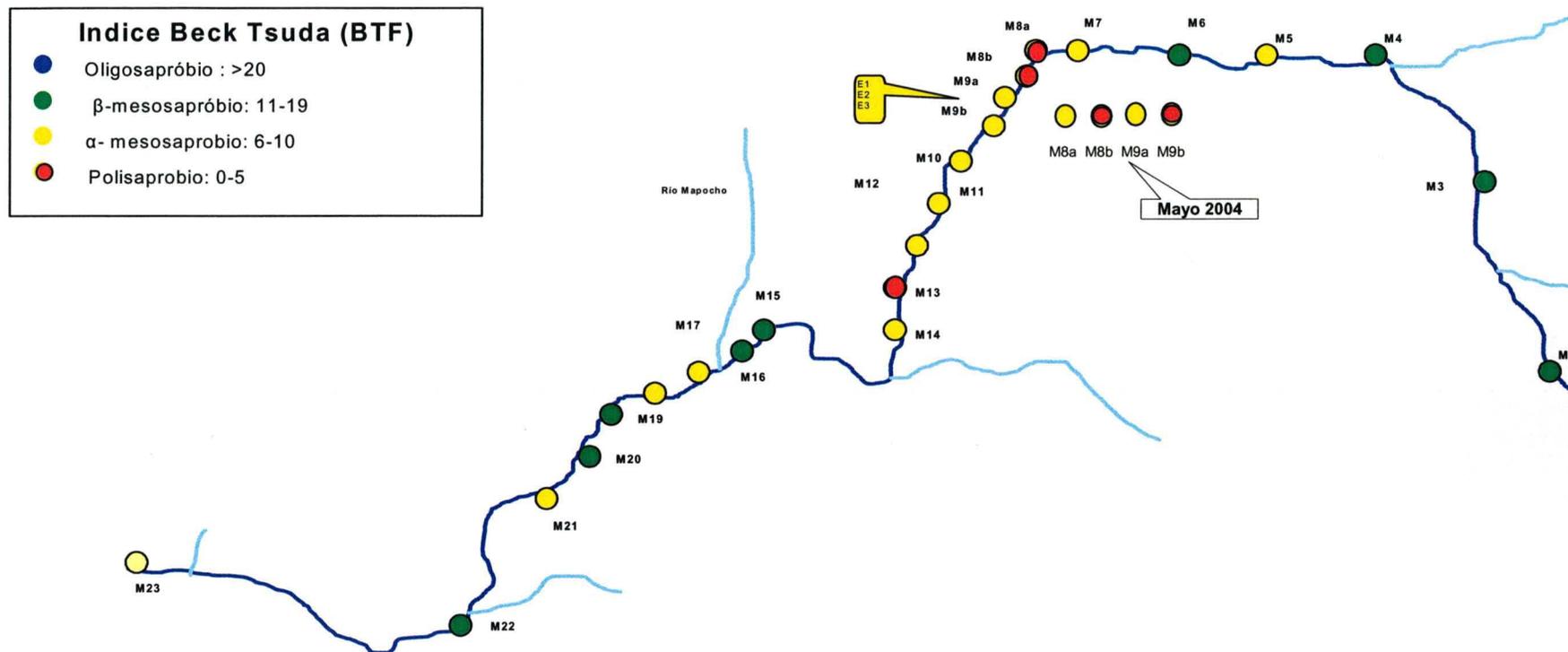


Figura 5.2.8. Mapa de calidad del agua según el indice Beck Tsuda a nivel de familias (BTF).

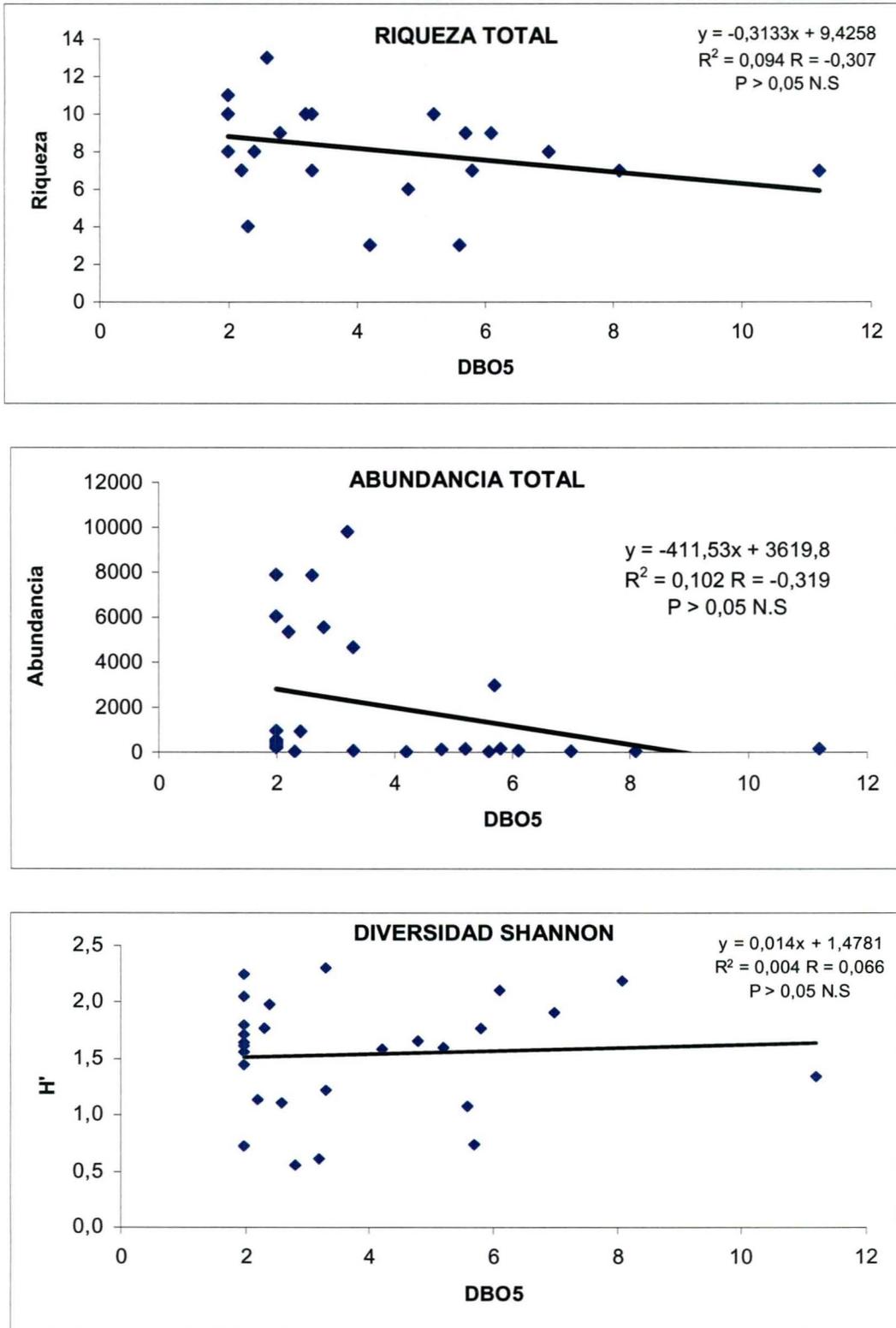


Figura 5.2.9 Correlación entre los valores de a) Riqueza taxonómica, b) Abundancia total y c) Diversidad de Shannon.

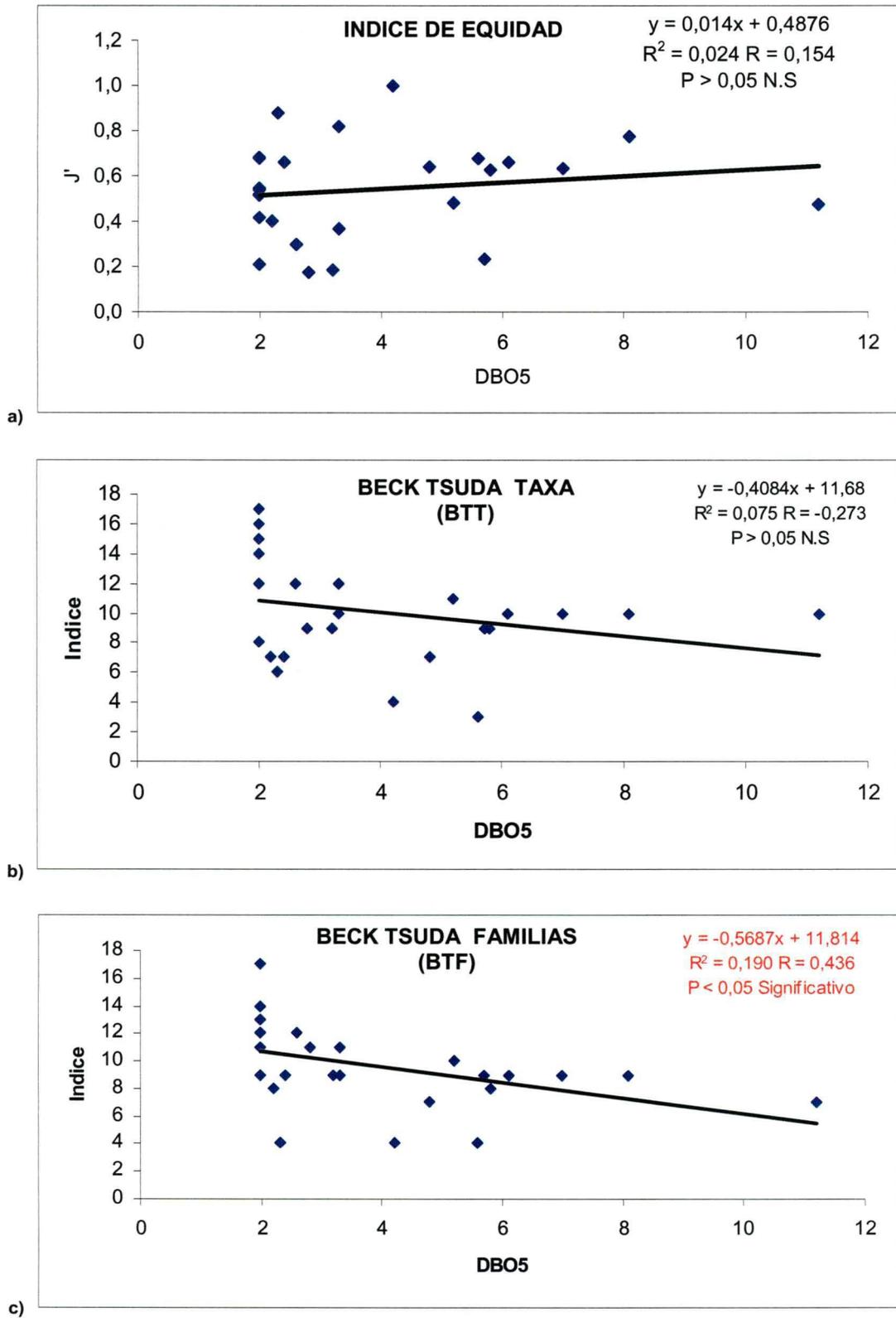


Figura 5.2.10 Correlación entre los valores del a) índice de Equidad, b) índice Beck Tsuda al nivel taxonómico más bajo posible y c) índice Beck Tsuda a nivel taxonómico de familia.

A continuación se presenta el análisis desarrollado por CEA (Índice de clasificación Canónica: ICC) para la obtención de valores de tolerancia de cada uno de los taxa, esto fue realizado con el fin de mejorar la resolución del método Beck Tsuda en el sentido que éste sólo puede otorgarles a los taxa la categoría de **sensibles** y **tolerantes**, desconociendo aquellos taxa que pudiesen tener tolerancias intermedias. Para obtener los valores de tolerancia, se utilizó la matriz de frecuencias relativas de cada taxa (**Tabla 5.2.4**). En este procedimiento se omitieron todos aquellos taxa que presentaron las siguientes condiciones: a) frecuencia de ocurrencia menor ó igual a 1% y b) distribución restringida a una sola estación de muestreo. Este criterio permitió minimizar una potencial contaminación de taxa entre sitios de muestreo y manejo posterior de las muestras de terreno y a la probable deriva de individuos desde estaciones ubicadas aguas arriba. Al aplicar estos criterios se excluyeron del análisis los siguientes 9 taxa: *Pisidium* sp., *Collembolla* indet., *Hydra* sp., Ephydridae indet., *Biomphalaria* sp., *Aphrophila bidentata*, Ceratopogonidae indet., Neuroptera indet., y Crustácea indet. Consecuentemente se utilizaron 26 taxa para el análisis. Posteriormente se generó una Matriz de Ocurrencia Ponderada (MOP). Esta matriz incluye la ponderación de la frecuencia de cada taxa por la concentración de DBO₅ en cada estación de muestreo en donde el mismo taxa ha sido detectado. El rango total de concentración de DBO₅ medido en el área de estudio fue dividido en cuatro categorías, siguiendo la clasificación de calidad de agua propuesta en el método Beck Tsuda, esta se indica en la **Tabla 5.2.13**.

Tabla 5.2.13. Clasificación de los tipos de calidad de agua en función de rangos de concentración de DBO₅.

Clases	DBO ₅ (mg/l)	Tipo
I (1)	< 2,5	Oligosaprobio
II (2)	2,5 – 5,0	β- mesosaprobio
III (3)	>5,0 – 10,0	α-mesosaprobio
IV (4)	> 10,0	Polisaprobio

A cada clase de calidad de agua se le asignó un valor entre 1 y 4, proporcional a la concentración de DBO₅, de tal modo de ponderar la ocurrencia de cada taxa con distintos niveles de calidad de agua. Así por ejemplo, la Clase I de calidad de agua, que incluye valores de DBO₅ menores a 2,5, se le asignó un valor 1 mientras que a la Clase IV se le asignó un valor 4. Las clases intermedias fueron proporcionalmente asignadas a valores 2 y 3. De esta manera, la MOP fue obtenida multiplicando la frecuencia relativa de cada taxa en cada estación de muestreo por valores entre 1 y 4, en función de la concentración de BDO₅ (**Tabla 5.2.14**). La sumatoria de las frecuencias ponderadas de cada taxa en todas las estaciones de muestreo es indicada en la **Tabla 5.2.14**. Esta sumatoria indica la importancia relativa de cada taxa para indicar un valor promedio de DBO₅ y un nivel promedio de contaminación orgánica. De esta manera, valores altos de esta sumatoria se obtendrían con valores altos de DBO₅ (3 y 4) y frecuencias altas del taxa. Análogamente, una baja frecuencia de taxa y bajos niveles de DBO₅ generaría bajos valores del índice. Cabe destacar que condiciones cruzadas, es decir, altos niveles de DBO₅ y baja frecuencia de taxa producen valores intermedios del índice, similares a los generados con una condición bajos niveles de DBO y alta frecuencia de taxa.

Tabla 5.2.14. Ponderación de cada uno los taxa por las distintas concentraciones de DBO₅.

Est.	Clase	Chi (1)	Sim (2)	Nai (3)	Smi (4)	Ble (5)	Dec (6)	Ath (7)	Emp (8)	Not (9)	Hyd (10)	Elm (11)	Mer (12)	And (13)	Gun (14)	Lim (16)	Nem (17)	Psy (19)	Hya (20)	Phy (21)	Cam (23)	Met (24)	Dug (25)	Lit (26)	Hir (27)	Lum (28)	Cor (33)	
M1	1	0,009	0,167	0,001	0,008	0,375	0,319	0,142	0,000	0,070	0,200	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
M2	1	0,001	0,111	0,000	0,009	0,375	0,189	0,000	0,000	0,068	0,200	0,000	0,478	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
M3	1	0,001	0,167	0,001	0,007	0,125	0,011	0,142	0,000	0,051	0,000	0,001	0,391	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
M4	1	0,002	0,000	0,002	0,011	0,000	0,286	0,427	0,000	0,522	0,300	0,001	0,043	0,222	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
M5	1	0,002	0,000	0,001	0,004	0,000	0,038	0,000	0,167	0,122	0,000	0,000	0,022	0,111	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
M6	1	0,003	0,000	0,001	0,001	0,125	0,059	0,285	0,000	0,132	0,000	0,001	0,043	0,111	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
M7	2	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,086	0,000	0,000	0,022	0,200	0,000	0,043	0,074	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
M8a	2	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,200	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
M8b	1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,200	0,000	0,000	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
M9a	3	0,012	0,000	0,003	0,000	0,000	0,016	0,000	0,000	0,016	0,300	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,600	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
M9b	4	0,111	0,000	0,027	0,000	0,000	0,065	0,000	2,002	0,022	0,000	0,003	0,000	0,148	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
M10	3	0,026	0,834	0,002	0,000	0,000	0,016	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,600	1,502	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
M11	3	0,067	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,501	0,008	0,000	0,010	0,000	0,222	0,000	0,000	0,000	1,200	0,000	0,022	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
M12	2	0,003	0,222	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,015	0,083	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
M13	3	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
M14	3	0,065	0,000	2,241	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,017	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,502	1,657	0,083	0,000	0,000	0,025	0,000	1,502	0,000	
M15	2	0,141	0,000	0,006	0,256	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,080	0,000	0,000	0,000	1,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,500	0,006	0,038	0,016	0,000	0,000	0,000	0,000
M16	2	0,185	0,000	0,019	0,185	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,229	0,000	0,000	1,223	0,000	0,000	0,000	0,000	0,030	0,611	0,017	1,133	0,738	0,000	0,000	0,000	0,000
M17	2	0,075	0,000	0,001	0,449	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,378	0,000	0,000	0,779	0,000	0,000	0,000	0,000	0,075	0,695	0,000	0,076	1,180	0,000	0,000	0,000	0,000
M18	1	0,238	0,000	0,000	0,099	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,117	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,014	0,018	0,076	0,000	0,250	0,000	0,000	0,000
M19	2	0,246	0,000	0,095	0,324	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,318	0,000	0,074	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,642	0,000	0,127	0,340	0,016	0,751	0,000	1,200	0,000
M20	1	0,035	0,000	0,008	0,133	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,192	0,000	0,333	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,001	0,076	0,008	0,375	0,000	0,400	0,000
M21	1	0,218	0,000	0,002	0,108	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,152	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,846	0,057	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000
M22	1	0,017	0,000	0,037	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,501	0,667	0,000	0,000	0,007	0,000	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
M23	1	0,037	0,000	0,117	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,333	0,000	0,000	0,037	0,000	0,047	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
E1	3	0,019	0,334	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,501	0,000	0,000	0,002	0,000	0,111	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,502	0,000	0,000
E3	3	0,050	0,167	0,036	0,002	0,000	0,016	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sumatoria		1,57	2,00	2,61	1,61	1,00	1,12	1,00	3,17	1,05	1,40	1,54	1,02	1,41	2,00	1,50	1,00	2,60	3,00	2,50	2,00	1,07	1,79	1,99	1,38	3,00	1,60	0,000

El análisis estadístico de clasificación jerárquica reveló una agrupación significativa de los taxa en función de los valores de tolerancia obtenidos ($p < 0,001$); **Figura 5.2.11**). Los valores más altos variaron entre 2,5 y 3,17 (Grupo 4) y los taxa que los presentaron fueron: Empididae indet. (8), *Hyallela* sp.(20), *Lumbriculus* sp.(28), *Nais* sp.(3), Psychodidae indet.(19), y *Physa* sp.(21) (**Tabla 5.2.15**). Por el contrario, los valores más bajos del índice oscilaron entre 1,00 y 1,12, (Grupo 1) y los taxa que los presentaron fueron *Deceptriviosa* sp. (6), *Metrichia* sp. (24), *Notoperlopsis* sp. (9), *Meridialaris* sp. (12), Athericidae indet. (7), Blephariceridae indet. (5), y Nematoda indet. (17)(**Tabla 5.2.15**).

Estas agrupaciones representan grupos de taxa que ocurren bajo un rango determinado de concentración de DBO_5 , los cuales pueden ser ordenados como grupos de taxa indicadores de al menos cuatro niveles diferentes de contaminación orgánica. A pesar que fue estadísticamente significativa la generación de grupos, la matriz de valores permitió detectar que en algunos de los grupos habría taxa indicadoras de clases de calidad de agua alternativas en porcentajes no despreciables.

La **Tabla 5.2.16** muestra el porcentaje de ocurrencia de los taxa en sitios de distintas clases de calidad de agua. Los resultados revelan la ausencia de taxa indicadoras de calidad de agua de la clase 4, es decir, concentración de $DBO_5 > 10,0$ mg/l. El conjunto de taxa se correlacionó con las clases I, II y III de agua. La **Tabla 5.2.17** muestra la frecuencia promedio de taxa que ocurren en cada clase de calidad de agua. De esta forma, este grupo de taxa podría ser clasificada en indicadoras de aguas de muy buena, buena, regular y mala calidad.

El **Grupo 4** se conformó principalmente (82 %) por taxa que ocurrieron en aguas de tipo III y un 7% de los taxa ocurrió en aguas tipo II y el 9,5 % en aguas tipo I (**Tabla 5.2.17**). El significativo predominio de taxa altamente tolerantes a la DBO_5 permite inferir que este grupo sería indicadores de concentraciones de DBO_5 entre 5 -10 mg/l (**Tabla 5.2.17**) y Tolerantes a la contaminación orgánica o indicadores de mala calidad del agua. Estos taxa son: Empididae indet., *Hyallela* sp., *Lumbriculus* sp., *Nais* sp., Psychodidae indet., *Physa* sp.

El **Grupo 3** se conformó principalmente por taxa que ocurrieron en aguas de tipo II (76%), sin embargo, presentó un porcentaje de 21% de taxa indicadoras de las clases I y III de calidad de agua (**Tabla 5.2.17**). A pesar de ello, el predominio sugiere que este grupo puede ser indicador de niveles de DBO_5 entre 2.5 - 5 mg/l y ser *Medianamente Tolerante* a la contaminación orgánica, o indicadores de agua de regular calidad. Estos taxa son: *Camelobaetidius* sp., Simuliidae indet., *Gundlachia gayana*, *Littoridina cumingi*.

A diferencia de los grupos anteriores, el **Grupo 2** presentó frecuencias de ocurrencia similares en sitios con calidad de agua Clase I (52%) y sitios calidad de agua con Clase II (41%), pudiendo ser considerados taxa indicadores de buena calidad de las aguas. Estos son: *Smicridea* sp., Corixidae indet., Chironomidae indet., Elmidae indet., *Limnoperla jaffueli*, *Andesiops* sp., Hydrobiosidae indet., Hirudinea indet.

Similarmente, el 100% de los taxa componente del **Grupo 1** ocurrieron en sitios con calidad de agua tipo I, lo cual revela que estos taxa serían indicadores de concentraciones de DBO₅ entre 1.99-<2.5 mg/l (**Tabla 5.2.17**) y por lo tanto representan un grupo *Sensible* a la contaminación orgánica. Los taxa sensibles o indicadores de aguas de muy buena calidad son: *Deceptiviosa* sp., *Metrichia* sp., *Notoperlopsis* sp., *Meridialaris* sp., *Athericidae* indet., *Blephariceridae* indet., *Nematoda* indet.

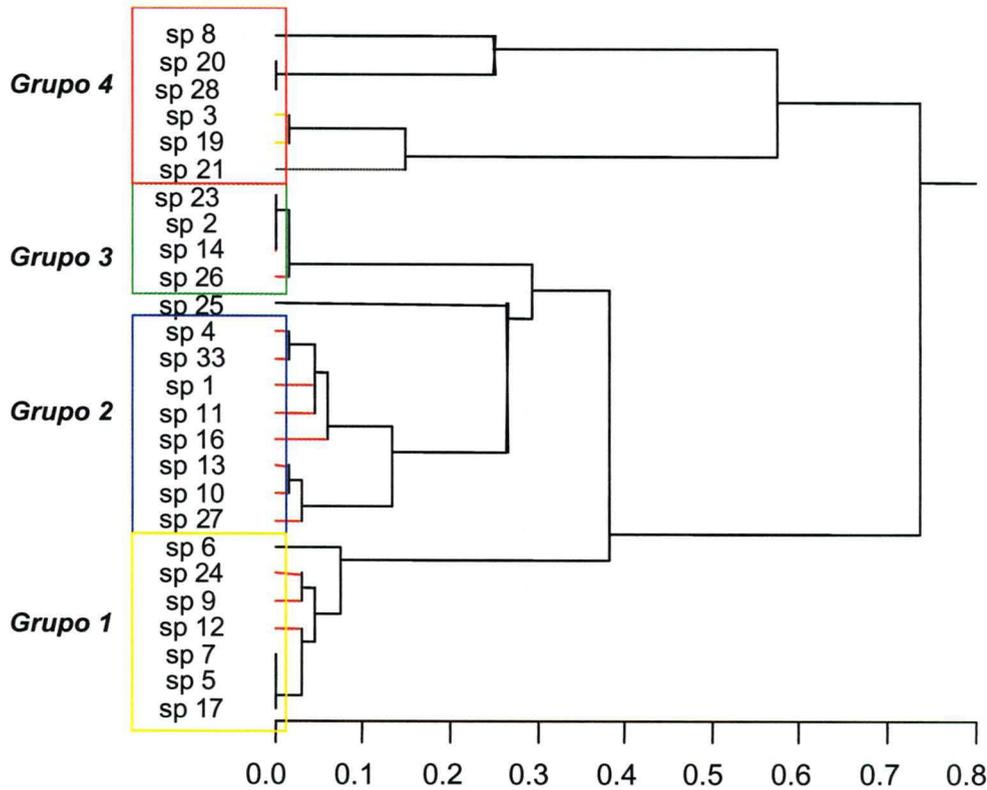


Figura 5.2.11. Grafica que muestra el resultado del análisis de clasificación jerárquica. Formación de 4 grupos de taxa indicadoras de distintos grados de tolerancia a la contaminación orgánica medida a través de DBO₅.

Tabla 5.2.15. Taxa indicadores de aguas de calidad del agua de muy buena, buena, regular y mala en el río Maipo.

Grupo	Taxa	Indice
1 Muy Buena	(6) <i>Deceptiviosa</i> sp.	1,12
	(24) <i>Metrichia</i> sp.	1,07
	(9) <i>Notoperlopsis</i> sp.	1,05
	(12) <i>Meridialaris</i> sp.	1,02
	(7) Athericidae indet.	1,00
	(5) Blephariceridae indet.	1,00
	(17) Nematoda indet.	1,00
2 Buena	(4) <i>Smicridea</i> sp.	1,61
	(33) Corixidae indet.	1,60
	(1) Chironomidae indet.	1,57
	(11) Elmidae indet.	1,54
	(16) <i>Limnoperla jaffueli</i>	1,50
	(13) <i>Andesiops</i> sp.	1,41
	(10) Hydrobiosidae indet.	1,40
(27) <i>Hirudinea</i> sp.	1,38	
3 Regular	(23) <i>Camelobaetidius</i> sp.	2,00
	(2) Simuliidae indet.	2,00
	(14) <i>Gundlachia gayana</i>	2,00
	(26) <i>Littoridina cummingi</i>	1,99
4 Mala calidad	(8) Empididae indet.	3,17
	(20) <i>Hyallela</i> sp.	3,00
	(25) <i>Lumbriculus</i> sp.	3,00
	(3) <i>Nais</i> sp.	2,61
	(19) Psychodidae indet.	2,60
(21) <i>Physa</i> sp.	2,50	

* En paréntesis se indica el taxa que se presenta en los gráficos y tablas.

Tabla 5.2.16. Representación porcentual de cada uno de los taxa en las distintas clases de calidad según DBO₅.

Grupo	Taxa	Clases de calidad			
		I	II	III	IV
1	(6) <i>Deceptiviosa</i> sp.	90,0	0	0	0
	(24) <i>Metrichia</i> sp.	100,0	0	0	0
	(9) <i>Notoperlopsis</i> sp.	100,0	0	0	0
	(12) <i>Meridialaris</i> sp.	100,0	0	0	0
	(7) <i>Athericidae</i> indet.	100,0	0	0	0
	(5) <i>Blephariceridae</i> indet.	100,0	0	0	0
	(17) <i>Nematoda</i> indet.	100,0	0	0	0
2	(4) <i>Smicridea</i> sp.	34,0	60,0	0	0
	(33) <i>Corixidae</i> indet.	40,0	60,0	0	0
	(1) <i>Chironomidae</i> indet.	50,0	32,0	7,0	0
	(11) <i>Elmidae</i> indet.	34,0	58,0	0	0
	(16) <i>Limnoperla jaffueli</i>	50,0	50,0	0	0
	(13) <i>Andesiops</i> sp.	77,0	8,0	11,0	4,0
	(10) <i>Hydrobiosidae</i> indet.	70,0	20,0	10,0	0
	(27) <i>Hirudinea</i> sp.	63,0	38,0	0	0
3	(23) <i>Camelobaetidius</i> sp.	0	95,0	3,0	0
	(2) <i>Simuliidae</i> indet.	34,0	11,0	45,0	0
	(14) <i>Gundlachia gayana</i>	0	100,0	0	0
	(26) <i>Littoridina cummingi</i>	4,0	96,0	0	0
4	(8) <i>Empididae</i> indet.	16,0	0	84,0	0
	(20) <i>Hyalpella</i> sp.	0	0	100,0	0
	(28) <i>Lumbriculus</i> sp.	0	0	100,0	0
	(3) <i>Nais</i> sp.	16,0	5,0	75,0	0
	(19) <i>Psychodidae</i> indet.	20,0	0	80,0	0
	(21) <i>Physa</i> sp.	4,0	38,0	55,0	0

Tabla 5.2.17. Porcentaje de ocurrencia de los grupos de taxa indicadores en las distintas clases de calidad del agua según la DBO₅.

Grupo Indicadores	Clases de calidad			
	I (<2,5 mg/l)	II (2,5 - 5,0 mg/l)	III (>5,0 - 10,0)	IV (> 10,0 mg/l)
1	100,0	0	0	0
2	52,0	41,0	3,5	0
3	9,0	76,0	12,0	0
4	9,5	7,0	82,0	0

Una vez obtenidos los grados de tolerancia de los diferentes taxa se siguió la metodología propuesta por Beck Tsuda y la matriz de frecuencias fue reemplazada por un número que va desde los taxa con los valores de tolerancia más sensibles (Grupo 1) asignándoles a estos taxa el valor “4”, aquellos taxa de tolerancia intermedia valores de “2” y “3”, mientras que a los taxa tolerantes (Grupo 4) el valor más bajo, es decir, “1” (**Tabla 5.2.18**). Luego se suman los valores obtenidos en cada una de las estaciones de muestreo, y el valor final es el valor del índice por estación de muestreo.

Nuevamente fueron correlacionados los valores del índice con las concentraciones de DBO_5 (**Figura 5.2.12**), existiendo una correlación significativa entre ambos parámetros. Estos resultados concuerdan con lo obtenido a través de método Beck Tsuda a nivel de familias (BTF). Para este método, los valores del índice oscilaron entre 36 y 9. El valor más alto fue obtenido en la estación M3, y los valores más bajo en las estaciones M8a, M8b y M13 (coincide con los métodos anteriores). Fue modificado el método Beck Tsuda para la clasificación del agua por los macroinvertebrados bentónicos, los resultados son presentados en la **Figura 5.2.13**.

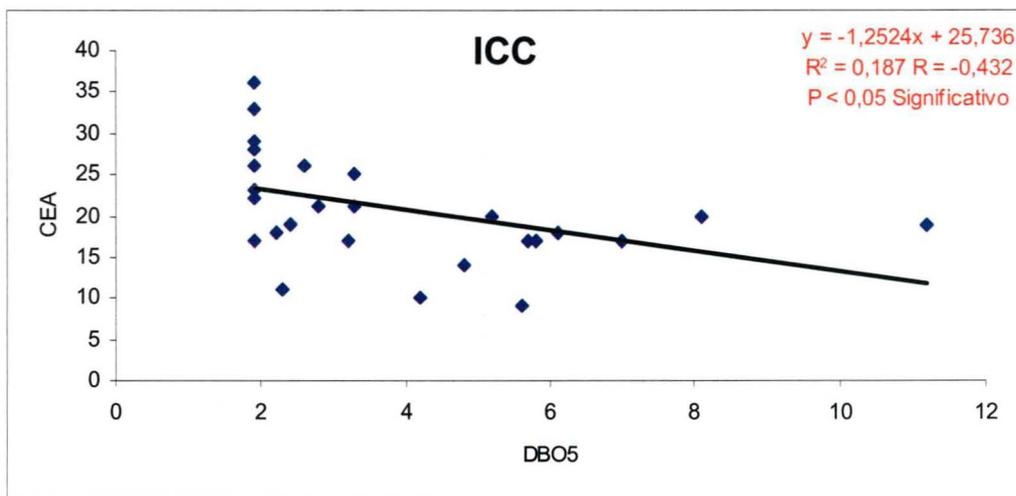


Figura 5.2.12. Correlación entre los valores del índice Beck Tsuda modificado (ICC) y las concentraciones de DBO_5 en la cuenca del río Maipo.

En la **Tabla 5.2.19** y **Figura 5.2.14** se muestra la variación de la DBO_5 y los índices que presentaron una correlación significativa con este parámetro (BTF e ICC). Como se observa en la figura, existieron algunas inconsistencias entre las clases de calidad A (oligosaprobias) de los distintos sectores del río y los mayores valores del índice que indicarían aguas más limpias. Según la clasificación de las estaciones respecto a la DBO_5 , el sector alto y terminal del río presentaba aguas oligosaprobias (M1-M6; M8b; M18; M20; M21; M23), sin embargo, los índices bióticos no concordaron completamente con presentar los valores más altos en ese sector. Las estaciones del sector alto del río M1, M2, M3, M4 y M6 presentaron en ambos índices los valores más altos, concordando con los mínimos valores registrados para la DBO_5 . Sin embargo, estaciones como M8a, M8b que se ubicaban en la zona de influencia directa de

efluentes industriales y plantas de tratamiento presentaron valores de DBO_5 muy bajos en el primer caso (clase A), y relativamente bajos en el segundo (clase B). Los organismos, no obstante, presentaron en estas estaciones los valores del índice más bajos con un valor de 4 para el índice BTF y un valor de 10-11 para el índice ICC. La estación M13 presentó para ambos índices el valor más bajo, mientras que la DBO_5 ubicó a esta estación en la Clase C (α -mesosaprobico). En el otro extremo, estaciones como M9a y M9b clasificadas como α -mesosaprobico y polisapróbico respectivamente (según el parámetro DBO_5), no presentaron los valores más bajos en los índices bióticos utilizados.

Tabla 5.2.18. Matriz de datos donde fue reemplazada la ocurrencia de cada uno de los taxa en cada estación por el valor “1 (indicadores de mala calidad), “2 (indicadores de regular calidad)”, 3 (indicadores de buena calidad) y 4 (indicadores de muy buena calidad).

Estación	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8a	M8b	M9a	M9b	E1	E3	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M23
DBO5	<2	<2	<2	<2	<2	<2	3,3	4,2	2,3	8,1	11,2	7,0	5,8	6,1	5,2	4,8	5,6	5,7	2,8	3,3	3,2	2,2	2,6	<2	<2	<2	2,4
Chironomidae indet.	3	3	3	3	3	3	3	3		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Simuliidae indet.	2	2	2									2	2	2		2											
<i>Nais</i> sp.	1		1	1	1	1				1	1	1	1	1	1			1	1	1	1		1	1	1	1	1
<i>Smicridea</i> sp.	3	3	3	3	3	3	3					3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Blephariceridae indet.	4	4	4			4																					
<i>Deceptiviosa</i> sp.	4	4	4	4	4	4	4		4	4	4		4	4													
Athericidae indet.	4		4	4		4																					
Empididae indet.					1						1	1			1												
<i>Notoperlopsis</i> sp.	4	4	4	4	4	4	4		4	4	4		4		4												
Hydrobiosidae indet.	4	4		4			4	4		4																	
Elmidae indet.			3	3		3		3		3	3	3		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<i>Meridialaris</i> sp.		4	4	4	4	4	4																				
<i>Andesiops</i> sp.				3	3	3	3				3	3			3								3	3			
<i>Gundlachia gayana</i>																				2	2						
<i>Limnoperla jaffueli</i>																			3							3	
Nematoda indet.																										4	4
Psychodidae indet.									1	1				1	1												
<i>Hyalpella</i> sp.														1				1									
<i>Physa</i> sp.															1	1		1		1	1		1	1	1	1	1
<i>Camelobaetidium</i> sp.									2							2		2	2	2	2	2					
<i>Metrichia</i> sp.			4																4	4		4	4	4	4	4	4
<i>Littoridina cummingi</i>																		2	2	2	2		2	2	2		
Hirudinea sp.																						3	3	3			
<i>Lumbriculus</i> sp.												1						1									
Corixidae indet.																							3	3			
ICC	29	28	36	33	23	33	25	10	11	20	19	17	17	18	20	14	9	17	21	21	17	18	26	26	17	22	19

Tabla 5.2.19. Resumen de la diferentes clases de calidad del agua según el parámetro DBO5 y el índice Beck Tsuda BTT y BTF. Además del índice Beck Tsuda modificado: ICC

Estación	DBO ₅	BTT	BTF	ICC
M1	A	B	B	B
M2	A	B	B	B
M3	A	B	B	B
M4	A	B	B	B
M5	A	B	C	B
M6	A	B	B	B
M7	B	B	C	B
M8a	B	D	D	D
M8b	A	C	D	C
M9a	C	C	C	C
M9b	D	C	C	C
E1	C	C	C	C
E3	C	C	C	C
M10	C	C	C	C
M11	C	B	B	C
M12	B	C	C	C
M13	C	D	D	D
M14	C	C	C	C
M15	B	C	B	B
M16	B	C	B	B
M17	B	C	C	C
M18	A	C	C	C
M19	B	B	B	B
M20	A	B	B	B
M21	A	C	C	C
M22	A	C	B	B
M23	A	C	C	C

CUENCA DEL RIO MAIPO (Macroinvertebrados Bentónicos)

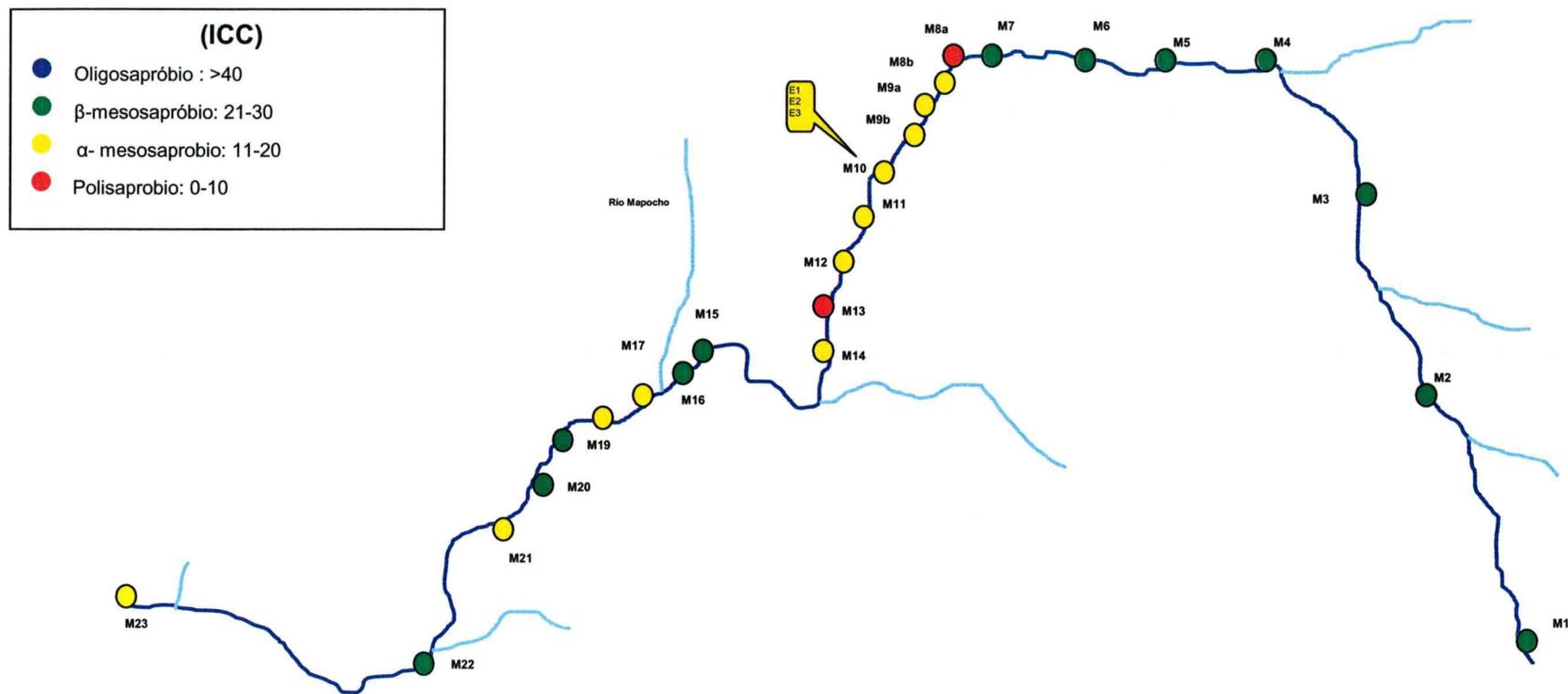


Figura 5.2.13. Mapa de calidad del agua según ICC.

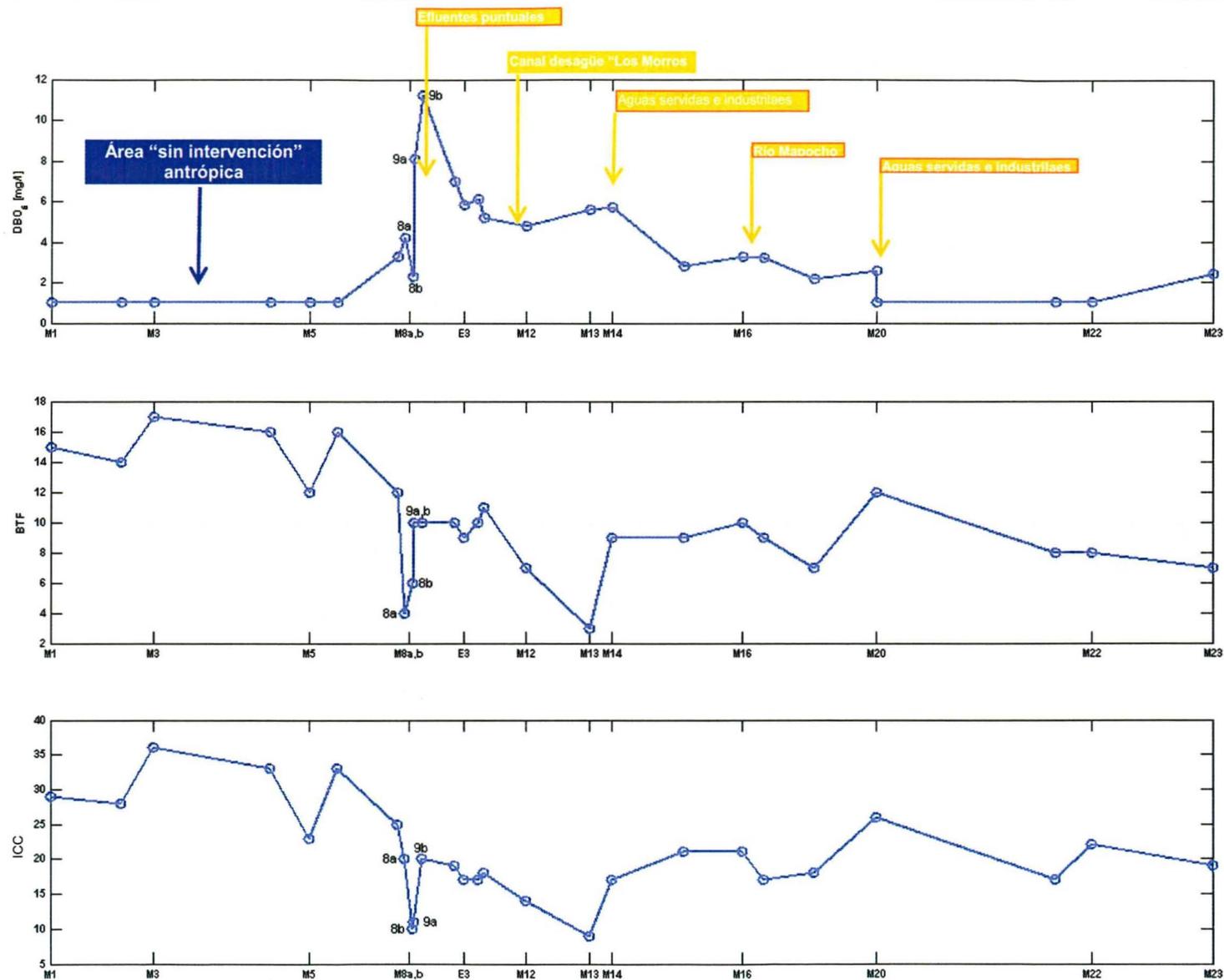
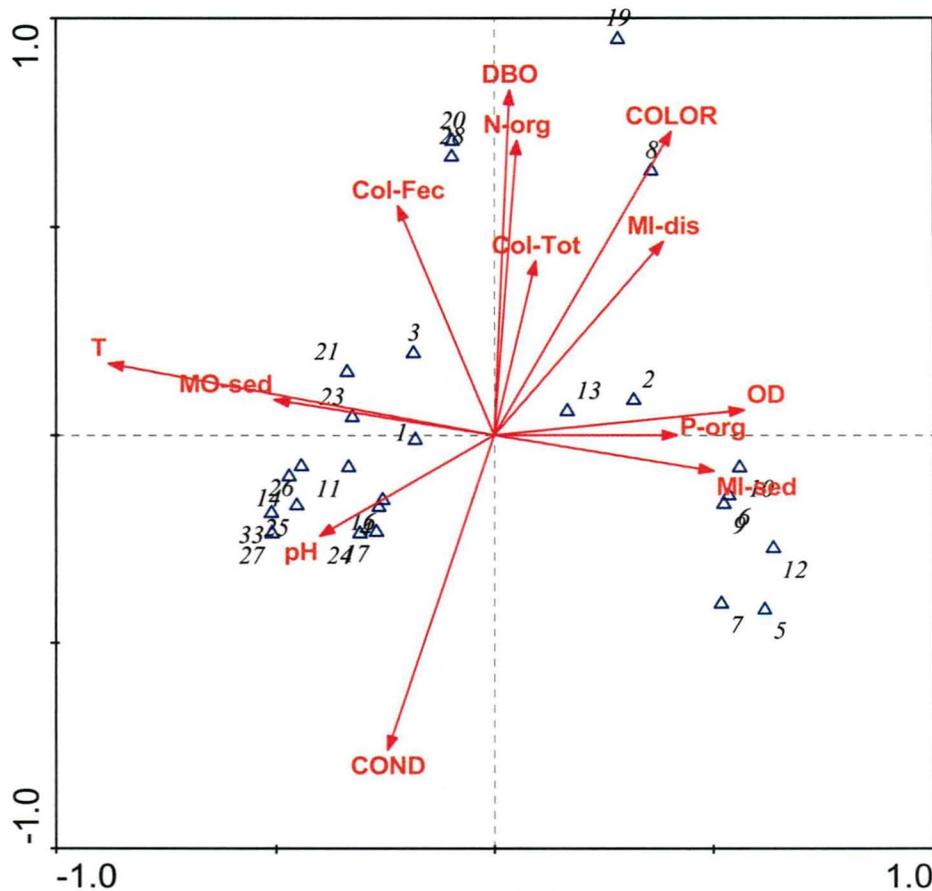


Figura 5.2.14. Representación gráfica de los resultados de la calidad del agua del río Maipo utilizando métodos químicos y biológicos (BTF e ICC)

5.2.5 ANALISIS DE CANOCO

El CANOCO es una herramienta estadística capaz de relacionar variables ambientales con asociaciones biológicas, donde la gráfica resultante permite visualizar cuales son las variables forzantes en la distribución de la fauna de macroinvertebrados bentónicos. Esta herramienta además permite otorgarles grados de tolerancia a cada uno de los taxa, pudiendo ser comparados de esta forma con índices extranjeros que actualmente están siendo utilizados. La **Figura 5.2.15** nos muestra que de las variables físico-químicas estudiadas como indicadores de contaminación orgánica, la DBO₅ fue la más importante. De igual manera se indicó en el capítulo 5.1, las variables físicas, temperatura, conductividad y color también fueron importantes para explicar la distribución y abundancia de los macroinvertebrados bentónicos.



1. Chironomidae indet.	8. Empididae indet.	15. <i>Pisidium</i> sp.	22. <i>Hydra</i> sp.	29. Ephryidae indet.
2. Simuliidae indet.	9. <i>Notoperlopsis</i> sp.	16. <i>Limnoperla jaffueli</i>	23. <i>Camelobaetidium</i> sp.	30. <i>Biomphalaria</i> sp.
3. <i>Nais</i> sp.	10. Hydrobiosidae indet.	17. Nematoda indet.	24. <i>Metrichia</i> sp.	31. <i>Aphrophila bidentata</i>
4. <i>Smicridea</i> sp.	11. Elmidae indet.	18. <i>Collembolla</i> sp.	25. <i>Dugesia</i> sp.	32. Ceratopogonidae indet.
5. Blephariceridae indet.	12. <i>Meridialaris</i> sp.	19. Psychodidae indet.	26. <i>Littoridina cummingi</i>	33. Corixidae indet.
6. <i>Deceptiviosa</i> sp.	13. <i>Andesiops</i> sp.	20. <i>Hyalolela</i> sp.	27. Hirudinea sp.	34. Neuroptera indet.
7. Athericidae indet.	14. <i>Gundlachia gayana</i>	21. <i>Physa</i> sp.	28. <i>Lumbriculus</i> sp.	35. Crustacea indet.

Figura 5.2.15. Análisis de CANOCO entre las variables físico-químicas y macroinvertebrados bentónicos. Temperatura (T), Conductividad específica (COND), pH, Color, Oxígeno disuelto (OD), Materia orgánica en sedimento (MO-sed), Materia inorgánica en sedimento (MI-sed), Nitrógeno orgánico (N-org), Fósforo orgánico (P-org), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Coliformes Totales (Col-Tot), Coliformes fecales (Col-Fec). Los números indican a cada uno de los taxa identificados en las muestras biológicas.

A partir de un gradiente de cada variable (vector que cruza los ejes), los taxa se ubican en distintas posiciones respecto al vector, permitiendo entonces extraer la información de que taxa se encontrarían a las más bajas concentraciones de la variable (taxa sensibles), y aquellas taxa que se relacionan con las mayores concentraciones de la variable (taxa tolerantes), según corresponda. En el caso del parámetro oxígeno disuelto, las taxa sensibles fueron aquellas que se encuentren hacia el extremo de mayor concentración del vector y viceversa. Como una manera de mejorar el entendimiento del resultado del análisis de CANOCO (**Figura 5.2.15**), se ha preferido dibujar los vectores que corresponden a las variables indicadoras.

a) Tolerancia de los taxa a variables físicas y químicas:

La temperatura, conductividad y color fueron las principales variables que condicionan la distribución de los taxa de macroinvertebrados bentónicos en el río Maipo. Las dos primeras variables mencionadas generan un gradiente ambiental de salinidad y temperatura que se relaciona negativa o positivamente (según corresponda) con la altitud. El parámetro color presentó un patrón espacial definido con altos valores en el sector medio del río y comparativamente bajos en el sector alto y terminal. El gradiente ambiental temperatura-conductividad, se muestra altamente selectivo para un buen número de taxa (**Figura 5.2.15 y Figura 5.2.16**).

Los taxa indicadoras de aguas frías fueron: Blephariceridae indet., *Meridialaris* sp., Athericidae indet., Hydrobiosidae indet. *Deceptiviosa* sp., *Notoperlopsis* sp. En el gradiente opuesto, se encuentra Corixidae indet., Hirudinea indet., *Gundlachia gayana*, *Physa* sp., *Littoridina cummingi*. Taxa tolerantes a altos valores de la variable color fueron Psychodidae indet., Empididae indet., *Hyalella* sp. y *Lumbriculus* sp., mientras que Hirudinea indet., Corixidae indet., *Dugesia* sp., *Smicridea* sp. como indicadores de bajos valores de Color. En cambio para el parámetro conductividad presentó como indicadores de altas concentraciones de este parámetro a Hirudinea indet., Corixidae indet., *Dugesia* sp. y sensibles a este parámetro fueron Psychodidae indet., Empididae indet., *Hyalella* sp. y *Lumbriculus* sp.

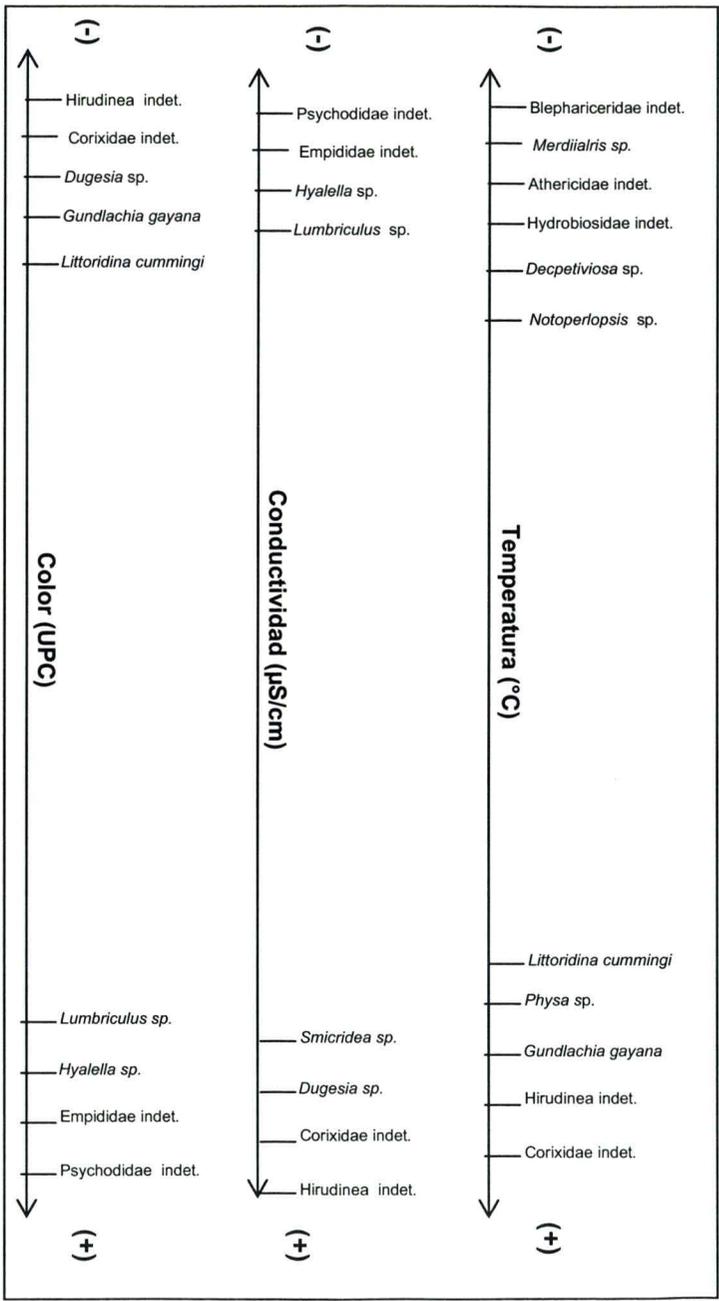


Figura 5.2.16. Tolerancia de los taxa de macroinvertebrados bentónicos respecto a los diferentes gradientes ambientales evaluados.

b) Tolerancia de los taxa a variables químicas indicadoras de contaminación orgánica:

Los taxa tolerantes a la DBO₅ y Nitrógeno total fueron coincidentes (**Figura 5.2.15 y Figura 5.2.17**), en orden decreciente Empididae indet. (Diptera), el oligoqueto *Lumbriculus* sp. (Oligochaeta), Psychodidae indet. (Diptera), *Hyaella* sp. (Crustácea). Al contrario, los taxa más sensible a este parámetro fueron Nematoda indet., *Metrichia* sp. (Trichoptera), Hirudinea indet., Corixidae indet. (Hemiptera), Blephariceridae indet. (Diptera), *Meridialaris* sp. (Ephemeroptera), Athericidae indet (Diptera).

Similar asociación de taxa tolerantes fue observada para el parámetro coliformes fecales, en orden decreciente en cuanto a su tolerancia: *Lumbriculus* sp. (Oligochaeta), *Hyaella* sp. (Crustacea), *Psychodidae* indet. y Empididae indet. (Diptera), *Nais* sp. (Oligochaeta), *Physa* sp. Los taxa más sensibles a esta variable fueron Athericidae indet. (Diptera), *Meridialaris* sp. (Ephemeroptera), Blephariceridae indet. (Diptera), *Notoperlopsis* sp. (Plecoptera), *Deceptiviosa* sp. (Ephemeroptera), Hydrobiosidae indet. (Trichoptera).

Con respecto al parámetro Materia orgánica en sedimento los taxa más tolerantes a la contaminación por este indicador fueron: Nematoda indet., *Limnoperla jaffueli* (Plecoptera), *Hyaella* sp. (Crustacea), *Physa* sp. y *Gundlachia gayana* (Gastrópoda), *Camelobaetidius* sp. (Ephemeroptera), *Littoridina cummingi* (Gastrópoda), *Lumbriculus* sp. (Oligochaeta). Los taxa más sensibles fueron *Meridialaris* sp. (Ephemeroptera), Athericidae indet., Blephariceridae indet. (Diptera), *Notoperlopsis* sp. (Plecoptera), Hydrobiosidae indet. (Trichoptera) y *Deceptiviosa* sp. (Ephemeroptera). Los taxa indicadoras de alto contenido Materia inorgánica en sedimento y Fósforo Total fueron *Meridialaris* sp. (Ephemeroptera), Athericidae indet., Blephariceridae indet. (Diptera), *Notoperlopsis* sp. (Plecoptera), Hydrobiosidae indet. (Trichoptera) y *Deceptiviosa* sp. (Ephemeroptera). Nematoda indet., *Limnoperla jaffueli* (Plecoptera), *Hyaella* sp. (Crustacea), *Physa* sp. y *Gundlachia gayana* (Gastrópoda), *Camelobaetidius* sp. (Ephemeroptera), *Littoridina cummingi* (Gastrópoda), *Lumbriculus* sp. (Oligochaeta).

Estos resultados permiten establecer que muchos de los taxa coinciden en cuanto a sus tolerancias a variables químicas indicadoras de contaminación orgánica como DBO₅, Nitrógeno total, coliformes fecales resultando en lo siguiente:

PARÁMETRO QUÍMICO	TAXA SENSIBLES	TAXA TOLERANTES
DBO, Nitrógeno Total, Coliformes Fecales, Materia Orgánica en sedimento	Blephariceridae indet. <i>Meridialaris</i> sp. Athericidae indet.	Empididae indet. <i>Lumbriculus</i> sp. <i>Hyalella</i> sp.
DBO, Nitrógeno Total, Coliformes Fecales		Psychodidae indet.
DBO, Nitrógeno Total	Nematoda <i>Metrichia</i> sp. Hirudinea indet. Corixidae indet.	
Coliformes Fecales		<i>Nais</i> sp.
Coliformes Fecales, Materia Orgánica en sedimento	<i>Notoperlopsis</i> sp. <i>Deceptiviosa</i> sp. Hydrobiosidae indet.	<i>Physa</i> sp.
Materia Orgánica en sedimento		Nematoda indet. <i>Limnoperla jaffueli</i> <i>Gundlachia gayana</i> <i>Littoridina cummingi</i> <i>Camelobaetidius</i> sp.

Estos resultados muestran que los taxa tolerantes corresponden principalmente a grupos mayores del zoobentos como Annelida (Oligochaeta), Mollusca (Physidae, Ancyliidae), y a las familias de insectos como Empididae, Psychodidae (Diptera), Gripopterygiidae (Plecoptera, *Limnoperla jaffueli*), *Camelobaetidius* sp. (Baetidae, Ephemeroptera). En cuanto a los taxa sensibles, los grupos mayores del zoobentos fueron los dipteros Blephariceridae y Athericidae, los tricópteros Hydroptilidae e Hydrobiosidae, Corixidae, Baetidae (*Deceptiviosa* sp.), Leptophlebiidae (*Meridialaris* sp.), Gripopterygiidae (*Notoperlopsis* sp.). Estos resultados son importantes de analizar cuando se considera la utilización de la categoría “FAMILIAS” como indicadoras, como se observa con Baetidae y Gripopterygiidae, con representantes en las categorías de tolerantes y sensibles.

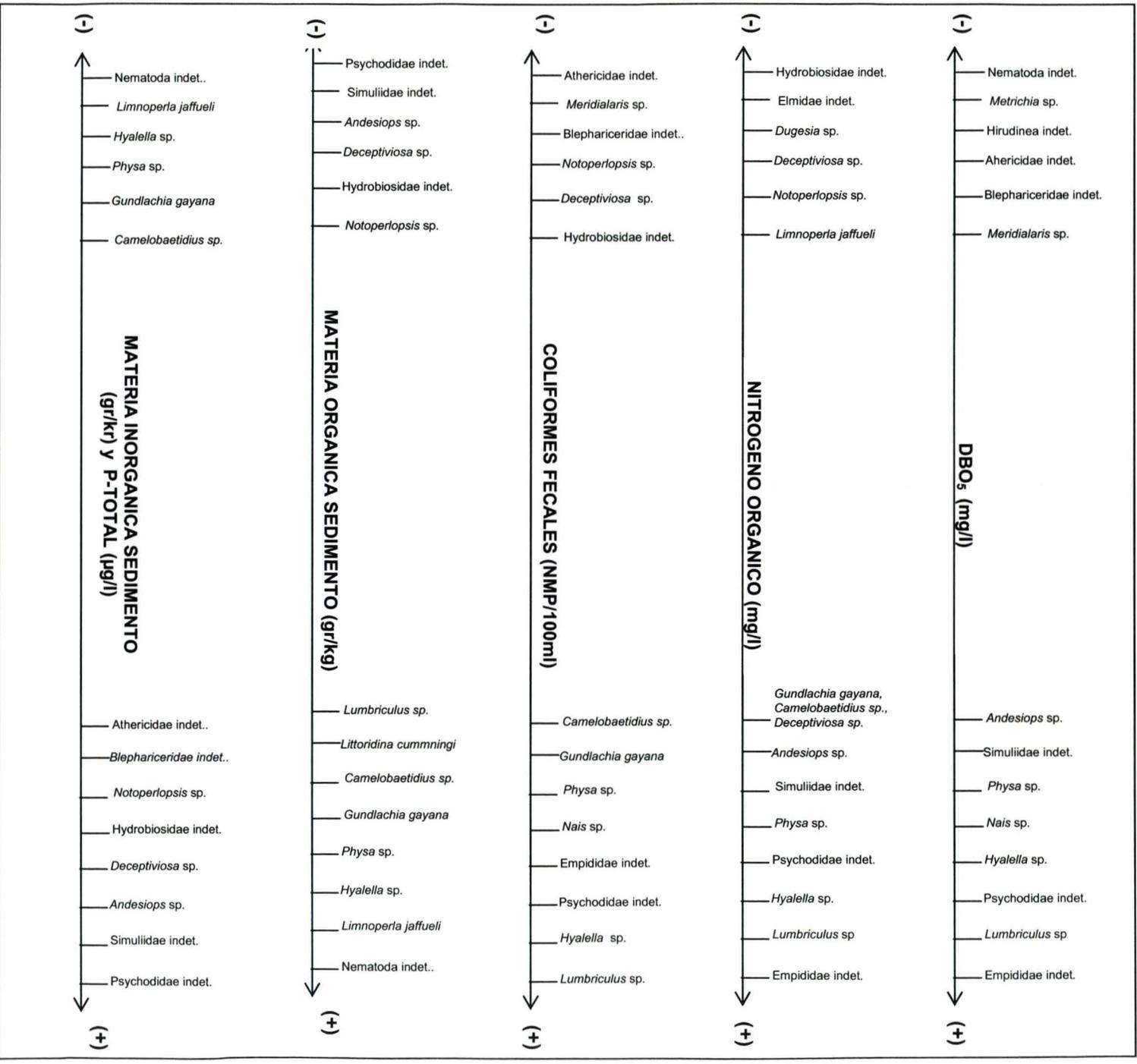


Figura 5.2.17. Tolerancia de los taxa de macroinvertebrados bentónicos respecto a los diferentes gradientes ambientales evaluados.

6. DISCUSION

Numerosos países han basados sus sistemas de control ambiental en parámetros físico-químicos para evaluar la calidad del agua para sus diferentes usos, desarrollando numerosos métodos e índices que tratan de interpretar la situación global, o grado de alteración de los sistemas acuáticos. Unos se basan exclusivamente en análisis químicos, que si bien son de una gran precisión, son testigos de las condiciones instantáneas de las aguas, donde los contaminantes se detectan sólo si son dispuestos en el momento. Los resultados son puntuales en la dimensión temporal y no revelan mucho de la evolución de una carga contaminante (Roldan 1992).

Como una alternativa a estos procedimientos, desde hace varios años muchos países han generado conocimientos y desarrollado técnicas de **biomonitoreo** basados en indicadores biológicos. Los organismos macrobentónicos han sido los más comúnmente usados como indicadores de la calidad del agua ya que ellos presentan un tamaño apropiado, hábitos sedentarios y largos ciclos de vida. Los organismos informan de la situación tanto momentánea como de lo acontecido algún tiempo antes de la toma de muestras, es decir, es como tener información del presente y pasado de lo que esta sucediendo en el ecosistema (Alba-Tercedor 1988).

Existe extensa literatura donde estos organismos han sido exitosamente utilizados como indicadores de calidad del agua (Getti 1986, Hellawell 1986, Rosenberg & Resh 1993, Alba-Tercedor 1996, Miserendino & Pizzolon, Pizzolón & Miserendino 2001) como bioindicadores, además de la creación de numerosos índices bióticos (BMWP, BMWP', IBI, RIVPACS, BMPS, IBE, entre otros) los que han sido calibrados y validados en sus respectivos países. En países como el nuestro, la escasez de conocimientos en taxonomía de insectos acuáticos, en concordancia con problemas de contaminación del agua, programa serias limitaciones en la aplicación del biomonitoreo y sus procedimientos, sin embargo esta situación plantea una motivación adicional para desarrollar investigaciones sobre biodiversidad nacional.

Existen métodos biológicos para evaluar la calidad del agua que son de amplio uso en países desarrollados, pero debido a que la fauna acuática allí existente es diferente a la nuestra, no pueden aplicarse sin antes conocer que tipos de organismos viven aquí y cuales son sus requerimientos ecológicos. Uno de estos métodos es el de Beck Tsuda (ampliamente utilizado en el Japón). Este método permite determinar a través del parámetro DBO₅ aquellos organismos que son sensibles y tolerantes a la contaminación orgánica. La DBO₅ fue elegida como la principal variable control, debido a que es un buen estimador de la concentración de la materia orgánica (Golterman et al. 1978) y ésta es también la variable química mas ampliamente usada como estimador de la polución orgánica (Sladececk 1988).

La resolución taxonómica que se tiene en Chile es diferente para los distintos grupos del zoobentos, hay un conocimiento de géneros y especies para los grupos de plecópteros, efemerópteros y tricópteros, mientras que solo de familia en algunos dípteros, odonatos, coleópteros. Por esta razón, se aplicó el método de Beck Tsuda con una resolución taxonómica del nivel taxonómico más bajo posible (BTT) y a nivel de

familias (BTF). El BTF fue utilizado para no sobre ni subestimar algunas estaciones de muestreo, por la mayor o menor resolución taxonómica que se tenga de los taxa encontrados en dichos lugares. Pero también al utilizar esta categoría, nos encontramos con el problema que pueden haber integrantes sensibles y tolerantes en una misma familia. En este estudio fue el caso de *Limnoperla jaffueli* (tolerante a la contaminación orgánica) y *Notoperlopsis* sp. (sensible) de la familia Gripopterygiidae (Plecoptera), como también la familia Baetidae (Ephemeroptera), con *Camelobaetidius* sp. como tolerante y los géneros *Deceptoviosa* sp. y *Andesiops* sp. como sensibles. La literatura clasifica a los plecópteros como orden sensibles, mientras que a Baetidae le dan tolerancias intermedias o indicadores de aguas de regular calidad (Hilsenhoff 1988, Getti 1996, BMPS, BMWP, entre otros). Tradicionalmente los plecópteros se han considerado entre los taxones más oligosaprobiontes, lo que ha llevado a clasificarlos entre los mayores indicadores de buena calidad del agua. En Europa (Rieradvall et al. 2002), algunas familias de plecópteros mostraron cierta tolerancia a la contaminación, resultado que ya tenía precedentes en otros ríos Ibéricos. En este estudio, el plecóptero *Limnoperla jaffueli* fue reconocido como taxa tolerante a la presencia de materia orgánica en sedimento, resultado que también fue encontrado en el muestreo del río Maipo en mayo del 2003, en uno de los afluentes del río. Algunas familias de plecópteros parecen mostrar cierta tolerancia a la contaminación, siempre que el medio acuático satisfaga unos requisitos mínimos de temperatura relativamente baja y buena oxigenación.

El método Beck Tsuda clasifica a los taxa en 2 categorías: “sensibles” y “tolerantes” (tanto el BTT como el BTF). Se buscó mejorar esta clasificación, por lo que se modificó el método (ICC), clasificando a los taxa en 4 grupos según su tolerancia a la contaminación orgánica. Estos grupos fueron: a) taxa muy sensibles a la contaminación, b) taxa sensibles a la contaminación, c) taxa medianamente tolerante a la contaminación y d) taxa tolerantes a la contaminación. De los 3 índices utilizados, el BTF e ICC mostraron correlaciones significativas con el parámetro DBO, indicando que son buenos predictores de la contaminación orgánica.

Las estaciones del río Maipo fueron clasificadas según el parámetro DBO₅ y según los índices bióticos Beck Tsuda considerando el nivel taxonómico más bajo posible (BTT), el nivel taxonómico a nivel de familias (BTF), y el método ICC. La clasificación de la calidad del agua según el parámetro DBO₅ indicó que el sector alto del río Maipo (M1 y M6 y M8b), y terminal (M18; entre M20 y M23) presentaron clases de calidad A (aguas oligosapróbicas). Aguas con clase B (β -mesosapróbicas) pertenecieron a las estaciones M7, M8a, M12, M15-M17 y M19. Las peores clases de calidad estuvieron en el sector medio del río, entre las estaciones M9a y M14, con clases C (α -mesosapróbicas) y D (polisapróbicas, estación M9b).

La clasificación de la calidad del agua según los índices bióticos (BTF, ICC) coincidieron con la clasificación química en que el sector alto del río (M1 y M6) y las estaciones M19, M20 y M22 (sector terminal), presentaron las mejores calidades del agua, aunque los índices bióticos clasificaron a este tramo con clase B (β -mesosapróbicas). También los índices bióticos coincidieron en otorgarles al sector medio del río Maipo las peores calidades del agua, entre C (α -mesosapróbico) y D (polisaprobico). La diferencia más

notable entre el método químico y el biológico se dio en que la DBO₅ clasificó a las estaciones M8a y M8b en aguas oligosapróbicas y β- mesosapróbicas, mientras que los índices bióticos clasificaron a M8a en clase D (polisapróbica), y a M8b en clase C (CEA) y clase D (BTF). La estación M13 fue clasificada como de regular calidad por la DBO₅ mientras que los índices bióticos en aguas polisapróbicas, con los valores más bajos del índice. La DBO₅ clasificó a la estación M9b como polisapróbica mientras que los índices bióticos coincidieron en darles clase C.

El monitoreo biológico fue más representativo de las condiciones en que se encuentra el sistema acuático evaluado en un tiempo determinado. Por ejemplo, la estación M8b presentó concentraciones de DBO₅ de 2,3 mg/l, indicando aguas oligosapróbicas según este parámetro, pero la fauna zoobentónica que allí habita indica otra cosa, al presentar las más bajas riquezas taxonómicas, abundancias totales y consecuentemente, menor valor del índice. Aunque el muestreo continuo de DBO₅ en la estación M8b entregó bajos valores, en algunas horas del muestreo puntual se midieron hasta 4 mg/l, además unos pocos metros aguas arriba esta el efluente industrial de matadero (M8a), donde se midieron concentraciones de DBO₅ de hasta 14 mg/l. La fauna que esta habitando en ese sector del río, indica que las condiciones que prevalecen son de altas DBO₅, sólo fueron reconocidos en esta estación 1 individuo de Chironomidae indet., 1 individuo de Hydrobiosidae indet., y 1 individuo de Coleoptera. La estación M8a y M13 que se encontraba aguas inmediatamente abajo de efluente industrial (matadero) o de aguas servidas, presentaron bajas riquezas taxonómicas, abundancias totales y también los valores mas bajos del índice, y la DBO₅ en estas estaciones fue mayor, entre 4 y 6 mg/L. Además, como se indicó en los resultados, los taxa también responden a otros tipos de contaminación como el de nitrógeno total y coliformes fecales. El empobrecimiento de la comunidad de macroinvertebrados por contaminación orgánica es un patrón extensamente documentado (Rosemberg & Resh 1993).

El método Beck Tsuda es aplicable a las condiciones observadas en el río Maipo, sin embargo, es necesario realizar modificaciones. Para clasificar las estaciones según el BTT y BTF se utilizó el índice biótico α, ya que considera un número menor de riqueza taxonómica, mientras que para el método Beck Tsuda ICC, fue utilizado el índice biótico β, con resultados consistentes.

También es importante considerar que un bajo puntaje del índice no siempre significa una baja calidad del agua. Factores hidrológicos, tales como sitios de alto caudal y sustratos inestables podrían causar la pérdida de la biodiversidad (Wright et al. 1994). Existen numerosos trabajos donde se ha demostrado que variables físicas del medio acuático suelen ejercer una importante influencia sobre la distribución de los macroinvertebrados fluviales (Williams & Fílmate 1992, Lampert & Sommer 1997; Giller & Malmquist 1998). Por ejemplo en la campaña de Febrero la estación M5 presentó menores valores del índice (BTF e ICC), las DBO₅ son muy bajas y probablemente no existen perturbaciones puntuales, pero los sustratos eran de gran tamaño, con altas velocidades de la corriente, y los espacios intersticiales eran grandes, impidiendo probablemente la colonización de alimento, por lo tanto de la fauna de macroinvertebrados donde tampoco pueden encontrar refugio.

La general sensibilidad de la fauna de macroinvertebrados a variables como altitud, velocidad de la corriente, temperatura, concentraciones de oxígeno, color y salinidad, en parte, los ha convertido en una poderosa herramienta para el biomonitoreo (Rosemberg & Resh 1993, Malmqvist & Mäki 1996). Rossaro & Pietrangelo (1993), sugirieron que los índices bióticos están fuertemente influenciados por factores físicos.

El análisis multivariado (CANOCO) mostró que las variables ambientales físicas más importantes en explicar la distribución de los macroinvertebrados bentónicos fueron la temperatura y conductividad, mientras que la variable indicadora de contaminación orgánica más importante fue la DBO₅. Esto es de importancia considerar, ya que algunos taxa como *Meridialaris* sp., Athericidae indet., Hydrobiosidae, *Notoperlopsis* sp. (Plecoptera) y Blephariceridae indet. son característicos de aguas frías, correntosas y de alta oxigenación, por lo tanto estos taxa difícilmente serán encontrados en el sector medio o bajo del río Maipo, ya que naturalmente se distribuyen en el sector alto del río. Entonces no se puede establecer que dichos taxa son indicadores de agua de buena calidad y aplicar este criterio a sectores potamales o de aguas más templadas, por que simplemente éstos no se encontrarán, y no como consecuencia de algún tipo de contaminación, sino por que sus requerimientos ambientales naturales no se encuentran en el lugar.

El sustrato es otra de las variables fundamentales en la colonización y distribución de la fauna de macroinvertebrados. Por eso se recomienda al momento de utilizar a los macroinvertebrados como bioindicadores, que el muestreo sea realizado en hábitats similares, para comparar los valores del índice. El sustrato, es el hábitat inmediato que estos organismos colonizan, donde pueden asentarse, alimentarse y refugiarse. La heterogeneidad de hábitats son fuertes predictores de la comunidad de macroinvertebrados.

Los componentes de la fauna de macroinvertebrados presentan diferentes grados de tolerancia a los contaminantes. La gran mayoría de las familias se distribuyen en posiciones intermedias de la dimensión de la contaminación, y unos pocos se encuentran en los extremos, clasificándose como sensibles o tolerantes. Los taxa también pueden responder de diferente manera a distintos tipos de contaminación (metales, pesticidas, contaminación orgánica, entre otros).

Los índices BTT, BTF e ICC permitieron clasificar como taxa sensibles o indicadores de muy buena calidad del agua a Blephariceridae, Athericidae, *Meridialaris* sp., *Deceptiviosa* sp., *Notoperlopsis* sp. El análisis de CANOCO indicó a estos mismos taxa como los más sensibles al parámetro nitrógeno total y coliformes fecales. El taxa Hydrobiosidae fue también el más sensible a la contaminación por coliformes fecales y materia orgánica en sedimento, CANOCO indicó a Corixidae como sensible a las altas concentraciones de DBO₅ y nitrógeno total. *Metrichia* sp., Nematoda e Hirudinea fueron clasificados como sensibles a estos parámetros, pero debe tomarse con cuidado estos resultados ya que en la literatura son considerados mas bien tolerantes.

La clasificación de taxa tolerantes según los índices BTT y BTF correspondieron a: Collembola, Corixidae, *Aprophila bidentata*, Chironomidae, Empididae, Ephrydidae, Psychodidae, Ceratopogonidae, *Smicridea* sp., *Biomphalaria* sp., *Gundlachia gayana*,

Physa sp., *Littoridina cummingi*, *Camelobaetidius* sp., *Limnoperla jaffueli*, Elmidae, *Hyaella* sp., *Hydra* sp., *Lumbriculus* sp., *Nais* sp., *Dugesia* sp., Estos mismos taxa fueron indicados como tolerantes por el análisis de CANOCO, diferenciando a que Empididae, *Lumbriculus* sp., *Hyaella* sp., Psychodidae como tolerantes a altas concentraciones de DBO₅, nitrógeno total, coliformes fecales y materia orgánica en sedimento. Mientras que los taxa *Nais* sp. al parámetro coliformes fecales, *Physa* sp. a las coliformes fecales y materia orgánica en sedimento y los taxa *Limnoperla jaffueli*, *Gundlachia gayana*, *Littoridina cummingi*, y *Camelobaetidius* sp. a altas concentraciones de materia orgánica en sedimento. ICC reconoció igualmente a Empididae, *Hyaella* sp., *Lumbriculus* sp., *Nais* sp., Psychodidae y *Physa* sp. como taxa indicadores de aguas de mala calidad, el resto de los taxa estarían clasificando aguas de regular calidad.

Los resultados aquí obtenidos en cuanto a las sensibilidades de los diferentes taxa a la contaminación orgánica coinciden con lo otorgado en otros países. La excepciones fueron Hirudinea y Nematoda, los que en este estudio fueron colectados en aguas de DBO₅ muy bajas, mientras que la literatura extranjera y los índices le atribuyen los valores de tolerancia más altos o bajos, según corresponda.

Los resultados obtenidos en este estudio confirman la utilidad del uso de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad del agua, sin embargo, es necesario establecer que su implementación requiere de la validación de los criterios utilizados para asignar a los taxa en diferentes calidades del agua. La respuesta de un determinado organismo a las condiciones ambientales (eg. contaminación), depende de la historia de vida de la especie, así como de las condiciones físicas de su hábitat en una zona en particular. La aplicación exitosa de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad del agua en nuestro país, dependerá en forma importante de lograr un conocimiento mas acabado de la historia de vida de dichos organismos.

7. CONCLUSIONES

A continuación se presentan las conclusiones más importantes del estudio “Metodología para la determinación de la calidad hídrica mediante comunidades zoobentónicas en el río Maipo”.

7.1 Parámetros físicos y químicos

- De los parámetros físicos y químicos evaluados se desprende lo siguiente: los parámetros temperatura y oxígeno disuelto se correlacionaron negativamente, mostrando leves patrones espaciales junto al eje longitudinal del río, aumentando aguas abajo en el caso de la temperatura y disminuyendo en la misma dirección en el caso del oxígeno disuelto. El parámetro conductividad también presentó un leve patrón espacial disminuyendo sus valores aguas abajo. El pH no presentó un patrón espacial definido, pero sí valores con tendencia a la alcalinidad, principalmente en el sector terminal.

- Los parámetros turbidez, color, DBO₅, nitrógeno total, fósforo total y coliformes fecales presentaron las menores concentraciones en el sector alto y terminal del río Maipo, y sus máximos en el sector medio, afectados por la presencia e intervención antrópica (carga orgánica) de la ciudad de Santiago.

- Según la normativa vigente de nuestro país, Nch 1333 (uso para riego), el río Maipo presentaría aguas que pueden tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles considerando los valores registrados de conductividad. Según esta norma para el uso y conservación de la biota acuática, los parámetros físicos y químicos evaluados estarían dentro de los límites permitidos.

- Según el Instructivo Presidencial, las aguas de los sistemas fluviales permitirían la protección y conservación de las comunidades acuáticas si presentan clases de calidad Excepción (E) y Clase 1 (Muy Buena). Sobrepasan estos límites en todo el curso principal los parámetros conductividad y color. Las coliformes totales y fecales permiten la conservación de las comunidades acuáticas en el sector alto y terminal presentando las mejores calidades del agua, mientras que el sector medio presentó las peores clases de calidad. Con respecto a la DBO₅, el Instructivo Presidencial clasificó un sector más restringido del sector medio como de mala calidad (clases 3 y 4), entre las estaciones M9a y M14 (excepto M11 y M12). El resto de las estaciones se encuentran dentro de las clases Excepción y Clase 1.

- Finalmente, el análisis multivariado (CANOCO) mostró que las variables ambientales físicas más importantes en explicar la distribución de los macroinvertebrados bentónicos fueron la temperatura, conductividad y color, mientras que la variable indicadora de contaminación orgánica más importante en explicar tal distribución fue la DBO₅.

7.2 Macroinvertebrados bentónicos

- La macrofauna bentónica estuvo compuesta en la campaña de Febrero y Mayo del 2004 por 36 taxa, donde los insectos acuáticos fueron los más importantes (61,1%). Grupos menos representativos fueron moluscos, anélidos, crustáceos, cnidarios, nemátodos y platelmintos.

- Los valores máximos y mínimos respecto a la riqueza taxonómica fueron registrados en la estación M19 con 13 taxa y el más bajo en las estaciones M8a y M13 con 3 taxa. Las mayores riquezas se reconocieron en el sector alto del río, entre M1 y M6, y en algunas estaciones del sector medio y terminal (M16, M17, M19 y M20). Con respecto al parámetro abundancia total, los valores máximos y mínimos fueron registrados en las estaciones M17 y M8a con 9811 ind/m² y 6 ind/m² respectivamente.

- Los grupos mayores del zoobentos más importantes fueron los dípteros y tricópteros. Los taxa mas representativos fueron el tricóptero *Smicridea* sp. y el díptero Chironomidae indet. En el sector alto del río, efemerópteros, plecópteros y tricópteros (EPT) fueron los mas abundantes, en el sector medio los dípteros y anélidos y en el sector terminal nuevamente los tricópteros, anélidos y coleópteros.

- Fue utilizado el índice biótico de Beck Tsuda para evaluar la calidad del agua. El conocimiento taxonómico que se tiene en Chile es diferente para los distintos grupos del zoobentos, hay un conocimiento adecuado de géneros y especies para los grupos de plecópteros, efemerópteros y tricópteros, mientras que sólo de familia en algunos dípteros, odonatos, coleópteros. Por esta razón, se aplicó el método de Beck Tsuda al nivel taxonómico más bajo posible (BTT) y a nivel de familias (BTF). El BTF fue utilizado para no sobre ni subestimar algunas estaciones de muestreo, por la mayor o menor resolución taxonómica que se tenga de los taxa encontrados en dichos lugares.

- Al utilizar la categoría taxonómica familias, se debe considerar que existen algunas como Gripopterygiidae y Baetidae que tienen representantes sensibles (*Notoperlopsis* sp., *Deceptiviosa* sp., *Andesiops* sp.) y tolerantes (*Limnoperla jaffueli*, *Camelobaetidius* sp.). Aun queda la incógnita de muchas otras familias en nuestro país donde se desconoce sus especies y géneros, pudiendo existir la probabilidad que presenten diferentes sensibilidades a ciertos contaminantes.

- El método Beck Tsuda clasifica a los taxa en sólo 2 categorías: "sensibles" y "tolerantes" (tanto el BTT como el BTF). Se buscó mejorar esta clasificación, por lo que se modificó el índice Beck Tsuda (ICC) clasificando a los taxa en 4 grupos según su tolerancia a la contaminación orgánica. Estos grupos fueron taxa muy sensibles a la contaminación, sensibles a la contaminación, medianamente tolerantes a la contaminación y tolerantes a la contaminación.

- De los 3 índices utilizados, el BTF e ICC mostraron correlaciones significativas con el parámetro DBO₅.

- La clasificación de la calidad del agua según el parámetro DBO_5 indicó que el sector alto del río Maipo (M1 y M6 y M8b), y terminal (M18; entre M20 y M23) presentaron clases de calidad A (aguas oligosapróbicas). Aguas con clase B (β -mesosapróbicas) pertenecieron a las estaciones M7, M8a, M12, M15-M17 y M19.
- Las peores clases de calidad estuvieron en el sector medio del río, entre las estaciones M9a y M14, con clases C (α -mesosapróbicas) y D (polisapróbicas, estación M9b).
- La clasificación de la calidad del agua según los índices bióticos (BTT, BTF, ICC) coincidió con la clasificación química en que el sector alto del río (M1 y M6) y las estaciones M19 y M20 (sector terminal), presentaron las mejores calidades del agua, aunque los índices bióticos clasificaron a este tramo con clase B (β -mesosapróbicas). La estación M22 presentó esta clasificación sólo con los índices BTF e ICC.
- Los índices bióticos coincidieron en otorgarles al sector medio del río Maipo las peores calidades del agua, entre C (α -mesosapróbico) y D (polisapróbico). La diferencia más notable entre el método químico y el biológico se dio en que la DBO_5 clasificó a las estaciones M8a y M8b en aguas oligosapróbicas β - mesosapróbicas, mientras que los índices bióticos clasificaron a M8a en clase D (polisapróbica), y a M8b en clase C (BTT e ICC) y clase D (BTF). La estación M13 fue clasificada como de regular calidad por la DBO_5 mientras que los índices bióticos en aguas polisapróbicas, con los valores más bajos del índice. La DBO_5 clasificó a la estación M9b como polisapróbica mientras que los índices bióticos coincidieron en darles clase C.
- El gradiente ambiental temperatura-conductividad, es altamente selectivo para los organismos acuáticos. Los taxa indicadoras de aguas frías fueron: Blephariceridae, *Meridialaris* sp., Athericidae, Hydrobiosidae, *Deceptiviosa* sp., *Notoperlopsis* sp. En el gradiente opuesto, Corixidae, Hirudinea, *Gundlachia gayana*, *Physa* sp., *Littoridina cummingi*. Para el parámetro conductividad presentó como indicadores de altas concentraciones de este parámetro Hirudinea, Corixidae, *Dugesia* sp. y como sensibles Psychodidae, Empididae, *Hyalella* sp. y *Lumbriculus* sp. Es importante conocer la distribución natural de ciertos taxa en respuesta a variables físicas, taxa características de aguas frías y correntosas como por ejemplo Blephariceridae, difícilmente serán encontradas en sectores del río inferiores mas temperadas, lo que no significa que la calidad del agua en dicho sector sea mala.
- Los índices BTT, BTF e ICC como taxa sensibles a Blephariceridae, Athericidae, *Meridialaris* sp., *Deceptiviosa* sp., *Notoperlopsis* sp. El análisis de CANOCO indicó a estos mismos taxa como los más sensibles al parámetro nitrógeno total y coliformes fecales. El taxa Hydrobiosidae fue también el más sensible a la contaminación por coliformes fecales y materia orgánica en sedimento, CANOCO indicó a Corixidae como sensible a las altas concentraciones de DBO_5 y nitrógeno total. *Metrichia* sp., Nematoda e Hirudinea fueron clasificados como sensibles a estos parámetros, pero debe tomarse con cuidado estos resultados ya que en la literatura son considerados más bien tolerantes.

- La clasificación dada por BTT e ICC indicaron a los siguientes taxa como tolerantes: Collembola, Corixidae, *Aprophila bidentata*, Chironomidae, Empididae, Ephrydidae, Psychodidae, Ceratopogonidae, *Smicridea* sp., *Biomphalaria* sp., *Gundlachia gayana*, *Physa* sp., *Littoridina cummingi*, *Camelobaetidius* sp., *Limnoperla jaffueli*, Elmidae, *Hyaella* sp., *Hydra* sp., *Lumbriculus* sp., *Nais* sp., *Dugesia* sp.

- Estos mismos taxa fueron indicados como tolerantes por el análisis de CANOCO, diferenciando a que Empididae, *Lumbriculus* sp., *Hyaella* sp., Psychodidae como tolerantes a altas concentraciones de DBO₅, nitrógeno total, coliformes fecales y materia orgánica en sedimento. Mientras que los taxa *Nais* sp. al parámetro coliformes fecales, *Physa* sp. a las coliformes fecales y materia orgánica en sedimento y los taxa *Limnoperla jaffueli*, *Gundlachia gayana*, *Littoridina cummingi*, y *Camelobaetidius* sp. a altas concentraciones de materia orgánica en sedimento. ICC reconoció igualmente a Empididae, *Hyaella* sp., *Lumbriculus* sp., *Nais* sp., Psychodidae y *Physa* sp. como los taxa indicadores de aguas de mala calidad, el resto de los taxa estarían clasificando aguas de regular calidad.

- Uno de los problemas fundamentales al momento de las mediciones físicas y químicas para evaluar calidad del agua es que ellos proveen datos que reflejan principalmente las condiciones que existen cuando la muestra es tomada. En contraste, el monitoreo biológico entrega una indicación integrada de la condición pasada además de las condiciones actuales. El monitoreo biológico mas que ser una medición instantánea, provee datos integrados, una "fotografía continua" del pasado reciente (Hauer & Lamberty 1996). La explicación biológica a las inconsistencias entre las clases de calidad otorgadas por la DBO₅ y los índices bióticos corresponden a las diferencias en la representatividad temporal de cada uno de los métodos.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ABEL, P. 1989.** Water pollution biology. Ellis Horwood, Chichester, England. 387 pp.
- ALBA-TERCEDOR. 1996.** Alba-Tercedor, J. 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA). *Ameria* 2: 203-213.
- ALBA-TERCEDOR. 1988.** Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978). *Limnética*, 4: 51-56.
- APHA, AWWA & WFF. 1995.** Standard Methods: for the examination of water and wastewater. 19 Edition.
- ASTM 1989.** American Society for Testing and Materials Standard guide for selecting grab device for collecting benthic macroinvertebrates. ASTM D/ 4387-84
- BECK, W.M. 1955.** Suggested method for reporting biotic data. *Sew. and Industr. Wastes*, 27
- BENEDETTO, L. 1974.** Clave para la determinación de los plecópteros sudamericanos. *Studies on Neotropical Fauna and Environmental*, 9:141-170.
- BRAY, J.R. & J.T. CURTIS. 1957.** An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecol. Monogr.* 27:325-349.
- CAAMAÑO, M. 1985.** Taxonomía de las ninfas terminales de Plecoptera (Insecta) en tres ritrones preandinos de Ríñihue, X Región, Chile. Tesis de Grado para optar al título de profesor de Biología y Química. Universidad Austral de Chile, Valdivia. 146 pp.
- CNR. 2003.** Metodología para la determinación de la calidad hídrica mediante comunidades biológicas en la cuenca del río Maipo. Informe realizado para I Comisión nacional de Riego. 162 pp.
- CONAMA. 2003.** Instructivo Presidencial para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y marinas. 2003. 19 pp.
- CONTRERAS, M.A. 1998.** Flujo de carbono en el ecosistema río Clarillo: autotrofia v/s heterotrofia. Tesis Doctoral. Universidad de Chile. 147 pp.
- CSIRO. 1991.** The Insects of Australia. A textbook for Students and Research workers. Melbourne University Press and Cornell University Press. Vol I-II. 1137 pp.
- DOMÍNGUEZ, E., HUBBARD, M. & W. PETERS. 1992.** Claves para ninfas y adultos de las familias y géneros de Ephemeroptera. (Insecta) Sudamericanos. Instituto de Limnología "Dr. Raúl A. Ringuelet". *Biología acuática*, 16: 1-36 pp.
- EDMUNDS, G.F., JENSEN, S.L. & L. BERNER. 1979.** Mayflies of North and Centro America. Univ. Minn. Press. Minnesota, 322 pp.
- FLINT, O. 1968.** Studies of neotropical caddis flies, VII: Trichoptera, from massatierra, Islas Juan Fernández. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 6 :61-64.
- FLINT, O. 1973a.** Studies of neotropical caddis flies XVI: The genus Austrotinodes (Trichoptera: Psychomyiidae). *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 86 :127-142.
- FLINT, O. 1973b** The Megaloptera of Chile (Neuroptera). *Revista Chilena de Entomología*, 7:31-43.
- FLINT, O. 1974.** Checklist of the trichoptera, or caddisflies, of Chile. *Revista Chilena de Entomología*, 8 :83-93.
- FLINT, O. 1979.** Studies of neotropical caddis flies XXIII: New genera from the Chilean region. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 92(3) :640-649.
- FLINT, O. 1983.** *Notochauliodes penai*, a new genus and species of Megaloptera from Chile (Neuroptera: Corydalidae). *Entomology News*, 94(1) :15-17.
- FLINT, O. 1985.** Studies of neotropical caddis flies XXXV: The immature stages of *Banyallarga argentinica* Flint (Trichoptera: Calamoceratidae). *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 98(3): 687-697.
- GHETTI, P.F. 1986.** I Macroinvertebrati nell'Analisi di qualità dei corsi D'aqua. Ed. Università di Parma. Italia. 105 pp.

- GILLER, P. S. & B. MALMQVIST. 1998.** The Biology of streams and rivers. Oxford University Press. Oxford.
- GOLTERMAN, H., CLYMO, R.S. & M.A. OHNSTADT. 1978.** Methods for chemical analysis of freshwaters. Blackwell Scientific Publication. Oxford. (IBP Handbook, 8).
- HAUER, F.R. & G.A. LAMBERTY. 1996.** Methods in Stream Ecology. Academic Press. United States of America. 674 pp.
- HELLAWELL, J.M. 1986.** Biological indicators of freshwater pollution and environmental management. Elsevier, England. 546 pp.
- HYNES, H.B.N. 1962.** The stream and its valley. *Verhandlungen der Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, 19: 1-15.
- HOLZENTHAL, R.W. & S.C. HARRIS 1992.** Hydroptilidae (Trichoptera) of Costa Rica: The genus *Oxyethira* Eaton. *J. New York Entomol. Soc.* 100(1):155-177.
- HOLZENTHAL, R.W. 1984.** Studies in Neotropical Leptoceridae (Trichoptera): *Achoropsyche*, A New genus. Fourth International Symposium on Trichoptera. Series Entomologica, Vol. 30, ed. By John C. Morse.
- HOLZENTHAL, R.W. 1986A.** Studies in Neotropical Leptoceridae (Trichoptera), IV: A Revisión of *Brachysetodes* Schmid. From the Transactions of the American Entomological Society. Volume 111:407-440.
- HOLZENTHAL, R.W. 1986B.** Studies in Neotropical Leptoceridae (Trichoptera), VI: Immature Stages of *Hudsonema flaminii* (Navas) and the evolution and historical Biogeography of Hudsonemini (Triplectidinae). *Proc. Entomol. Soc. Wash.* 88(2), 1986, pp.268-279.
- HOLZENTHAL, R.W. 1988.** Systematics of Neotropical *Triplectides* (Trichoptera:Leptoceridae). *Entomological Society of America Vol.81, N° 2.* 208 pp.
- HOLZENTHAL, R.W. 1995.** The caddisfly genus *Nectopsyche*: new gemma group species from Costa Rica and the Neotropics (Trichoptera: Leptoceridae). *J.N.Am.Benthol.Soc.*14(1):61-83
- ILLIES, J. 1963.** Revision der Sudamerikanischen Gripopterygidae (Plecoptera). *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft*, 36(3) :135-248.
- JARA, C.G. 1982.** New species of *Aegla* from Chile. *Journal of Crustacean Biology*, 2(2): 232-238.
- KOLKWITZ, R. & WA. MARSSON. 1908.** Ecology of plant saprobia. *Ver. Dt. Ges.* 26: 505-519.
- KOLKWITZ, R. & WA. MARSSON. 1909.** Ökologie der tierischen Saprobien. *Beitrag zur Lehre von der biologische Gewässerbeuteulung. Internationale Reueu der gesamten Hydrobiologie* 2: 126-152.
- LAMPERT, W. & U. SOMMER. 1997.** Limnoecology. The ecology of lakes and streams. Oxford University Press, New York.
- MALMQVIST, B. & M. MÄKI. 1996.** Benthic macroinvertebrate assemblages in north Swedish streams: environmental relationships. *Ecography* 17:9-16.
- MCCAFFERTY, W.P. 1983.** Aquatic Entomology. Jones & Bartlet Publ. Inc. Boston, USA. 412 pp. America. Third Edition. Kendall / Hunt Publishing Company. 862 pp.
- MISERENDINO, M.L. & L.A. PIZZOLON. 2000.** Rapid assessment of river water quality using macroinvertebrates: a family level biotic index for the patagonic andean zone. *Acta Limnológica Brasileña*. Vol. 11(2). Pág. 137-148.
- MERRIT, R.W. & K.W. CUMMINS. 1996.** An introduction to the Aquatic Insect of North America. Third Edition. Kendall / Hunt Publishing Company. 862 pp.
- MÜHLHAUSER, H., L. SOTO & P. ZAHRADNIK. 1987.** Improvement of the Kjeldahl Method for total Nitrogen including Acid-Hydrolyzable Phosphorus determinations in Freshwater Ecosystems. *Intern. J. Environ. Anal. Chem.* 28 (3): 1-12.
- NCH. 1333. 1987.** Instituto Nacional de Normalización INN- Chile. Requisitos de calidad de agua para diferentes usos. Segunda edición. 9 pp.

- PIZZOLÓN, L. & M. L. MISERENDINO. 2001.** The performance of two regional biotic indices for running quality in Northern Patagonian Andes. *Acta Limnol. Bras.* 13(1):11-27.
- ROLDÁN, G. 1992.** Fundamentos de Limnología Neotropical. Editorial Universidad de Antioquia, Medellín.
- ROLDÁN, G. 1999.** Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 23 (88): 375-387.
- ROSENBERG, D.M. & V.H. RESH. 1993.** Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman & Hall, New York 488 pp.
- ROSENBERG, D.M. & V.H. RESH. 1996.** Use of aquatic insects in biomonitoring *In: Aquatic Insects of North American*, Ed. By R.W. Merrit & K.W. Cummins. Third Ed. Dubuque, Iowa, Kendall / Hunt Publishing. Company. Pp. 87-97.
- ROSSARO, B. & A. PIETRANGELO. 1993.** Macroinvertebrate distribution in streams: a comparison of CA ordination with biotic indices. *Hydrobiologia*, 263: 109-118.
- SÁNCHEZ, A. & R.M. GARCÍA. 1999.** Biomonitorio de ríos en la gestión de cuencas. Una aproximación introductoria. Artículo ANEI-S49907. IX Congreso Nacional de Irrigación. Simposio 4 Manejo Integral de Cuencas Hidrológicas. Culiacán, Sinaloa, México, 27-29 de Octubre.
- SLADECECK, V. 1988.** Conversions on the scale of saprobity. *Verh. Int. Verein. Limnol.* 23:1559-1562.
- SPANGLER, P.J. 1979.** Description of the Larva and Pupa of *Cylorygmus lineatopunctatus* (Coleoptera: Hydrophilidae: Rysmodini). *Proc. Biol. Soc. Wash.* 92(4): 743-752.
- TER BRAAK, C.J.F. & P. SMILAUER, 1999.** CANOCO Reference Manual and User's Guide to Canoco for Windows: Software for Canonical Community Ordination (version 4). Microcomputer Power. Ithaca, NY.
- TWILKINSON, L., M. HILL, J.P. WEINA & G.K. BIRKENBEUEL. 1992.** Systat for Windows: Statistics. Quinta edición. Evanston. XVI + 750 pp.
- TSUDA, M. & I. MORISHITA. 1974.** Metodología para la investigación de la calidad hídrica mediante comunidades biológicas. Editorial Sankai. Pag. 94:103.
- WILLIAMS, D. D. & B. W. FELTMATE. 1992.** *Aquatic Insects*. CAB International, Oxon, UK.
- WRIGHT J.F.; FURSE M.T. & P.D. ARMITAGE. 1994.** Use of macroinvertebrate communities to detect environmental stress in running waters. In: Sutcliffe. D.W. Water quality and stress indicators in marine and freshwater ecosystems: linking levels of organization (individuals, populations, communities). Freshwater Biological Association. Ambleside. pp.17-34.

9. EQUIPO DE TRABAJO

El equipo de trabajo que desarrolló el estudio estuvo constituido por los siguientes investigadores:

INVESTIGADOR	TITULOS y/o Grados	ESPECIALIDAD
Manuel Contreras	Ph.D., Msc.	Limnología-hidrología (Director Proyecto)
Elizabeth Araya	M.Sc.	Fauna Invertebrados (Jefe proyecto)
Ginger Martínez	Ph.D (C)	Flora Acuática
Leopoldo Fuentes	M.Sc.	Fauna Ictica
Olga Martínez	Ing. Ambiental/Químico	Química aguas