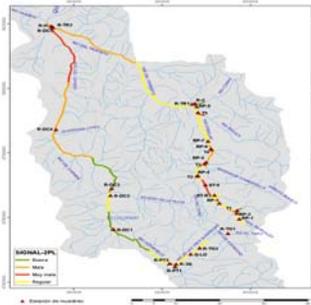




Plan de uso de Bioindicadores Proceso de Validación Índice Biótico SIGNAL-2PL (Pascua Lama)



CIA. MINERA BARRICK.



Marzo 2009



RESUMEN EJECUTIVO	3
1. INTRODUCCIÓN	4
2. OBJETIVOS	5
2.1. OBJETIVO GENERAL	5
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	5
3. ÁREA DE ESTUDIO	6
4. METODOLOGÍA	8
4.1 Parámetros de la calidad del agua	8
4.1.1. Metodología Analítica	8
4.1.2. Clases de calidad según Norma Secundaria (guía CONAMA, 2004)	11
4.2 Muestreo biológico	11
4.2.1. Aplicación del índice biótico	11
4.2.2. Taxa indicadoras	14
4.3 Validación estadística	14
4.3.1 SIGNAL-2PL	14
4.3.2 Taxa indicadoras	15
5. RESULTADOS	16
5.1 Parámetros de calidad del agua	16
5.1.1 Clases de Calidad de Agua	16
5.2 Variables biológicas	21
5.2.1. Aplicación Índice SIGNAL-2PL	22
5.3 Validación estadística	24
6. CONCLUSIONES	25
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

RESUMEN EJECUTIVO

La comunidad de **zoobentos** registrada en las estaciones de monitoreo ubicadas en los ríos Del Estrecho, Chollay, Conay y del Tránsito y los ríos Toro, Potrerillos y Del Carmen registraron una baja diversidad de familias, reconociéndose un total de 31 taxa. La aplicación del índice SIGNAL-2PL mostró que el área evaluada tiene calidad de aguas de “Regular” a “Mala”.

Al utilizar el IB SIGNAL-2PL en los ríos Del Estrecho-Chollay y Del Tránsito se obtuvo una calidad “Regular” a “Mala”, excepto en las estaciones río Del Estrecho aguas abajo Quebrada de la Falda y río Pachuy en que se obtuvo una calidad “Muy mala”. Mientras que las estaciones río Conay y río Los Barriales presentaron calidad “Buena”.

Por otra parte, en el sector De las Tres Quebradas y Del Carmen, en su parte alta y media se obtuvo una calidad “Regular” con la excepción de las estaciones R-DC1, R-PT1 y R-DC3 que presentaron calidad “Buena”. Las estaciones ubicadas aguas abajo de R-DC3 evidenciaron calidad de sus aguas de “Mala” a “Muy Mala”,

Respecto a la equivalencia obtenida entre las clases del SIGNAL-2PL y las establecidas en la norma secundaria de calidad ambiental, mostró una asociación muy estrecha con los parámetros físicos y químicos, metales no esenciales y microbiológicos, no siendo útil para los inorgánicos y metales esenciales. El estudio de los taxa indicadoras de calidad de agua, obtenidas a partir del plan de uso en la etapa de calibración, permitió identificar a los oligoquetos como taxa bioindicadora de calidad de agua. Por último, el análisis integrado de las variables ambientales y el índice SIGNAL-2PL mostró que esta primera aproximación del proceso de validación de este IB va por buen camino y permitirá ser utilizado como una herramienta única a nivel nacional, que además será implementado en un sector poco estudiado, como lo es la zona norte de nuestro país.

PLAN DE USO DE BIOINDICADORES ETAPA DE VALIDACIÓN DEL INDICE BIÓTICO SIGNAL-2PL (PASCUA LAMA)

1.- INTRODUCCIÓN

Con el fin de manejar y gestionar los recursos hídricos en conjunto con los ecosistemas que sustentan, los países de mayor desarrollo han incorporado progresivamente las evaluaciones biológicas a su normativa de calidad de aguas (Woodiwis 1978, Ghetti 1980, 1997, Barbour *et al.* 1995, 1997, Lemly *et al.* 2000, Simon 2000, Verdonshot 2000). Esto con el fin de complementar los análisis físicos y químicos, que por sí solo no proveen una adecuada información de los efectos de la perturbación sobre los ecosistemas acuáticos.

Este tipo de enfoque ya ha sido abordado en Norteamérica (Plafkin *et al.* 1989, Resh *et al.* 1995, 1996, Barbour 1997), Australia (Chessman 1995, 2003, Schofield & Davis 1996, Mitzeling *et al.* 2002, Tiller & Metzelling 2002, Inglaterra (Wright *et al.* 1984, Wright *et al.* 2000), África (Chuter 1972) y en general, por varios países de Europa que se encuentran ajustando metodologías dentro de la directiva Marco del Agua (Bonada, 2003). Los principales instrumentos de regulación de la calidad de las aguas en Chile, corresponden a las “Normas Secundarias de Calidad Ambiental para aguas continentales superficiales y marinas”, llamada guía CONAMA (2004) y la norma chilena oficial 1.333 of78 “requisitos para la calidad del agua en diferentes usos”.

En contraste con la cantidad de estudios desarrollados en países desarrollados, en Chile los componentes biológicos de los ecosistemas acuáticos, han sido poco abordados y sólo de manera general en las últimas décadas (e.g., Campos *et al.* 1984, Arenas 1995, Habit *et al.* 1998, Figueroa *et al.* 2000, Figueroa *et al.* 2006 y 2007). El primer estudio realizado por Figueroa que utiliza los Índices Bióticos (IB), corresponde a una adaptación y aplicación del índice biótico de las Familias (IBF) de Hinselhoff (1988) en aguas del río Damas, Osorno, encontrando una buena correlación entre índices bióticos y variables ambientales asociadas a la carga orgánica y de nutrientes, relacionadas a la actividad agrícola de la zona. El segundo es una comparación de niveles taxonómicos, con datos del río Damas, Osorno; Estero Nonguén, Concepción y río Chillán, demostrando que a nivel de familia es aceptable el uso de biocriterios, especialmente por el desconocimiento de la fauna de invertebrados a niveles más específicos. El tercer estudio realiza una adaptación y análisis crítico de los índices de diversidad e índices bióticos (IB) aplicados en la cuenca del río Chillán, caracterizando la calidad ecológica de la cuenca. Sin embargo, estos estudios fueron realizados en la zona centro-sur del país, careciendo de información validada, que nos entreguen suficientes antecedentes sobre otras áreas del país (zona norte y centro norte).

Es por los motivos antes descritos que el presente estudio, se diferencia de experiencias anteriores a nivel nacional donde se han aplicado casi sin modificaciones distintos índices desarrollados en el extranjero, nuestra aproximación incluyó en una primera etapa (campañas de marzo 2007 a septiembre 2008) la evaluación de distintos índices, en la tercera región, específicamente en la cuenca alta del río Huasco, utilizando a los macroinvertebrados bentónicos, y calibrando el índice SIGNAL-2 a las condiciones particulares de la cuenca.

De esta forma tras un proceso de adaptación y calibración se obtuvo el SIGNAL-2PL (Pascua Lama), este índice excluyó a las familias no presentes y le reasigno valores de tolerancia a los taxa presentes acordes a las condiciones particulares de la cuenca. Junto con lo anterior, se identificaron ocho taxa que podrían ser utilizadas como indicadoras de distintas variables ambientales, correspondiendo a Blephacerae, Elmidae e Hydropsychidae indicador de aguas limpias y bien oxigenadas (Roldan, G, 2003), mientras que Simuliidae, Podonominae, Chironomidae, Oligochaeta y Physidae son citados como tolerantes a la contaminación orgánica (Puig, 1999). A partir de la presente campaña se ha comenzado con el proceso de validación de índice SIGNAL-2PL, que concluirá con un índice aplicable a la cuenca alta del río Huasco, y podrá ser utilizado como una herramienta de alerta temprana a cambio en la calidad del agua.

2.- OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Desarrollar un programa de validación del IB SIGNAL-2PL, utilizando a los macroinvertebrados bentónicos como herramienta biológica (indicadores), en conjunto con los análisis físicos y químicos, de manera que sea posible evaluar la relación entre los cambios en la calidad del agua y los cambios en la comunidad biológica.

2.2. Objetivos específicos

- Validar el Índice Biótico calibrado en Plan de Uso de Bioindicadores, correspondiente al SIGNAL-2PL.
- Caracterizar la calidad del agua de las cuencas Del Estrecho y De las Tres Quebradas mediante la aplicación del índice biótico SIGNAL-2PL
- Elaborar una colección de referencia de la fauna de macroinvertebrados bentónicos, con énfasis en los grupos más sensibles (*i.e.* efemerópteros, tricópteros y coleópteros).
- Elaborar una base de datos georeferenciada de la información colectada/generada

3. ÁREA DE ESTUDIO

La validación de índice SIGNAL-2PL es parte del Plan de Uso de Bioindicadores, que lleva a cabo Pascua-Lama. Por lo tanto el análisis de la información necesaria para el proceso de “Validación” se obtuvo del área de influencia del proyecto, que corresponde a la cuenca alta del río Huasco, específicamente en los ríos Del Estrecho, Chollay, Conay, y Del Tránsito y los ríos Toro, De las Tres Quebradas, Potrerillos, Del Carmen, abarcando desde el área de nacientes de los ríos Del Estrecho y Toro hasta la localidad de Alto del Carmen.

En la campaña marzo 2009, fueron muestreadas un total de 30 estaciones en los dos sectores ubicados en la parte alta del río Huasco, pero sólo se obtuvo muestras en 28 de ellas, debido a que las estaciones Q-LO y R-TO1 se encontraron sin escurrimiento superficial (**Tabla 1**).

Tabla 1. Códigos, descripción y ubicación de las 30 estaciones de muestreo ubicadas en el área de estudio.

Estaciones de Muestreo	Descripción	Coordenadas (UTM)	
RP-1	Río Del Estrecho sector nacimiento	397.043	6.760.140
RP-2	Río Del Estrecho aguas arriba confluencia río Barriales	396.992	6.760.415
RP-3	Río Del Estrecho aguas abajo confluencia río Barriales	392.942	6.764.477
ST-6	Río Del Estrecho aguas abajo Quebrada Agua de la Falda	389.695	6.769.755
RP-4	Río Del Estrecho aguas abajo confluencia río Del Toro	388.120	6.772.992
RP-5	Río Chollay aguas abajo confluencia río Blanco	389.560	6.776.917
RP-6	Río Chollay aguas abajo confluencia río Chañarcillo	391.034	6.781.328
RP-7	Río Chollay aguas abajo confluencia río Pachuy	387.963	6.792.206
RP-8	Río Chollay aguas arriba confluencia río Conay	387.722	6.794.438
R-C	Río Conay, antes confluencia con Río Chollay	387.277	6.794.938
R-TR1	Río Tránsito, bajo confluencias con Río Conay/Chollay	386.399	6.794.658
R-TR2	Río Tránsito, aguas arriba río Huasco	358.401	6.817.282
T1	Río Los Barriales	396.828	6.762.118
ST-R3	Quebrada Agua de la Falda	391.646	6.766.670
T2	Río Del Toro	387.842	6.772.840
T3	Río Blanco	389.422	6.776.575
T4	Río Chañarcillo	391.250	6.781.019
T5	Río Pachuy	388.055	6.792.122
R-TO1	Río Toro, área de nacimiento	394.947	6.755.140
R-TO2	Río Toro, aguas arriba Quebrada Las Ortigas	388.484	6.750.572
Q-LO	Quebradas Las Ortigas	386.484	6.748.716
R-3Q	Río Tres Quebradas, aguas abajo Q. Las Ortigas	383.170	6.745.564
R-PT1	Río Potrerillos, aguas arriba de Tres Quebradas	382.967	6.744.762
R-PT2	Río Potrerillos, aguas abajo de Tres Quebradas	381.678	6.745.757
R-DC1	Río Del Carmen, aguas abajo río Potrerillos	368.990	6.756.413
R-DC2	Río Del Carmen, aguas arriba Estero La Plata	368.318	6.766.879
R-DC3	Río Del Carmen, aguas abajo Estero La Plata	368.577	6.769.053
R-DC4	Río Del Carmen, Quebrada López	355.987	6.787.314
R-DC5	Río Del Carmen, aguas arriba río Huasco	355.143	6.818.874
R-H	Río Huasco, aguas abajo confluencia Tránsito/Del Carmen	354.775	6.819.374

4. METODOLOGÍA

Se analizó la calidad de las aguas en los cursos superficiales dentro del área de estudio, en los aspectos físicos, químicos y biológicos. Realizando análisis de laboratorio de la calidad de las aguas de los ríos Del Estrecho, Chollay, Conay y Del Tránsito y ríos Toro, De Las Tres Quebradas, Potrerillos, Del Carmen y Huasco. Los parámetros analizados como también las metodologías empleadas se describen a continuación.

4.1 Parámetros de la calidad del agua

El procedimiento de toma de muestras y preservación de ellas, se realizó de acuerdo a lo establecido en el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA-AWWA-WEF, 2005). Luego se categorizaron los segmentos analizados según las clases de calidad descritas en el anteproyecto de Norma Secundaria (CONAMA, 2004).

4.1.1. Metodología Analítica

La metodología utilizada en el monitoreo de calidad de agua de los ríos involucrados en el proceso de validación, se basa principalmente en los alcances de APHA, AWWA, WEF (2005), *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.

A continuación se describen los métodos específicos para cada parámetro incluido en el monitoreo:

Parámetros físicos de calidad de agua

- Temperatura en terreno (°C): PTL-26, Procedimiento de determinación de temperatura, basado en el Manual de Equipo Multiparamétrico P4 y Multi 340i y según *Standard Methods for the Examination of Water of Wastewater*, 21st Edition, 2005. Método 2520 B;
- pH en terreno: PTL-22, Procedimiento de determinación de pH basado en el Manual de Equipo Multiparamétrico P4 y Multi 340i y según *Standard Methods for the Examination of Water of Wastewater*, 21st Edition, 2005. Método 4500-H⁺B;
- Sólidos totales disueltos (mg/L): Procedimiento establecido en *Standard Methods for the Examination of Water of Wastewater*, 21st Edition, 2005. Método 2540 C;



- Sólidos totales suspendidos (mg/L): Procedimiento establecido en *Standard Methods for the Examination of Water of Wastewater*, 21st Edition, 2005. Método 2540 D;
- Conductividad específica en terreno ($\mu\text{S}/\text{cm}$): PGL-24, Procedimiento de determinación de conductividad - salinidad, basado en el Manual de Equipo Multiparamétrico P4 y Multi 340i y según *Standard Methods for the Examination of Water of Wastewater*, 21st Edition, 2005. Método 2510 B; y
- Turbiedad (NTU): PTL-18, Procedimiento de determinación de turbidez, basado en el Manual de Empleo Turbiquant 1000IR, Merck y según *Standard Methods for the Examination of Water of Wastewater*, 21st Edition, 2005. Método 2130 B.

Parámetros químicos de calidad de agua

- Oxígeno disuelto (mg/L): PTL-23, Procedimiento de determinación de oxígeno disuelto y porcentaje de saturación, basado en el Manual de Equipo Multiparamétrico P4 y Multi 340i y según *Standard Methods for the Examination of Water of Wastewater*, 21st Edition, 2005. Método 4500-O G;
- Alcalinidad total (mg/L): Procedimiento establecido en *Standard Methods for the Examination of Water of Wastewater*, 21st Edition, 2005. Método 2320 B;
- Demanda química de oxígeno (DQO, mg/L): Procedimiento establecido en *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21st Edition, 2005. Método 5220 D;
- Dureza (mgCaCO_3/L): Procedimiento establecido en *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21st Edition, 2005. Método 2340 B;
- Ortofosfato (P- PO_4 , $\mu\text{g}/\text{L}$): Test de P- PO_4 , Spectroquant. Nova 60, Merck;
- Fósforo total (P-total, $\mu\text{g}/\text{L}$): Procedimiento establecido en *Standard Methods for the Examination of Water of Wastewater*, 21st Edition, 2005. Método 4500-P B y E;
- Nitrato (N- NO_3 , $\mu\text{g}/\text{L}$): PTL-08, Método validado, base utilizada, Métodos en Ecología de aguas continentales. Instituto de Biología Uruguay, 1999, Editado por Rafael Arocena y Daniel Conde.
- Nitrito (N- NO_2 , $\mu\text{g}/\text{L}$): PTL-07, Método validado, base utilizada, *Standard Methods for the Examination of Water of Wastewater*, 21st Edition, 2005. Método 4500- NO_2 B;



- Amonio (N-NH₄, µg/L): Test de N-NH₄, Spectroquant. Nova 60, Merck;
- Nitrógeno orgánico total (N org tot, µg/L): Test de N-NH₄, Spectroquant. Nova 60, Merck. Previa digestión;
- Macroelementos (mg/L): Los macroelementos catiónicos se determinaron de acuerdo a APHA, AWWA y WEF (2005). 3120 B. Para la determinación de carbonatos y bicarbonatos se utilizó métodos volumétricos (APHA, AWWA y WEF (2005), (Met. 2320 B). El análisis de cloruro se realizó por el método argentométrico de acuerdo a APHA, AWWA y WEF (2005), (Met. 4500-Cl⁻). El análisis de sulfato se realizó de acuerdo a APHA, AWWA y WEF (2005), (Met. 4500-SO₄⁻² E);
- Elementos Trazas (ug/L): La determinación de hierro y plomo, se realizó por espectroscopía de emisión óptica por plasma acoplado inductivamente (ICP/OES). El aluminio se determinó por APHA, AWWA y WEF (2005). 3111D. El mercurio se determinó por *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21stEdition, 2005. Método 3112 B Vapor Frío.
- Color verdadero (Pt- Co): Procedimiento establecido en *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21stEdition, 2005. Método 2120 E.
- Sodio porcentual (%): Estimación por cálculo, de acuerdo lo establecido en NCh. 1.333, Of78.
- Sílice (mg/L): Procedimiento establecido en *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21stEdition, 2005. Método 3120 B.

Parámetros biológicos de calidad de agua

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅, mg/L): Estimación por cálculo, de acuerdo a lo establecido en NCh. 1.333, Of. 78.
- Clorofila "a" (mg/L): Procedimiento establecido en *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21stEdition, 2005. Método 10200 H.
- Coliformes totales y fecales (NMP/100 mL): Procedimiento establecido en *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21st Edition, 2005. Método 9223 B.

4.1.2. Clases de calidad según Norma Secundaria (guía CONAMA, 2004)

Esta tipificación del agua permitió establecer de acuerdo a niveles de calidad por elemento o compuesto obtenidos en la campaña, los distintos tipos de calidades del agua que se encuentran en el área de estudio. Estas calidades de agua se categorizan en cinco que van de Clase de excepción (Muy buena) a clase cuatro (Muy mala), según lo descrito en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Clases de calidad de agua identificadas en guía CONAMA (2004). Marzo 2009.

Clase de Excepción	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4
Indica Agua de mejor calidad que clase uno, que por su extraordinaria pureza y escasas, forma parte única del patrimonio ambiental de la república	Muy buena calidad. Indica un agua adecuada para la protección y conservación de las comunidades acuáticas, para el riego irrestricto y para los usos comprendidos en las clases dos y tres	Buena Calidad. Indica un agua adecuada para el desarrollo de la acuicultura, de la pesca deportiva y recreativa, y para los usos comprendidos en la clase tres	Regular calidad. Indica un agua adecuada para bebida de animales y para riego restringido	Las aguas que excedan los límites establecidos para la clase tres, indicarán un agua de mala calidad, en general no adecuada para la conservación de las comunidades acuáticas o su aprovechamiento para los usos prioritarios sin el tratamiento adecuado

4.2 Muestreo biológico

Se obtuvieron seis muestras cuantitativas con una red surber de 0,09m², con malla de apertura de 250um. La estimación de la fauna bentónica se realizó mediante el recuento directo por grupo de organismos. El método de análisis consistió en examinar las muestras bajo lupa Zeiss Stemi 2000-C, separando la totalidad de los organismos, clasificándolos y contándolos. La clasificación de los organismos se realizará según los trabajos de Bertrand (1995), Lugo-Ortiz & MacCafferty (1995, 1999), Lopreto & Tell (1995), Merrit & Cummins (1996), Fernández & Domínguez (2001).

4.2.1. Aplicación del índice biótico

En este trabajo se aplica el IB seleccionado en el Plan de Uso de Bioindicadores (SIGNAL-2PL), con el fin de validar su utilización para evaluar la calidad de los ecosistemas acuáticos del área evaluada. Tras la utilización del SIGNAL-2 y en base a los antecedentes ya obtenidos en el proceso de calibración de las campañas anteriores para las áreas estudiadas, se adaptó el índice biótico SIGNAL-2PL. Este IB utiliza la identificación de los macroinvertebrados hasta el nivel taxonómico de familia. Cada familia tiene una puntuación entre 1 y 10 (**Tabla 3**). Una puntuación baja significa que las familias son tolerantes para un amplio rango de condiciones medioambientales, incluidas formas comunes de contaminación; una alta puntuación denota que la familia es sensible a la mayoría de las formas de contaminación.

Este índice en su forma original presenta sólo cuatro categorías de calidad, siendo cualquier valor superior a seis una calidad de tipo Buena y valores inferiores a cuatro significan una calidad Muy Mala. Figueroa *et al.* (2007) propuso adicionar una nueva categoría (**Tabla 4**), esta categorización es la que se utiliza en este estudio, debido a que permite la comparación directa con las categorías asignadas en el anteproyecto de Norma Secundaria (**Tabla 2**).

Tabla 3. Puntuaciones asignadas a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención de los distintos índices utilizados. Stream Invertebrate Grade Number-Average Level, versión 2 (**SIGNAL-2**) y versión **SIGNAL-2PL**.

Familias	Valores SIGNAL-2	Valores SIGNAL-2PL
Acari	*	5
Hygrobatidae	*	4
Aeshnidae	4	3
Hyalellidae	*	3
Athericidae	8	5
Baetidae	5	9
Blephariceridae	10	7
Ceratopogonidae	4	4
Chironomidae	3	1
Collembola	*	3
Corduliidae	5	5
Culicidae	1	6
Delphacidae	*	4
Dolichopodidae	3	3
Dugesidae	2	5
Dytiscidae	2	3
Elmidae	7	10
Empididae	5	2
Ephydriidae	2	5
Gyrinidae	4	5
Hemiptera	*	4
Hirudinea	*	3
Hydrobiosidae	8	6
Hydrophilidae	2	5
Hydropsychidae	6	9
Hydroptilidae	4	5
Lepidoptera	*	3
Leptoceridae	6	4
Leptophlebiidae	8	7
Limnephilidae	8	5
Nematoda	*	3
Oligochaeta	*	1
Orthoclaadiinae	4	3
Physidae	1	2
Podonominae	6	4
Simuliidae	5	3
Tabanidae	3	4
Limoniinae	*	4
Tipulidae	5	3
Platyhelminthes	*	2
Sphaeriidae	*	5
Tubificidae	*	4

*: Taxa no incluidas en el IB SIGNAL 2.

Además, siguiendo la metodología descrita por Chessman (2003), para el índice SIGNAL 2, a cada taxón se le aplicó un factor de peso (**Tabla 5**) que depende de la abundancia de este, valor que es asignado según la **Tabla 3**. El índice se calculó de la manera siguiente:

$$SIGNAL - 2PL = \frac{\sum t_i w_i}{\sum w_i}$$

donde t_i es el valor de tolerancia del taxón y w_i corresponde al factor de peso del número de individuos en el taxón.

La aplicación de los grados de calidad de aguas, derivó de la identificación de las familias encontradas en el área de estudio, las cuales se le asignaron una valor de tolerancia correspondiente al Índice SIGNAL-2PL, siendo el valor mayor obtenido para aquellas familias más sensibles y los menores para aquellas familias más tolerantes a las perturbaciones ambientales. Estos valores totales son sumados y se obtiene un valor final asociado a las cinco Clases de Calidad identificadas (**ver Tabla 3**). Estas calidades están asociadas a características ambientales las que permiten determinar si el agua es Muy buena (aguas limpias) hasta Muy mala (aguas fuertemente contaminadas), donde finalmente se les asigna un color determinado. Este color es el que se usa luego para marcar los ríos y corrientes en el mapa del área en estudio dando como resultado un mapa de calidad de aguas.

Tabla 4. Tabla de transformación a cinco clases de calidad para el índice biótico, su relación con las características ambientales y el color para su representación cartográfica (Figueroa *et al*, 2007. Modificado).

Clase	SIGNAL 2	SIGNAL-2PL	Características ambientales	Color
I	> 7	> 7	Muy Buena, no perturbado	Azul
II	6 - 7	6 - 7	Buena, moderadamente perturbado	Verde
III	5 - 6	5 - 6	Regular, perturbado	Amarillo
IV	4 - 5	4 - 5	Mala, muy perturbado	Naranja
V	< 4	< 4	Muy Mala, fuertemente perturbado	Rojo

Tabla 5. Factor de peso asignado a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos dependiendo de su abundancia, para la obtención del índice SIGNAL-2PL.

Número de individuos	Factor de peso (Figueroa, 2007, modificado)	Factor de Peso (SIGNAL-2PL)
1 - 2	1	1
3 - 5	2	2
6 - 10	3	3
11 - 20	4	4
Sobre 20	5	5

4.2.2. Taxa indicadoras

Las taxa indicadoras o bioindicadoras son aquellos organismos que ayudan a descifrar cualquier fenómeno o acontecimiento actual (o pasado) relacionado con el estudio de un ambiente, estas tienen requerimientos físicos, químicos, de estructura del hábitat y de relaciones con otras especies.

A partir del análisis de las variables ambientales que fueron estadísticamente significativas en la estructuración de la comunidad en la etapa de elección y calibración de los índices (campañas de marzo 2007 a septiembre 2008), se obtuvieron las posibles taxa indicadoras de calidad de agua del plan de uso de bioindicadores. De esta asociación entre los taxa colectados y las variables ambientales indicaron la existencia de especies específicas que se relacionaron con condiciones ambientales particulares obteniéndose ocho taxa (**Tabla 6**).

Tabla 6. Especies indicadoras y variables significativas relacionadas. De los sectores Del Estrecho y de las Tres Quebradas.

Variable Ambiental	TAXA							
	Blephaceridae	Physidae	Chironomidae	Hydropsychidae	Elmidae	Oligochaeta	Simuliidae	Podonominae
Cobre		Cobalto	Arsénico	Cobalto	Calcio	Cobre	Cobre	HCO ₃
Sulfatos			OD	N-No ₃	OD	Cobalto	Cobalto	pH
Magnesio			DBO ₅		Temperatura	Sílice	Sulfatos	
			Temperatura		Sílice	Sulfatos		
			Sulfatos		Sulfatos			

4.3 Validación estadística

4.3.1 SIGNAL-2PL

Para la validación del índice SIGNAL-2PL, se utilizaron las clases de calidad obtenidas con la aplicación de índice SIGNAL-2PL, y los valores de las variables físicas y químicas en el área de estudio, las que para efectos de comparación fueron categorizadas de acuerdo a las clases de calidad descritas en el anteproyecto de Norma Secundaria, según las equivalencias de la **Tabla 7**.

Tabla 7. Equivalencia de las clases del IB SIGNAL-2PL y guía CONAMA (2004).

Característica Ambiental	Clase SIGNAL-2PL	Clase Guía CONAMA, 2004	Color
Muy Mala	V	IV	
Mala	IV	III	
Regular	III	II	
Buena	II	I	
Muy Buena	I	De Excepción	

Para evaluar el grado de asociación entre las categorías obtenidas con el índice SIGNAL-2PL con las categorías asignadas según la calidad del agua, se utilizó un análisis de χ^2 (Sokal & Rohlf 1995). La diferencia entre los resultados observados (variables ambientales) y esperados (clase SIGNAL-2PL), nos puede afirmar si estas variables en estudio están asociadas o bien son independientes unas de las otras.

La fórmula que da el estadístico es la siguiente:

$$\chi^2 = \sum_i \frac{(\text{observado}_i - \text{esperado}_i)^2}{\text{esperado}_i}$$

4.3.2 Taxa indicadoras

Este análisis utilizó las abundancias de las taxa identificadas en el proceso de calibración del Plan de Uso de Bioindicadores y las variables ambientales significativas (**Tabla 6**), al utilizar esta correlación entre las dos variables, permitió calcular el grado de asociación entre las variables ambientales y la abundancia de los posibles taxa indicadores, mediante el cálculo del coeficiente de correlación de Spearman (r_s).

El estadístico r_s se calcula según la expresión:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum D^2}{N(N^2 - 1)}$$

donde D es la diferencia entre los correspondientes valores de $x - y$. N es el número de parejas.

5. RESULTADOS

5.1 Parámetros de calidad del agua

5.1.1 Clases de Calidad de Agua

En forma general, para el área de estudio, los parámetros físicos y químicos obtuvieron un máximo de 25% para la categoría “Buena” calidad de agua y un mínimo de 14% para “Mala”, los metales no esenciales registraron un valor máximo para “Muy buena” con un 71% y un valor mínimo de “Regular” con el 3%, los indicadores microbiológicos registraron un máximo de 39% “Regular” y un mínimo de 25% de “Buena”. Los metales esenciales y los Inorgánicos obtuvieron para el área de estudio un 100% de la clasificación correspondiente a “Muy mala” calidad de sus aguas.

En particular, los parámetros físicos-químicos mayoritariamente obtuvieron una categoría de calidad de agua de “Muy Mala” para las estaciones RP-1, RP-2, RP-3, ST-6 y T3, mientras que las estaciones RP-4, RP-5, RP-6 y R-PT1 registraron una categoría final de “Mala” calidad de agua, sin embargo se encontraron estaciones con clases de “Muy buena” correspondiendo a ST-R3, T2, T4, T5, R-TO2 y R-3Q. El resto de las estaciones se encontraron entre las clases “Regular” a “Buena” (**Tabla 8**).

Respecto a los compuestos inorgánicos, estos arrojaron una categoría ambiental final de “Muy Mala” en todas sus estaciones, igual situación ocurre con los metales esenciales, Los parámetros microbiológicos obtuvieron una “Muy buena” calidad de sus aguas en las estaciones RP-1, RP-2, RP-3, ST-6, RP-4, RP-5, RP-6, T1, ST-R3 y T3. Siete estaciones registraron calidades de “Buena” (RP-7, R-TR2, T2, T4, R-TO2, R-3Q y R-PT1), mientras que 11 estaciones registraron una calidad “Regular” de sus aguas (RP-8, R-C, R-TR1, T5, R-PT2, R-DC1, R-DC2, R-DC3, R-DC4, R-DC5 y R-H no encontrándose categorías de calidad “Malas” o “Muy malas”. Finalmente para los metales no esenciales se encontraron tres estaciones (RP-1, RP-2 y RP-3) con “Muy mala” categoría, seguido de la estación ST-6 que presentó “Mala” calidad y la estación RP-4 con calidad “Regular”, las estaciones RP-5, RP-6 y T3 presentaron una “Buena” calidad, el resto de las estaciones correspondientes a RP-7, RP-8, R-C, R-TR1, R-TR2, T1, ST-R3, T2, T4, T5, R-TO2, R-3Q, R-PT1, R-PT2, R-DC1, R-DC2, R-DC3, R-DC4, R-DC5 y R-H registraron una categoría de calidad de agua “Muy buena” (**Tabla 8**).



Tabla 8. Clases de calidad de aguas del SIGNAL-2PL, Clases de variables ambientales establecidas en guía CONAMA (2004) y categoría final obtenida de la equivalencia de estas dos variables. Marzo 2009.

Estaciones	Clase/Color SIGNAL-2PL	Clase Guía CONAMA, 2004							Categoría Final
		Físicos-Químicos							
		OD	pH	CE	STS	STD	Color aparente	DBO ₅	
RP-1	III	I	IV	I	De Excepción	I	De Excepción	De Excepción	5
RP-2	IV	I	IV	I	De Excepción	I	I	De Excepción	5
RP-3	III	II	IV	De Excepción	I	De Excepción	II	De Excepción	5
ST-6	V	De Excepción	IV	De Excepción	I	De Excepción	III	De Excepción	5
RP-4	III	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	III	De Excepción	4
RP-5	IV	De Excepción	De Excepción	De Excepción	I	De Excepción	III	De Excepción	4
RP-6	IV	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	III	De Excepción	4
RP-7	III	I	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	II	De Excepción	3
RP-8	III	I	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	II	De Excepción	3
R-C	II	I	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	II	De Excepción	3
R-TR1	III	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	II	De Excepción	3
R-TR2	IV	De Excepción	De Excepción	I	De Excepción	I	De Excepción	De Excepción	2
T1	II	I	De Excepción	De Excepción	2				
ST-R3	III	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	1
T2	III	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	1
T3	IV	De Excepción	IV	I	De Excepción	De Excepción	III	De Excepción	5
T4	III	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	1
T5	V	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	1
R-TO1		ESTACIONES NO MONITOREADAS							
R-TO2	III	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	1
Q-LO		ESTACIONES NO MONITOREADAS							
R-3Q	III	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	1
R-PT1	II	De Excepción	De Excepción	I	De Excepción	I	III	De Excepción	4
R-PT2	III	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	I	De Excepción	2
R-DC1	II	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	II	De Excepción	3
R-DC2	III	De Excepción	De Excepción	I	De Excepción	I	II	De Excepción	3
R-DC3	II	I	De Excepción	I	De Excepción	I	I	De Excepción	2
R-DC4	IV	De Excepción	De Excepción	I	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	2
R-DC5	V	De Excepción	De Excepción	I	De Excepción	I	De Excepción	De Excepción	2
R-H	IV	De Excepción	De Excepción	I	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	2

Continuación Tabla 8. Clases de calidad de aguas del SIGNAL-2PL, Clases de variables ambientales establecidas en guía CONAMA (2004) y categoría final obtenida de la equivalencia de estas dos variables. Marzo 2009.

Estaciones	Clase/Color SIGNAL-2PL	Clase Guía CONAMA, 2004				Categoría Final
		Inorgánicos				
		N-NH ₄	N-NO ₂	Cloruro	Sulfato	
RP-1	III	De Excepción	IV	De Excepción	II	5
RP-2	IV	De Excepción	IV	De Excepción	II	5
RP-3	III	De Excepción	IV	De Excepción	I	5
ST-6	V	De Excepción	IV	De Excepción	I	5
RP-4	III	De Excepción	IV	De Excepción	I	5
RP-5	IV	De Excepción	IV	De Excepción	I	5
RP-6	IV	De Excepción	IV	De Excepción	I	5
RP-7	III	De Excepción	IV	De Excepción	I	5
RP-8	III	De Excepción	IV	De Excepción	I	5
R-C	II	De Excepción	IV	De Excepción	I	5
R-TR1	III	De Excepción	IV	De Excepción	I	5
R-TR2	IV	De Excepción	IV	De Excepción	I	5
T1	II	De Excepción	IV	De Excepción	De Excepción	5
ST-R3	III	De Excepción	IV	De Excepción	De Excepción	5
T2	III	IV	IV	De Excepción	De Excepción	5
T3	IV	De Excepción	IV	De Excepción	II	5
T4	III	De Excepción	IV	De Excepción	De Excepción	5
T5	V	De Excepción	IV	De Excepción	II	5
R-TO1	ESTACIONES NO MONITOREADAS					
R-TO2	III	De Excepción	IV	De Excepción	De Excepción	5
Q-LO	ESTACIONES NO MONITOREADAS					
R-3Q	III	De Excepción	IV	De Excepción	De Excepción	5
R-PT1	II	De Excepción	IV	De Excepción	II	5
R-PT2	III	De Excepción	IV	De Excepción	I	5
R-DC1	II	De Excepción	IV	De Excepción	I	5
R-DC2	III	De Excepción	IV	De Excepción	I	5
R-DC3	II	IV	IV	De Excepción	I	5
R-DC4	IV	De Excepción	IV	De Excepción	I	5
R-DC5	V	De Excepción	IV	De Excepción	II	5
R-H	IV	De Excepción	IV	De Excepción	I	5



Continuación Tabla 8. Clases de calidad de aguas del SIGNAL-2PL, Clases de variables ambientales establecidas en guía CONAMA (2004) y categoría final obtenida de la equivalencia de estas dos variables. Marzo 2009.

Clase Guía CONAMA, 2004											
Metales esenciales											
Estaciones	Clase/Color SIGNAL-2PL	Boro	Cromo	Cobre	Hierro	Manganeso	Molibdeno	Níquel	Selenio	Zinc	Categoría Final
RP-1	III	IV	De Excepción	III	I	IV	De Excepción	I	De Excepción	IV	5
RP-2	IV	IV	De Excepción	III	I	IV	De Excepción	I	De Excepción	IV	5
RP-3	III	IV	De Excepción	II	De Excepción	IV	De Excepción	De Excepción	De Excepción	II	5
ST-6	V	IV	De Excepción	II	De Excepción	IV	De Excepción	De Excepción	De Excepción	II	5
RP-4	III	IV	De Excepción	I	De Excepción	IV	I	De Excepción	De Excepción	II	5
RP-5	IV	IV	De Excepción	I	De Excepción	IV	I	De Excepción	De Excepción	I	5
RP-6	IV	IV	De Excepción	I	De Excepción	IV	I	De Excepción	De Excepción	I	5
RP-7	III	IV	De Excepción	De Excepción	De Excepción	IV	De Excepción	De Excepción	De Excepción	I	5
RP-8	III	IV	De Excepción	De Excepción	De Excepción	IV	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	5
R-C	II	IV	De Excepción	I	De Excepción	II	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	5
R-TR1	III	IV	De Excepción	De Excepción	De Excepción	III	I	De Excepción	De Excepción	De Excepción	5
R-TR2	IV	IV	De Excepción	5							
T1	II	IV	De Excepción	5							
ST-R3	III	IV	De Excepción	5							
T2	III	IV	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	II	De Excepción	De Excepción	De Excepción	5
T3	IV	IV	De Excepción	I	De Excepción	IV	De Excepción	De Excepción	De Excepción	I	5
T4	III	IV	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	II	De Excepción	De Excepción	De Excepción	5
T5	V	IV	De Excepción	De Excepción	De Excepción	III	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	5
R-TO1	ESTACIONES NO MONITOREADAS										
R-TO2	III	IV	De Excepción	5							
Q-LO	ESTACIONES NO MONITOREADAS										
R-3Q	III	IV	De Excepción	5							
R-PT1	II	IV	De Excepción	De Excepción	De Excepción	IV	De Excepción	De Excepción	De Excepción	I	5
R-PT2	III	IV	De Excepción	De Excepción	De Excepción	IV	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	5
R-DC1	II	IV	De Excepción	De Excepción	De Excepción	II	De Excepción	De Excepción	De Excepción	De Excepción	5
R-DC2	III	IV	De Excepción	5							
R-DC3	II	IV	De Excepción	5							
R-DC4	IV	IV	De Excepción	5							
R-DC5	V	IV	De Excepción	5							
R-H	IV	IV	De Excepción	5							



Continuación Tabla 8. Clases de calidad de aguas del SIGNAL-2PL, Clases de variables ambientales establecidas en guía CONAMA (2004) y categoría final obtenida de la equivalencia de estas dos variables. Marzo 2009.

Estaciones	Clase/Color SIGNAL-2PL	Clase Guía CONAMA, 2004						
		METALES NO ESENCIALES			Categoría Final	INDICADORES MICROBIOLÓGICOS		Categoría Final
		Arsénico	Cadmio	Plomo		Coliformes Fecales	Coliformes Totales	
RP-1	III	De Excepción	IV	De Excepción	5	De Excepción	De Excepción	1
RP-2	IV	De Excepción	IV	De Excepción	5	De Excepción	De Excepción	1
RP-3	III	De Excepción	IV	De Excepción	5	De Excepción	De Excepción	1
ST-6	V	De Excepción	III	De Excepción	4	De Excepción	De Excepción	1
RP-4	III	De Excepción	II	De Excepción	3	De Excepción	De Excepción	1
RP-5	IV	De Excepción	I	De Excepción	2	De Excepción	De Excepción	1
RP-6	IV	De Excepción	I	De Excepción	2	De Excepción	De Excepción	1
RP-7	III	De Excepción	De Excepción	De Excepción	1	De Excepción	I	2
RP-8	III	De Excepción	De Excepción	De Excepción	1	I	II	3
R-C	II	De Excepción	De Excepción	De Excepción	1	De Excepción	II	3
R-TR1	III	De Excepción	De Excepción	De Excepción	1	De Excepción	II	3
R-TR2	IV	De Excepción	De Excepción	De Excepción	1	I	I	2
T1	II	De Excepción	De Excepción	De Excepción	1	De Excepción	De Excepción	1
ST-R3	III	De Excepción	De Excepción	De Excepción	1	De Excepción	De Excepción	1
T2	III	De Excepción	De Excepción	De Excepción	1	I	I	2
T3	IV	De Excepción	I	De Excepción	2	De Excepción	De Excepción	1
T4	III	De Excepción	De Excepción	De Excepción	1	I	I	2
T5	V	De Excepción	De Excepción	De Excepción	1	I	II	3
R-TO1	ESTACIONES NO MONITOREADAS							
R-TO2	III	De Excepción	De Excepción	De Excepción	1	De Excepción	I	2
Q-LO	ESTACIONES NO MONITOREADAS							
R-3Q	III	De Excepción	De Excepción	De Excepción	1	I	I	2
R-PT1	II	De Excepción	De Excepción	De Excepción	1	De Excepción	I	2
R-PT2	III	De Excepción	De Excepción	De Excepción	1	I	II	3
R-DC1	II	De Excepción	De Excepción	De Excepción	1	I	II	3
R-DC2	III	De Excepción	De Excepción	De Excepción	1	De Excepción	II	3
R-DC3	II	De Excepción	De Excepción	De Excepción	1	De Excepción	II	3
R-DC4	IV	De Excepción	De Excepción	De Excepción	1	I	II	3
R-DC5	V	De Excepción	De Excepción	De Excepción	1	De Excepción	II	3
R-H	IV	De Excepción	De Excepción	De Excepción	1	I	II	3

5.2 Variables biológicas

La identificación del zoobentos recolectado permitió reconocer un total de 31 grupos taxonómicos (**Tabla 9**). De éstas, la mayor proporción correspondió a insectos con un 68% del total, mientras que Acari, Collembola, Hemiptera, Amphipoda, Annelida, Nematoda, Nematomorpha y Turbellaria no superaron en forma individual el 3,2% del total de los taxa identificados, en cambio Coleoptera, Ephemeroptera y Odonata obtuvieron un 6,4% de representación. Dentro de los insectos los grupos más importantes correspondieron a Díptera con un total de nueve familias y Trichoptera con cinco familias. Otros grupos como Mollusca registraron tres familias identificadas.

Tabla 9. Listado taxonómico de los macroinvertebrados encontrados en los sectores Del Estrecho y De las Tres Quebradas. Marzo 2009.

Phylum/Clase	Orden	Familia	Taxa
TURBELLARIA	Tricladida	Dugesiidae	<i>Dugesia</i> sp.
ANNELIDA	Oligochaeta	Familia Indet.	Especie Indet.
NEMATODA		Nematoda	Especie Indet.
NEMATOMORFA		Gordioidae	<i>Gordius</i> sp.
MOLLUSCA	Basomatophora	Physiidae	<i>Physa</i> sp.
		Sphaeriidae	Especie Indet.
		Hydrobiidae	<i>Littoridina</i> sp.
CRUSTACEA	Amphipoda	Hyalellidae	<i>Hyalella</i> sp.
CHELICERATA	Acari	Familia Indet.	Especie indet.
INSECTA	Hemiptera	Delphacidae	Especie Indet.
	Coleoptera	Elmidae	Especie indet.
		Hydraenidae	Especie indet.
		Collembola	Collembola
	Odonata	Coenaegrionidae	Especie Indet.
		Aeschnidae	Especie indet.
	Díptera	Chironomidae	Especie indet.
		Ceratopogonidae	Especie indet.
		Ephydriidae	Especie indet.
		Tipulidae	Especie indet.
		Simuliidae	Especie indet.
		Empididae	Especie indet.
		Athericidae	Especie Indet.
		Tabanidae	Especie Indet.
		Psychodidae	Especie indet.
	Ephemeroptera	Leptophlebiidae	<i>Meridialaris laminata</i>
	Trichoptera	Baetidae	<i>Andesiops</i> sp.
		Hydrobiosidae	Especie Indet.
		Hydropsychidae	<i>Smicridea</i> sp.
		Hidroptilidae	<i>Metrichia</i> sp.
Policentropodidae		<i>Polycentropus</i> sp.	
		<i>Nectopsyche</i> sp.	

5.2.1. Aplicación Índice SIGNAL-2PL

En la parte alta de los sectores Del Estrecho-Chollay y de Las Tres Quebradas se observan calidades de agua de “Regular” a “Buena”. Estas calidades se mantienen en todo el sector del Estrecho-Chollay, ha excepción en la estación ST-6 que presenta una calidad “Muy mala”, pudiendo deberse a que este sector se encuentra intervenido y perturbado por la remoción del sustrato. Desde ST-6 aguas abajo, específicamente en las estaciones RP-4 a RP-6 existe un alto grado intervención bobina y caprina, lo que incidiría en la calidad de las aguas de “Regular” a “Mala”. Solo en las estaciones T2 y R-C presentaron calidades “Buenas” pudiéndose deber a la gran densidad de efemerópteros, tricópteros y coleópteros encontrados en estas estaciones (**Figura 2**).

El sector de Las Tres Quebradas, específicamente en el río Potrerillos se aprecia una calidad “Buena a Regular” de sus aguas, a pesar de ser un sector altamente utilizado para las veranadas, mientras que el río Del Carmen presenta un deterioro aguas abajo. Finalmente, en el sector alto del río Del Carmen (R-DC4, R-DC5 y R-H) se observan calidades de “Mala” a “Muy mala” lo que estaría influenciado por las descargas de aguas servidas y las poblaciones del lugar (**Figura 2**).

En particular, se observa que el sector Del Estrecho-Chollay las únicas estaciones donde se obtuvo una calidad “Muy Mala” fueron en ST-6 (Río Del Estrecho aguas abajo Quebrada Agua de la Falda) y T5 (Río Pachuy) esto debido a la presencia de la clase Oligochaeta y del orden Díptera con la familia Chironomidae, estas taxa son consideradas como tolerantes a la contaminación. El resto de las estaciones evaluadas (RP-1, RP-3, RP-4, RP-7, RP-8, R-TR1, ST-R3, T2 y T4) presentaron una calidad “Regular”, mientras que las estaciones RP-2, RP-5, RP-6, R-TR2 y T3 obtuvieron aguas de calidad “Mala”. En la campaña actual, las únicas estaciones que mostraron la mejor calidad de agua calificada como “Buena” se registró en el río Conay (R-C) y el río Los Barriales (T1). En las estaciones correspondientes al río Transito estas obtuvieron una calidad de sus aguas de “Regular” a “Muy Mala”.

En el sector De las Tres Quebradas, las estaciones ubicadas en la parte alta y media de la cuenca hasta la estación R-DC2, evidenciaron en su mayoría una calidad de aguas “Regular” con la excepción de las estaciones R-DC1 (río Del Carmen, aguas abajo río Potrerillos), R-PT1 (Río Potrerillos, aguas arriba de Tres Quebradas) y R-DC3 (río Del Carmen, aguas abajo del Estero La Plata) que presentaron una calidad “Buena”. Las estaciones aguas abajo de R-DC3 fueron disminuyendo su calidad de “Mala” a “Muy Mala” en las estaciones cercanas a la confluencia del río Del Carmen y río Huasco. En términos generales los resultados obtenidos para el SIGNAL-2PL en el área de estudio, evidencia calidades diferentes en las aguas de ambas cuencas, situación que da como resultado una calificación y/o característica ambiental de sus aguas de “Regular” a “Mala”.

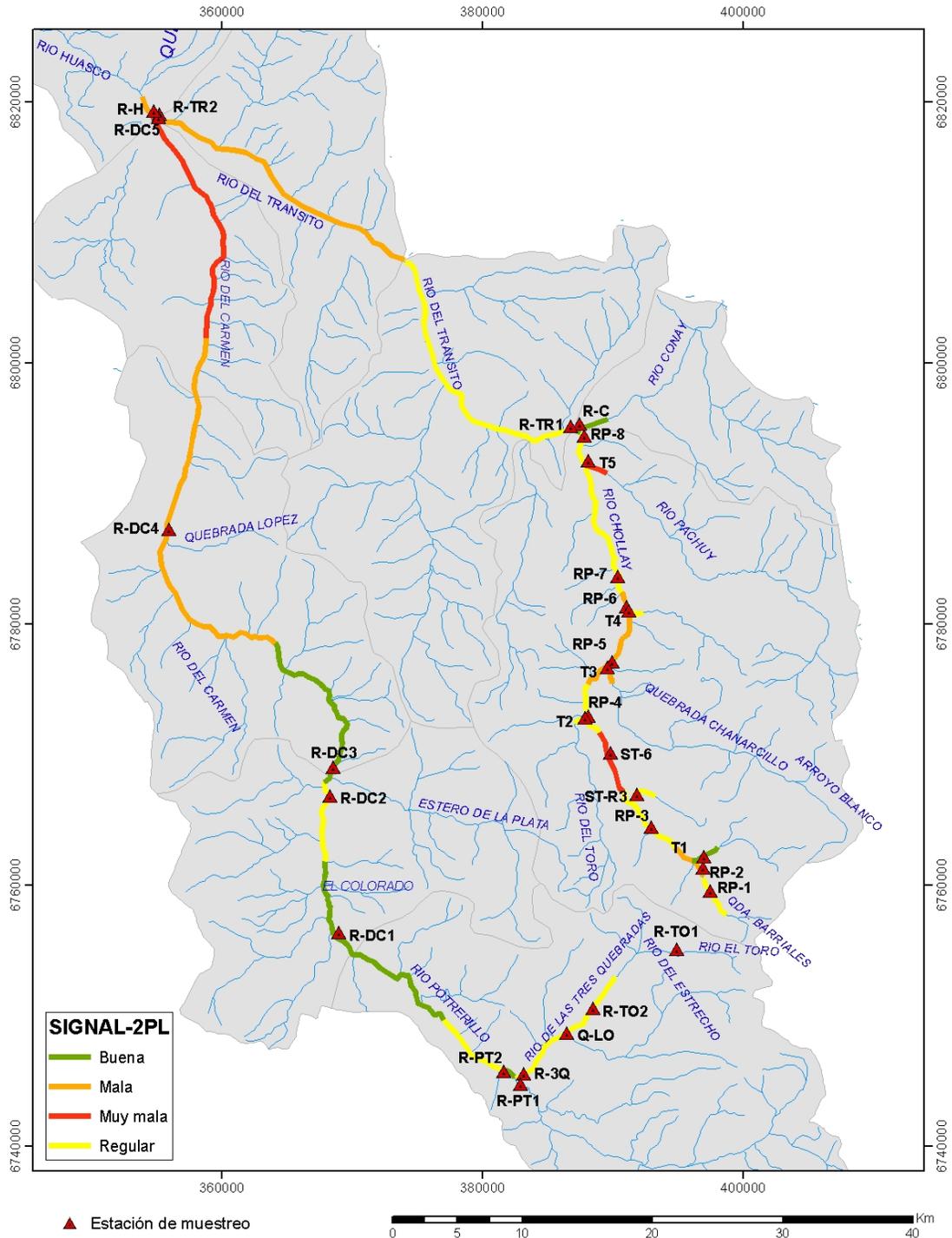


Figura 2. Mapa Bioindicación de las estaciones con los colores correspondientes a su calidad. Marzo 2009.

5.3 Validación estadística

Las categorías de calidad asignadas para los distintos tramos analizados, medidas en las clases del SIGNAL-2PL y las establecidas en la norma secundaria de calidad ambiental, se muestran en la **Tabla 8**. Se observa una estrecha relación entre las clases calculadas mediante la aplicación del índice SIGNAL-2PL y las clases de calidad ambiental calculadas para los parámetros físico y químicos ($\chi^2= 21,5$; $p= 0,76$), metales no esenciales ($\chi^2= 35,1$; $p=0,13$) y microbiológicos ($\chi^2= 24,3$; $p= 0,61$). Sin embargo, el índice SIGNAL-2PL, no mostró asociación con los parámetros inorgánicos y los metales esenciales ($\chi^2= 41,5$; $p< 0,03$).

Por otro lado, de las ocho taxa identificadas como posiblemente indicadoras de variables ambientales, que fueron determinadas en el proceso de elección y calibración del índice biótico aplicado, sólo un taxón mostró en esta campaña que podría ser considerado como especie bioindicadora, correspondiendo a la clase Oligochaeta (**Tabla 10**). El resto de las taxa como Physidae (Gastrópoda), Chironomidae (Diptera), Elmidae (Coleóptera) y Simulidae (Diptera) no presentaron asociaciones significativas. Además, tres taxa no se utilizaron correspondiendo a los dípteros (Blephacerae, y Podonominae) por no registrarse durante la campaña de marzo 2009.

Tabla 10. Correlación de Spearman (rs) v/s Variables Ambientales en el área de estudio, en rojo se muestran las asociaciones estadísticamente significativas. Marzo 2009.

Taxa/Variable ambiental	Arsénico	Calcio	Cobalto	Cobre	DBO ₅	OD	Sílice	Sulfato	T°
Physidae			-0,349						
Oligochaeta			0,272	-0,681			-0,344	-0,314	
Elmidae		0,110				0,095	-0,121	-0,079	0,019
Simulidae			0,111	-0,066					
Chironomidae	0,022				0,094	-0,051		-0,073	0,140

6. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos para la campaña de marzo 2009, correspondiente al primer monitoreo de validación del índice SIGNAL-2PL, en los ríos del Estrecho, Chollay, Conay y Del Tránsito y en los ríos Toro, De las Tres Quebradas, Potrerillos, del Carmen, incluido Huasco permitió establecer aguas de calidad “Buena” a “Muy Mala”. Según los análisis realizados se considera que las clases obtenidas mediante la utilización del índice SIGNAL-2PL representan de forma adecuada las categorías de calidad del agua establecidas en la norma secundaria de calidad ambiental, observándose asociaciones con los parámetros físicos y químicos, metales no esenciales y microbiológicos. Por lo que se considera que la utilización del índice adaptado para la cuenca es una herramienta útil para la categorización de la calidad ambiental de los segmentos bajo estudio. Sin embargo, para obtener una validación adecuada del índice es recomendable tener al menos un ciclo anual completo, de esta forma se podrán incluir en el análisis las posibles variaciones estacionales que presente la comunidad del bentos. Por otro lado, la búsqueda de taxa indicadoras ha mostrado sólo un grupo como potencial indicador (Oligochaeta), dado que presentó una correlación significativa con el cobre. Esta relación estaría reportada en la literatura por Helling y colaboradores (2000), quienes han indicado que estos organismos son sensibles a concentraciones bajas de cobre afectando su reproducción.

En lo particular, los ríos Del Estrecho-Chollay y Del Tránsito mostraron una calidad “Regular” a “Mala”, excepto en las estaciones ST-6 (río Del Estrecho aguas abajo Quebrada de la Falda) y T5 (río Pachuy) en que se obtuvo una calidad “Muy Mala”, pudiendo deberse a que este sector se encuentra intervenido y perturbado por la remoción del sustrato. Es importante resaltar que las estaciones río Conay (RC) y río Los Barriales (T1) presentaron calidad “Buena” relacionándose a la gran densidad de efemerópteros, tricópteros y coleópteros encontrados en estas estaciones, dado por la presencia de efemerópteros (*Andesiops* sp. y *Meridialaris laminata*), los que comúnmente están presentes en ríos de montaña de aguas frías, oligotróficas y bien oxigenadas.

Por otra parte, en el sector De las Tres Quebradas y Del Carmen, en su parte alta y media se obtuvo una calidad “Regular”, a pesar de ser un sector altamente utilizado para las veranadas, con la excepción de las estaciones R-DC1, R-PT1 y R-DC3 que presentaron calidad “Buena” dado principalmente por la presencia de los taxa Coleóptera (Elmidae) e Hydropsychidae (*Smicridea* sp.) considerados como indicadores de buena calidad de las aguas de los sistemas fluviales en los que se encuentran (Puig, 1999). Las estaciones ubicadas aguas abajo de R-DC3 evidenciaron calidad de sus aguas de “Mala” a “Muy Mala” lo que estaría influenciado por las descargas de aguas servidas y las poblaciones del lugar, observándose una gran dominancia del gastrópodo (*Physa* sp.), y el oligoqueto, ambos considerados muy tolerantes a todo tipo de contaminación orgánica (Puig, 1999).

Finalmente, debe tomarse en cuenta que en Chile no se han realizado a la fecha, estudios con los alcances propuestos en este estudio, que incluyen la calibración y validación de índices particulares para una cuenca. Siendo este el primer trabajo en el cual se realiza esta aproximación integradora, demostrando su utilidad como una herramienta única a nivel nacional, que además será implementado en un sector poco estudiado (zona norte). Sin embargo, sólo su aplicación sucesiva en el tiempo permitirá dar mayor precisión a la valoración ecológica del sistema acuático, dando una alerta temprana frente a posibles alteraciones de calidad del agua.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA, AWWA, WEF (2005), Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st Edition.

Arenas J.N.1995. Composición y distribución del macrozoobentos del curso principal del río Bío-bío, Chile. Medio Ambiente, 12 (2):39-50.

Bonada, 2003). Bonada, N. 2003. *Ecology of the macroinvertebrate communities in Mediterranean rivers at different scales and organization levels*. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona.

Barbour MT, Stribling J.M. & J. Karr.1995. Multimetric approach for establishing biocriteria and measuring biological condition. In: Davis W.S & T.P. Simon (eds) Biological assesment and criteria: Tools for wáter resource planning and decisión making. Lewis Publishers, USA. 63-77 pp.

Barbour MT. 1997. Trhe re-invention of biological assessment in the U.S. Humn and ecological Risk Assessment 3(6): 933-940.

Bertrand H. 1995. Les insectes aquatiques d"Europe. Encyclopédie Entomologique. Volume II: Trichoptères, Lepidoptères, Diptères, Hyménoptères. Paul Lechevalier Editeur (Paris). 543 pp.

Campos H, J Arenas, C Jara, T Gonser & R Prins. 1984. Macrozoobentos y fauna íctica de las aguas limnéticas de Chiloé y Aysén continentales (Chile). Medio Aambiente (Chile) 7(1): 52-64.

Chessman BC. 1995. Rapid assessment of rivers using macroinvertebrates: a procedure based on hábitat-especific samling, family-level identification and a biotic index. Australian Journal Ecology 20:122-129.

Chessman BC.2003. New sensitivity grades for Australian river macroinvertebrates. Marine and Freshwater Research 54:95-103.

Chutter FM. 1972. AN empirical biotic index of the quality of wáter in South African Stream and rivers. Water Reasearch 6:19-30.

Centro EULA-CHILE. 2007. Estanadarización de especies Bioindicadoras de calidad del agua en la cuanca del río Maipo. 37pp.

CONAMA (2004) Guía para el desarrollo de Normas para la protección de las aguas Continentales Superficiales. Comisión Nacional del Medio Ambiente CONAMA. Gobierno de Chile. 23pp.



CONAMA-EULA.2007. Informe Final Estandarización de Especies Bioindicadoras de Calidad del Agua en la Cuenca del Río Maipo. Comisión Nacional del Medio Ambiente. CONAMA. Gobierno de Chile. 37 pp.

Fernández, H.R. & E.Domínguez. 2001. Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos Sudamericanos. Editorial Universitaria de Tucumán, Argentina. 282 pp.

Figuroa R, E Araya & C Valdovinos. 2000. Deriva de macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad del agua de ríos del sur de Chile. Rev. Chil.Hist.Nat., Jun.2003, vol.76, no.2, p.275-285.

Figuroa R, Palma R, Ruiz V & X Niell.2007. Análisis comparativo de índices bióticos utilizados en la evaluación de la calidad de las aguas en un río mediterráneo de Chile: río Chillán, VIII Región. Revista Chilena de Historia Natural 80 (2) 225-242.

Figuroa R, Ruiz VH, Araya E, Niell X and A Palma. 2006. Invertebrates colonization patterns in a mediterranean Chilean Stream. Hidrobiología 571:409-417.

Ghetti PF. 1980. Biological Indicators of the quality of running waters. Bolletin Zoologique, 47:381-390.

Habit E, Beltran C, Arévalo S & P Victoriano.1998. Benthonic fauna of the Itata river and irrigation Canals (Chile). Irrigation Science 18 (2):91-99.

Helling B, Reinecke SA, Reinecke AJ. 2000. Efectos del fungicida oxiclورو de cobre en el crecimiento y la reproducción de *Eisenia fetida* (Oligochaeta). Ecotoxicología y Medio Ambiente ISSN 0147-6513 CODEN EESADV. Vol. 46, N°1, pp. 108-116.

Hinselhoff WL. 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. Journal of the North American Benthological Society 7:65-68.

Lemly AD &RH Hilderbrand. 2000. Influence of large woody on stream insect community and benthic detritus. Hydrobiologia, 421:179-185.

Lopreto & Tell (1995), Lopretto E.C. Y G. Tell. 1995. Ecosistemas de aguas continentales. Metodologías para su estudio. Tomo III. Ediciones Sur, República Argentina.

Lugo-Ortiz & MacCafferty (1995)

Lugo-Ortiz, C.R. & W.P. McCafferty. 1999a. Revision of South America species of Baetidae (Ephemeroptera) previously placed in *Baetis* Leach and *Pseudocloeon* Klapálik. Annals of Limnology 35: 257-262.



Lugo-Ortiz, C.R. & W.P. McCafferty. 1999b. Three new genera of small minnow mayflies (Insecta: Ephemeroptera: Baetidae) from the Andes and Patagonia. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 34: 88-104.

Merrit & Cummins (1996), Merrit R.W. Y K.W. Cummins. 1996. An introduction to the Aquatic Insect of North America. Third Edition. Kendall / Hunt Publishing Company. 862 pp

Metzelling L, F Wells & P Newell. 2002. The development and testing of biological objectives for the protection of rivers and streams in victoria, Australia. *Verhandlungen der internationale Vereinigung fur theoretische und angewandte. Limnologie (Germany)* 28:106-111.

Peña, D. Romo, J - Introducción a la Estadística para las Ciencias Sociales. Mc Graw Hill 1997.

Plafkin JL, KD Barbour, SK Poter, P Gross & RM Hughes. 1989. Rapid Bioassessment Protocols for use in stream and rivers. Benthic macroinvertebrates and Fish. EPA/444/4-89/0001. Office of wáter regulations and estándar, United States Environmental Protection Agency, Washinton, DC. EEUU.196 pp.

Puig, M^a .1999. Els macroinvertebrats dels rius catalans, guis il·lustrada.Generalitat de Catalunya Departament de Medi Ambient.Primera edició.251pp.

Resh VH, R Norris & MT Barbour. 1995. Design and implementtion of rapid assessment for wáter resource monitoring using benthic macroinvertebrates. *Australian Journal of Ecology* 20:108-121.

Resh VM, MM Myers & MJ Hannford.1996. Macroinvertebrates as biotic indicators of enviromental quality. In: Hauer Fr & GA Lamberty (Eds) *Methods in Stream Ecology*. Academic Press, San Diego, California, USA. 674 pp.

Roldan GA.2003.Bioindicación de la Calidad del agua en Colombia. Uso del método BMWP/Col. Editorial universidad de Antioquia.170 pp.

Schofield NJ & PE Davis. 1996. Measuring the helth of rivers. *Water (Australia)* 23:39-43.

Simon T.2000. The use of biological criteria as a tool for wáter resource management. *Environmental Science & Policy* 3:43-49.

Sokal, R. R. and F. J. Rohlf. 1995. *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. 3rd edition. W. H. Freeman and Co.: New York. 887 pp. ISBN: 0-7167-2411-1.

Tiller D & L Metzeling 2002. Australia-Wide assessment of river health: Victorian Ausrivas sampling and processing manual. Monitoring river helth. Initiative Technical report no 15,



Commonwealth of Australia and VIC Environmental Protection Authority, Canberra and Melbourne. Australia. 20 pp.

Verdonschot PF.2000. Integrated ecological assessment methods as a basis for sustainable catchment management. *Hydrobiologia*. 422/423:389-412.

Woodiwis FS. 1978. Biological water assessment methods. Severn Trent River Authorities, U.K.

Wright JF, D Moss, PD Armitage & MT Furse. 1984. A preliminary classification of running water sites in Great Britain based on macroinvertebrate species and the prediction of community type using environmental data. *Freshwater Biology* 14:221-256.

Wright JF, DW Sutcliffe & MT Furse. 2000. Assessing the biological quality of fresh waters: RIVPACS and other techniques. Ambleside: Freshwater Biological Association. Cumbria, England.23 pp.