



VERSIÓN 1.0

NOV 2022



INFORME DE RESULTADOS

MONITOREO DE LA CALIDAD DEL HUMEDAL Y DESEMBOCADURA DEL RIO ELQUI EN BASE A ÍNDICES BIÓTICOS DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS

CAMPAÑA DE MUESTREO INVIERNO 2022

PRESENTADOR:
EVELYN ÁLVAREZ, ING. AGRÓNOMA
JEAN-FRANÇOIS CASALE, BIÓLOGO





TABLA DE CONTENIDO

I.	CONTEXTO.....	2
II.	OBJETIVOS.....	3
a.	Objetivo General	3
b.	Objetivos Específicos.....	3
III.	METODOLOGÍAS DE TRABAJO.....	4
V.	RESULTADOS.....	11
VI.	BIBLIOGRAFIA.....	1





ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Sitios de muestreo para el monitoreo en base a macroinvertebrados para la campaña de invierno 2022	4
Figura N° 2: Imagenes referenciales del muestreo de macroinvertebrados bentónicos. Iq: red de muestreo (kicknet), centro: patrón de muestreo en zigzag y persona realizando muestreo, der: envasado de la muestra.	6
Figura N° 3: Distribución de los parámetros comunitarios (Riqueza, Diversidad de Shannon y Dominancia de Simpson respectivamente) e índices bióticos correlacionados significativamente entre sí (nivel de confianza de 95%)	14
Figura N° 4: Distribución del índice ChBMWP en la cuenca del río Elqui, primavera 2022	15
Figura N° 5: Distribución del índice ChIBF en la cuenca del río Elqui, primavera 2022.	16

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Métricas de diversidad de macroinvertebrados bentónicos calculados para los sitios de monitoreo priorizados de restauración de las subcuencas del río Elqui (Tabilo et al. 2021).....	8
Tabla 2: Valores de tolerancia de familias de macroinvertebrados bentónicos adaptados a la cuenca del río Elqui para cálculos de los índices ChIBF y ChBMWP (Armitage 1983, Figueroa et al. 2007, Alvial et al. 2012).....	9
Tabla 3: Pauta de interpretación cualitativa de los valores de los índices bióticos ChBMWP y ChIBF. Elaboración propia en base a Figueroa et al. 2021 y Alvial et al. 2013.	10
Tabla 4: Abundancia extrapolada (N° de individuos) para los taxa de macroinvertebrados bentónicos encontrados en los sitios de muestreo del río Elqui. Temporada invierno 2022.	12
Tabla 5: Parámetros comunitarios obtenidos para los sitios de muestreo del río Elqui, índices bióticos de calidad de agua (ChBMWP, ChIBF, ChASPT, Índice de Diptera, ETP), diversidad de Shannon (H'), dominancia de Simpson (D), riqueza (S) y abundancia (N).	13
Tabla 6: Correlaciones de Pearson obtenidas entre los índices bióticos y de diversidad. Significancia *($p \leq 0.05$) **($p \leq 0.01$) ***($p \leq 0.001$).	13



SIGLAS Y DEFINICIONES

Para la correcta interpretación de la presente propuesta, los términos y siglas que a continuación se señalan, tendrán el significado que se indica.

HDRE: Humedal y Desembocadura del Rio Elqui

OD: Oxígeno Disuelto

ORP: Potencial de Oxidación Reducción

SIG: Sistema de Información Geográfica

TDS: Totales de Solidos Disueltos

LEGISLACIÓN Y NORMAS APLICABLES



I. CONTEXTO

El presente trabajo se enmarca en el contexto del proyecto GEF Humedales costeros, y sus ecosistemas pilotos de gestión sustentable de humedales. Mas particularmente, en el humedal piloto del Humedal y Desembocadura del Río Elqui (HDRE), comuna de la Serena, Región de Coquimbo. Materializa los esfuerzos para monitorear la salud del ecosistema, a través de la ejecución de la campaña de muestreo de macroinvertebrados bentónicos, periodo invierno del año 2022





II. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

El objetivo principal de este trabajo es **monitorear la calidad ambiental del Humedal y Desembocadura del Rio Elqui (HDRE) en base a índices bióticos de macroinvertebrados bentónicos.**

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Realizar un **muestreo estacional invernal de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos.**
- 2) Determinar la **diversidad taxonómica a nivel de familia y la abundancia de individuos en cada sitio de muestreo**
- 2) Calcular **Índices bióticos como insumo para estimar la salud del HDRE.**



III. METODOLOGÍAS DE TRABAJO

Sitios de muestreo para el monitoreo

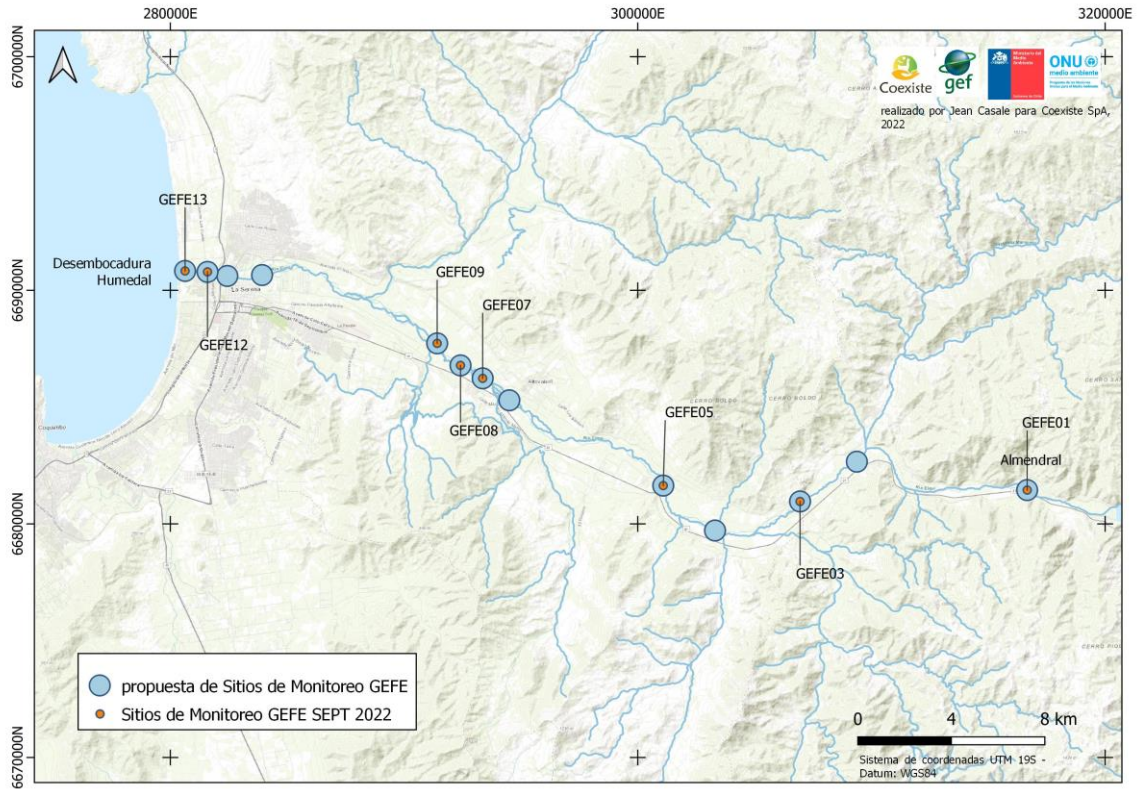


FIGURA N° 1: SITIOS DE MUESTREO PARA EL MONITOREO EN BASE A MACROINVERTEBRADOS PARA LA CAMPAÑA DE INVIERNO 2022

La campaña de muestreo se realizó durante el día 01 de septiembre, representativa de condiciones de fines de invierno.

El protocolo de muestreo general adaptado al contexto biogeográfico e hidrológico de las cuencas semiáridas de Chile según las recomendaciones de Gouin *et al.* (2016) para aplicar los estándares desarrollados por el *Canadian Aquatic Biomonitoring Network – CABIN* (Environment Canada. Science and Technology Branch 2012 & 2014). Se describe a continuación los detalles metodológicos:



Selección del área de muestreo en cada sitio

Para una mayor representatividad en términos de hábitat acuático y vegetación de la ribera, el área de monitoreo fue definida como aproximadamente 6 veces el ancho lleno del cauce (Nivel de inundación anual, definido por el ancho del río). Esta longitud de área de muestreo debe representar, en condiciones naturales, una secuencia que abarca tanto zonas de depósito (piscinas) como zonas de erosión (rápidos) (Newberry & Gaboury, 1993), y por lo tanto abarcar la diversidad de hábitats acuáticos presentes en el sitio considerado. Además, para la selección del área de monitoreo se consideraron además criterios de representatividad de los sustratos, vegetación de la ribera, tipo de flujo y facilidad de acceso para poder repetir las mediciones en el tiempo.

Muestreo de macroinvertebrados

El Muestreo fue realizado siguiendo el método “traveling kick net” estandarizado por el esfuerzo de muestreo (tiempo). Este método consistió en recorrer el área de muestreo definida de un lado a otro, avanzando hacia aguas arriba en zigzag, durante 5 minutos. La colecta de los macroinvertebrados se realizó por este recorrido, arrastrando sobre el sustrato una red de estructura triangular de 30 cm, con un mango extensible a 1,20 cm, malla de 400 μm de espesor y largo de 60 cm finalizando en un copo de captación de 125 cc. La estandarización a nivel de esfuerzo resulta importante para comparar sitios que varían en el tamaño de los ríos. Mientras que el patrón en Zigzag permite incorporar macroinvertebrados bentónicos de diversos microhábitat ubicados dentro de la zona de erosión (por ejemplo, áreas alrededor de grandes rocas, rápidos, escorrentías, acantilados) en proporción a su ocurrencia a lo largo del área de muestreo, como también hábitat de las orillas asociados a macrófitas acuáticas.

Una vez colectada, cada muestra fue cuidadosamente extraída de la red mediante lavado encima de un tamiz de 400 μm . Posteriormente, se envasó en frascos de 700cc y se conservaron en alcohol a 95%, sin separación ni descarte de elementos de la matriz de sustratos, salvo en el caso de la presencia de materiales demasiado voluminosos o en exceso como gravas, piedras o ramas. En el caso de descartar algún material o elemento, se procuró, antes de desecharlo, limpiarlo encima del tamiz. Cada frasco fue rotulado por dentro y por fuera, anotando su código, la fecha de colecta, y el nombre del sitio. Posteriormente, en el laboratorio se revisó la integridad de las muestras y se realizó un cambio del alcohol con el fin de evitar algún proceso de descomposición de la muestra por posibles diluciones del conservante.



FIGURA N° 2: IMÁGENES REFERENCIALES DEL MUESTREO DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS. IQ: RED DE MUESTREO (KICKNET), CENTRO: PATRÓN DE MUESTREO EN ZIGZAG Y PERSONA REALIZANDO MUESTREO, DER: ENVASADO DE LA MUESTRA.

Análisis de muestras y determinación taxonómica de macroinvertebrados

Considerando el objetivo de monitoreo y rápida evaluación de las condiciones del río usando los macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores, se sugiere procesar en base a una sub-muestra representativa para cada sitio. La selección/separación de la sub-muestra requiere sin embargo de un proceso previo de limpieza y clasificación de los organismos (ver detalles en CEAZA 2017 y CABIN 2014).

Preparación de la muestra en laboratorio:

Contempló las etapas de lavado, tamizaje y elutriación (separación de la fracción orgánica de la muestra por centrifugación manual) previas al sub-muestreo y sorteo/clasificación, con objeto de limpiar la muestra de su agente preservante, separarla de los sedimentos finos y materiales inorgánicos de la matriz que pudieran dificultar la etapa de clasificación (Moulton et al., 2000).

Sub-muestreo: se refiere al fraccionamiento de una muestra para alcanzar un recuento fijo deseado que sea representativo de toda la muestra. Se recomienda evaluar previamente la necesidad de sub-muestreo y el

Informe de Monitoreo de calidad del HDRE en base a Índices bióticos de Macroinvertebrados– Campaña Invierno 2022
método más adecuado de submuestreo colocando la muestra en un recipiente poco profundo (bandeja) con 1-2 cm de agua.



Para el caso de muestras con abundancia de algas o musgos, se llevó a cabo el protocolo de sub-muestreo y clasificación por peso. Una vez drenada y pesada, se dividió la muestra principal en porciones de peso iguales, se procesa cada fracción de peso de manera aleatoria hasta llegar a un umbral de 300 individuos contados.

Para muestras donde el sustrato predominante es arena y restos gruesos de materia orgánica, se procedió al submuestreo aleatoria en fracciones de volumen (celdas), también hasta el umbral de 300 individuos y un mínimo de 5 sub-muestras (celdas). Si es necesario procesar más del 50% de la muestra para obtener los 300 individuos, toda la muestra debe ser procesada. En ambos métodos, una vez alcanzado el umbral, se extrapolan las abundancias totales por taxón en función del porcentaje de muestra tratado. Es importante señalar que, debido a las muy altas abundancias de ciertos grupos taxonómicos cuando están presentes en las comunidades bentónicas, para evitar bias en los conteos, se excluyen del conteo individual los siguientes grupos de organismos: Ostracoda, Porifera, Copepoda, Nematoda, Nematophora, Nemertea, Platyhelminthes y taxa no acuáticos, todos aquellos no considerados en las metodologías de bioindicadores en base a macroinvertebrados consideradas (.

Clasificación taxonómica: Se refiere a la extracción de los macroinvertebrados bentónicos de la matriz de la muestra y su posterior ordenación/agrupación según grupos taxonómicos. Para efecto del monitoreo y evaluación rápida en base a índices bióticos, la resolución taxonómica de determinación es a nivel de Familia. Dicha clasificación taxonómica sigue principalmente las nomenclaturas y claves de Tachet *et al.* (2003) y Domínguez & Fernández (2009). Las Matrices de abundancia de taxa se encuentran en Anexo 2.



Índices bióticos

Para mantener consistencia y comparabilidad con monitoreos anteriores en la Cuenca del Río Elqui, se calcularon los índices y métricas descritos en Alvia *et al.* (2012) así como los preconizados por CENMA (2017), y luego propuestos en el estudio para establecer el programa de monitoreo (Tabilo *et al.* 2022). A saber, los principales índices de diversidad se presentan en la Tabla 1.

TABLA 1: MÉTRICAS DE DIVERSIDAD DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS CALCULADOS PARA LOS SITIOS DE MONITOREO PRIORIZADOS DE RESTAURACIÓN DE LAS SUBCUENCAS DEL RÍO ELQUI (TABILO ET AL. 2021)

Índice/métrica	ID
Riqueza	S
Abundancia total extrapolada	N
Shannon-Wiener	H'
Simpson	simp
Índice de Equidad de Pielou	J
Índice de Margalef	M

ChBMWP

Este indicador opera en base a Valores de tolerancia determinados a nivel taxonómico de Familia por expertos y adaptado para Chile en varios estudios de casos (Armitage 1983, Figueroa *et al.* 2007, Alvia *et al.* 2012 – ver Tabla 2). Estos valores reflejan la tolerancia a contaminación de un taxón dado. De esta forma, Familias intolerantes tienen valores altos mientras que las familias tolerantes tienen valores bajos.

El puntaje por un sitio (ChBMWP), es decir el valor del índice, se obtiene sumando los puntajes individuales de los taxa presente en dicho sitio.

El puntaje promedio por taxón (ChASPT) se calcula dividiendo el puntaje por el número total de taxa con puntaje individual en el sitio (N-Taxa). Valores altos de este puntaje caracterizan sitios poco contaminados mientras que valores bajos reflejan sitios potencialmente contaminados.

ChIBF

Este índice se basa en la propuesta del índice Biológico de Familia de Hilsenoff (1988), considerando valores de tolerancia en función de la respuesta a contaminación orgánica de los taxa (ver Tabla 2). Fue adaptado para Chile por Figueroa *et al.* (2003) y modificado para la cuenca del Río Elqui por Alvia *et al.* (2013).

Este índice requiere cuantificar la abundancia total de individuos en una muestra / sitio (N), la abundancia de individuos a nivel de familia (n_i), y asignar un valor de tolerancia para cada familia (t_i). Se calcula de la siguiente manera:

$$ChIBF = \frac{\sum n_i t_i}{N} \quad (\text{Ec.1})$$



Valores de tolerancia a nivel de familia para calcular los Índices ChIBF y ChBMWP

TABLA 2: VALORES DE TOLERANCIA DE FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS ADAPTADOS A LA CUENCIA DEL RÍO ELQUI PARA CÁLCULOS DE LOS ÍNDICES CHIBF Y ChBMWP (ARMITAGE 1983, FIGUEROA ET AL. 2007, ALVIAL ET AL. 2012)

Familia	ChIBF	ChBMWP	Familia	ChIBF	ChBMWP
<i>Haplotaixidae</i>	8	NA	<i>Caenidae</i>	7	4
<i>Naididae</i>	8	NA	<i>Leptophlebiidae</i>	2	9
<i>Enchytraeidae</i>	8	NA	<i>Collembola</i>	5	SI
<i>Lumbriculiidae</i>	8	NA	<i>Belostomatidae</i>	6	4
<i>Glossiphoniidae</i>	10	3	<i>Corixidae</i>	7	3
<i>Hygrobatidae</i>	4	4	<i>Pyrallidae</i>	5	SI
<i>Limnesidae</i>	4	4	<i>Tortricidae</i>	6	SI
<i>Sperchontidae</i>	4	4	<i>Corydalidae</i>	0	5
<i>Crotoniidae</i>	4	4	<i>Aeshnidae</i>	3	6
<i>Curculionidae</i>	5	4	<i>Coenagrionidae</i>	9	7
<i>Dytiscidae</i>	7	3	<i>Gomphidae</i>	1	7
<i>Elmidae</i>	4	6	<i>Libellulidae</i>	9	8
<i>Gyrinidae</i>	7	5	<i>Gripopterygidae</i>	1	7
<i>Hydrophilidae</i>	7	3	<i>Notonemouridae</i>	0	10
<i>Scirtidae</i>	7	5	<i>Glossosomatidae</i>	0	9
<i>Staphylinidae</i>	3		<i>Helicophidae</i>	6	10
<i>Athericidae</i>	2	9	<i>Hydroptilidae</i>	4	6
<i>Blephariceridae</i>	0	10	<i>Hydrobiosidae</i>	0	7
<i>Ceratopogonidae</i>	6	6	<i>Hydropsychidae</i>	4	5
<i>Chironomidae</i>	7	2	<i>Leptoceridae</i>	4	7
<i>Dixidae</i>	6	9	<i>Polycentropodidae</i>	3	2
<i>Dolichopodidae</i>	4	SI	<i>Sericostomatidae</i>	3	10
<i>Empididae</i>	6	4	<i>Hyaellidae</i>	4	6
<i>Ephydriidae</i>	6	2	<i>Aeglidae</i>	6	6
<i>Limoniidae</i>	6	4	<i>Palaemonidae</i>	7	SI
<i>Muscidae</i>	8	SI	<i>Sphaeriidae</i>	8	3
<i>Psychodidae</i>	10	4	<i>Ancyclidae</i>	4	6
<i>Simuliidae</i>	6	5	<i>Hydrobiidae</i>	7	3
<i>Stratiomyidae</i>	6	4	<i>Physidae</i>	8	3
<i>Tabanidae</i>	4	4	<i>Acari</i>	4	4
<i>Tanyderidae</i>	6	SI	<i>Oligochaeta</i>	8	1
<i>Tipulidae</i>	3	5	<i>Hirudinea</i>	10	3
<i>Baetidae</i>	4	5			

NA: No Aplica; SI: Sin Información



Interpretación de los Índices bióticos en base a macroinvertebrados bentónicos

TABLA 3: PAUTA DE INTERPRETACIÓN CUALITATIVA DE LOS VALORES DE LOS ÍNDICES BIÓTICOS ChBMWP Y ChIBF. ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A FIGUEROA ET AL. 2021 Y ALVIAL ET AL. 2013.

Clase	ChBMWP	ChSIGNAL	ChIBF	Interpretación cualitativa
I	>100	>7	0.0–3.8	No perturbado
II	61–100	6-7	3.8–4.6	Moderadamente perturbado
III	36–60	5-6	4.6–6.1	Perturbado
IV	16–35	4-5	6.1–7.3	Muy perturbado
V	<15	<4	7.3–10.0	Fuertemente perturbado

De manera complementaria, se determinaron también índices asociados a ciertas familias de macroinvertebrados (Arango *et al.* 2008), como ETP el cual se calculó dividiendo el número de individuos de los órdenes Ephemeroptera, Trichoptera y Plecoptera por el número total de individuos colectados; los valores más altos significan aguas más oxigenadas y limpias. También el índice de dípteros se calculó dividiendo el número de individuos del orden Diptera por el número total de individuos colectados; los valores más altos determinan el enriquecimiento del agua con materia orgánica.

Los resultados de la distribución espacial de los parámetros comunitarios fueron representados a través de mapas de burbujas. Se realizó un análisis exploratorio de modo de establecer las mejores correlaciones (Pearson) entre los parámetros de diversidad y los índices bióticos. Con el fin de evaluar la significancia entre las correlaciones se llevó a cabo una prueba de asociación entre muestras de pares, con un nivel de confianza del 95%. Cabe destacar que para un mejor análisis exploratorio se sacaron los datos del sitio GEFE 13, producto de los efectos desproporcionados en los análisis, debido a una baja abundancia proveniente de una sola taxa. Los análisis se realizaron en el programa estadístico R (R Development Core Team 2017), utilizando los paquetes “vegan”, “cocorresp”, “spacemaker”.



V. RESULTADOS

Composición de las comunidades de macroinvertebrados

EN LAS 8 ESTACIONES DE MUESTREO UBICADAS A LO LARGO DEL RÍO ELQUI, COMO SE PUEDE OBSERVAR EN LA

Tabla 4 se identificaron un total de 30 taxas, de las cuales 26 de ellas fueron determinadas a nivel de familia y 4 a nivel de clase u orden, analizándose indistintamente como entidades individuales. Los órdenes más diversos fueron Díptera con 7 familias (23%), seguido con menor presencia Trichoptera, Odonata, Basommatophora, Trombidiformes, Oribatida, todos ellos con sólo 2 familias cada una (6,5%) pero en conjunto conforman un 57% del total de las taxa encontradas.

La familia de macroinvertebrados con mayor abundancia fue los Chironomidae, encontrándose en 7 de los 8 sitios estudiados, siendo dominante en los sitios GEFE 03, GEFE 05, GEFE 07, GEFE 08 y GEFE 09. Les siguen, pero en menor medida las familias Hydropsychidae, Ostracoda e Hydrobiidae, encontrándose entre 4 a 5 de los sitios, sin embargo, esta mayor abundancia es debido a la dominancia que presentan en sólo 1 de los sitios (Hydropsychidae GEFE 01, Ostracoda GEFE 08 y Hydrobiidae GEFE 12).

En relación a los parámetros comunitarios obtenidos en los sitios de muestreo del río Elqui (Tabla 5) se desprende que el sitio GEFE 03 (sector Pelicana) se encuentra en mejores condiciones en término de riqueza, diversidad (H'), dominancia (D), siendo su abundancia la tercera más alta. Le sigue los sitios GEFE 08 y GEFE 01, mientras que los sitios restantes presentan valores menores en relación a estos parámetros, en especial los sitios GEFE 09 y GEFE 13, siendo este último con las peores condiciones encontrándose sólo una taxa "Arachnida" con una abundancia de 11 individuos.

Las relaciones entre estos parámetros resultaron positivas y significativas (Tabla 6), con patrones de distribución similares (Figura N° 3) que reflejan las mejores o peores condiciones ecológicas de acuerdo a los valores obtenidos siendo estos altos o más bajos respectivamente. Al considerar el rango de variación estimado por Margalef (1972) para el índice de diversidad de Shannon que es de 1 a 5, donde interpreta a valores menores de 2 como diversidad baja, de 2 a 3.5 media y superiores a 3.5 como diversidad alta; Se desprende que en los sitios analizados el rango de diversidad resultó entre 2,26 a 0, es decir entre media a muy baja. Relacionado a lo anterior, en la mayor parte de los sitios existe una alta dominancia de la familia Chironomidae, como también de las familias Hydropsychidae (GEFE01), Hydrobiidae (GEFE12) y la clase Ostracoda (GEFE08), afectando así la diversidad de macroinvertebrados a lo largo del área de estudio.



TABLA 4: ABUNDANCIA EXTRAPOLADA (N° DE INDIVIDUOS) PARA LOS TAXA DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS ENCONTRADOS EN LOS SITIOS DE MUESTREO DEL RIO ELQUI. TEMPORADA INVIERNO 2022.

Phylum	Clase	Orden	Familia/Sitios	GEFE 01	GEFE 03	GEFE 05	GEFE 07	GEFE 08	GEFE 09	GEFE 12	GEFE 13		
Annelida	Clitellata	Enchytraeida	Enchytraeidae	42	294	4	68	318	6				
		Haplotaxida	Naididae		102					108			
		Lumbriculida	Lumbriculidae.		6								
	Arachnida	Trombidiformes	Hygrobatidae		36				90				
			Sperchontidae.		6	2	4						
		Oribatida	Hermannioidae.	18	42	12	68	72	12	42			
		Orden Indt.	Fammilia Indt.									11	
	Artrópoda	Copepoda				12		24	402	3			
			Insecta										
		Insecta	Coleoptera	Elmidae	60	72		8					
Diptera			Ceratopogonidae				4	24	54				
			sp.										
			Chironominae spp.		516	930	526	1016	2100	888	570		
			Empididae			6	10	4					
			Ephyridae				2		18	3			
			Simuliidae		72	6	92	32	66	9			
			Stratiomyidae						6			6	
			Tipulidae.		678	12	10	16		6			
			Ephemeroptera	Baetidae	168	210	30	12	294	3		120	
			Hemiptera	Belostomatidae									6
Odonata				Aeshnidae	12	12			6			12	
Trichoptera			Coenagrionidae				36						
			Hydroptilidae		240	84	12	56	204	6		66	
			Hydrobiosidae		12	6	4						
	Hydropsychidae		1626	72		4	12						
	Hyaellidae			252	4	8	72						
Mollusca	Malacostraca	Amphipoda											
	Ostracoda				54	36	188	1152	15				
	Bivalvia	Sphaeriida	Sphaeriidae	6	6	2							
	Gastropoda	Basommatophora	Hydrobiidae		108		88	24		1170			
Platyhelminthes	Tubellaria	Tricladida	Physidae	6	300	40	20	360		72			
			Dugesidae	6				12		6			
Nematomorpha					876	88	200	2106	66	18			



TABLA 5: PARÁMETROS COMUNITARIOS OBTENIDOS PARA LOS SITIOS DE MUESTREO DEL RÍO ELQUI, ÍNDICES BIÓTICOS DE CALIDAD DE AGUA (ChBMWP, ChIBF, ChASPT, INDICE DE DIPTERA, ETP), DIVERSIDAD DE SHANNON (H'), DOMINANCIA DE SIMPSON (D), RIQUEZA (S) Y ABUNDANCIA (N).

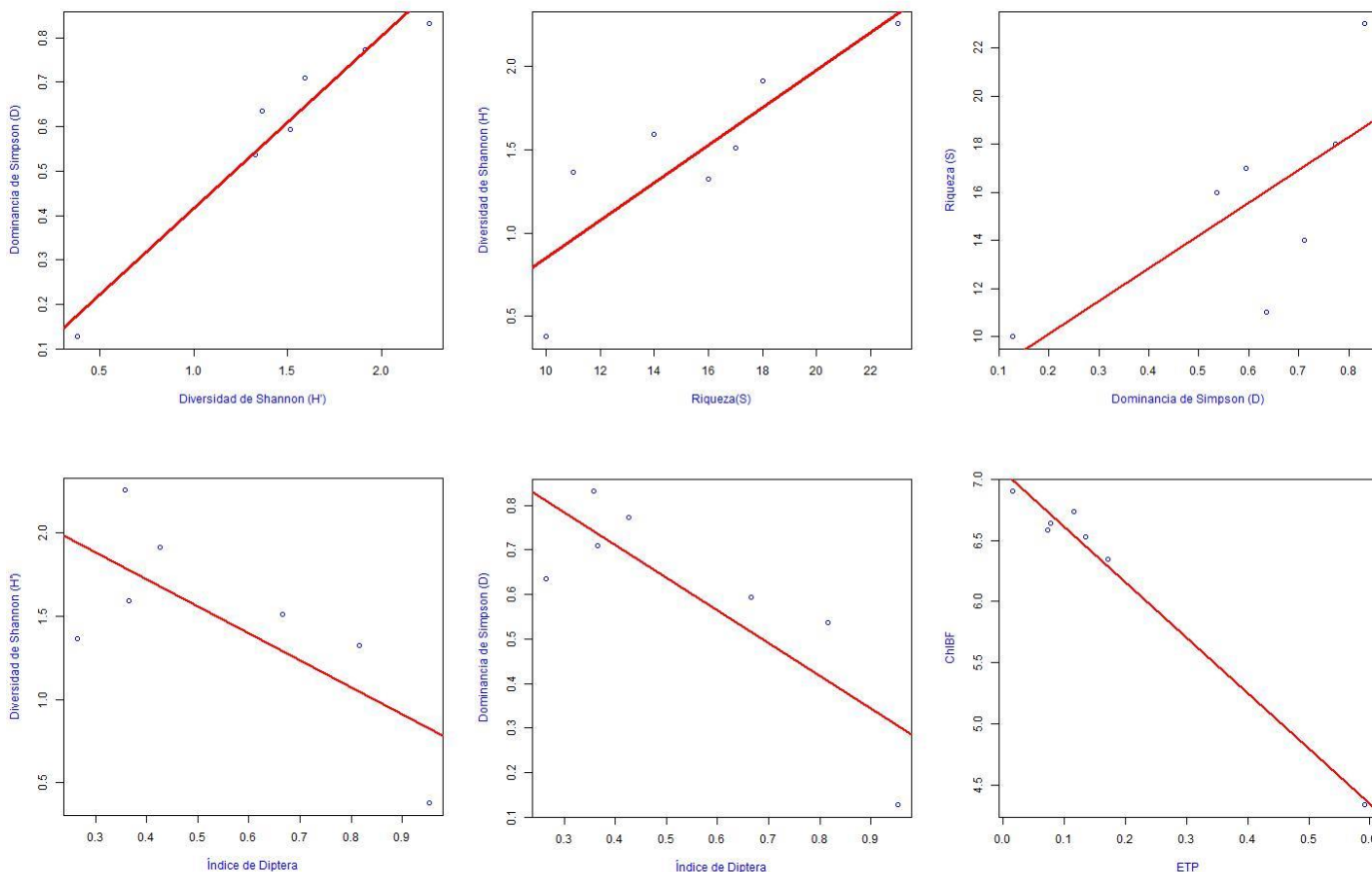
Sitios	ChBMWP	ChIBF	ChSIGNAL	S	N	H'	D	Indice de Diptera	ETP
GEFE 01	63	4.34	5.14	14	3462	1.59	3.46	0.37	0.59
GEFE 03	88	6.35	4.62	23	2664	2.26	5.93	0.36	0.17
GEFE 05	63	6.59	4.40	16	790	1.33	2.16	0.82	0.07
GEFE 07	65	6.64	4.73	17	1640	1.51	2.47	0.67	0.08
GEFE 08	67	6.53	4.19	18	5262	1.91	4.41	0.43	0.14
GEFE 09	30	6.90	3.75	10	951	0.38	1.15	0.95	0.02
GEFE 12	43	6.73	3.91	11	2178	1.37	2.74	0.26	0.12
GEFE 13	4	4.00	4.00	1	11	0	1.00	0.00	0.00

Correlaciones entre los parámetros medidos

TABLA 6: CORRELACIONES DE PEARSON OBTENIDAS ENTRE LOS ÍNDICES BIÓTICOS Y DE DIVERSIDAD. SIGNIFICANCIA *($p \leq 0.05$) **($p \leq 0.01$) *($p \leq 0.001$).**

	ChBMWP	ChIBF	ChSIGNAL	S	N	H'	D	Indice de Dipt.	ETP
ChBMWP	1.00								
ChIBF	-0.26	1.00							
ChSIGNAL	0.67	-0.77*	1.00						
S	0.96***	-0.03	0.49	1.00					
N	0.40	-0.38	0.23	0.35	1.00				
H'	0.92**	-0.27	0.55	0.85*	0.62	1.00			
D	0.84*	-0.25	0.40	0.83*	0.66	0.92*	1.0		
Indice.de.Dipt	-0.43	0.40	-0.31	-0.30	-0.66	-0.73	-	1.00	
ETP	0.27	-0.99***	0.74*	0.04	0.45	0.33	0.3	-0.52	1.0

Los análisis de correlaciones realizados entre los índices bióticos y los descriptores de diversidad se presentan en la Tabla 4, de la cual se desprende que existe una correlación entre los índices ChBMWP y ChSIGNAL ($r = 0,67$), como también entre ChIBF y ChSIGNAL ($r = -0,77$) siendo esta correlación negativa debido a que mayores valores del ChIBF indican una peor condición biológica. El índice ChBMWP mostró correlaciones altamente significativas con las variables de diversidad como riqueza (s), Shannon (H') y Simpson (D) ($r = 0,96$, $r = 0,92$, $r = 0,83$ respectivamente), mientras que los índices ChIBF y ChSIGNAL se correlacionaron negativa y significativamente con el ETP ($r = -0,99$, $r = -0,74$, respectivamente) siendo este indicador de aguas limpias bien oxigenadas.



Índices bióticos de calidad de agua

Los resultados obtenidos para los índices de diversidad se muestran en la Tabla 5 y las Figura N° 4 y Figura N° 5, donde se visualiza una tendencia espacial a la disminución de la calidad de agua en sentido del curso del río. El índice ChBMWP indica perturbación moderada a severa (Figura N° 4), con clasificación de calidad de agua que va desde buena en la parte alta y media del área de estudio, y el empeoramiento en la parte inferior en los sectores influenciados por de la ciudad de La Serena. Por otro lado, los índices ChIBF y ChSIGNAL mostraron peores clases de calidad de agua que el índice anterior, escaseando la clasificación de buena calidad biológica para la parte superior y media del área de estudio, exceptuando el sitio GEFE01 que mostró buena calidad con el índice ChIBF y regular con el índice ChSIGNAL, cabe destacar que fue seleccionada a priori como estación de referencia. Por su parte, el índice ChIBF muestra un sistema fluvial de calidad de agua prácticamente malo, a excepción de la estación de referencia (GEFE01) que presenta una calidad buena, similar resulta el índice ChSIGNAL pero con la diferencia que la parte inferior se clasifica como muy mala calidad.

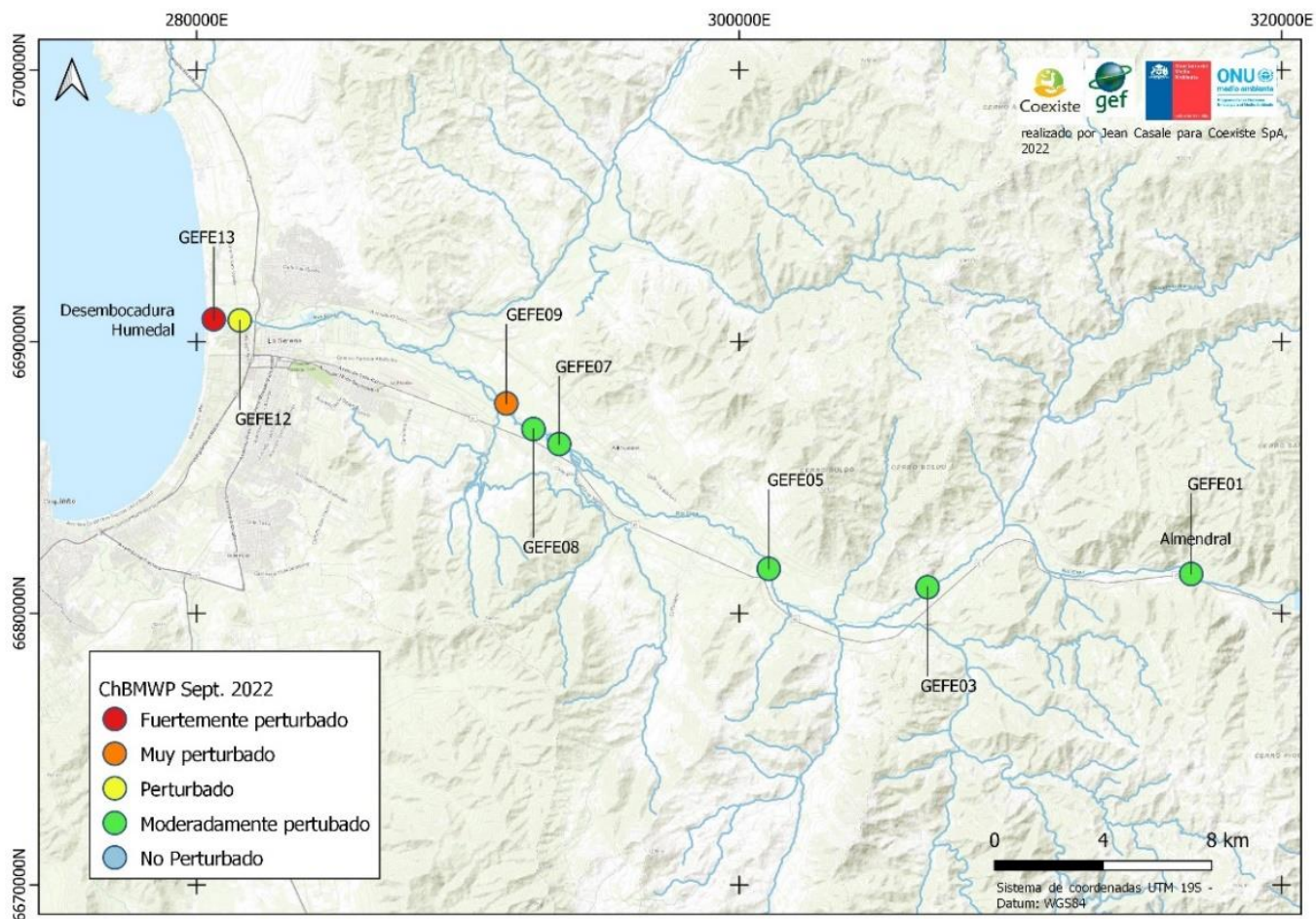
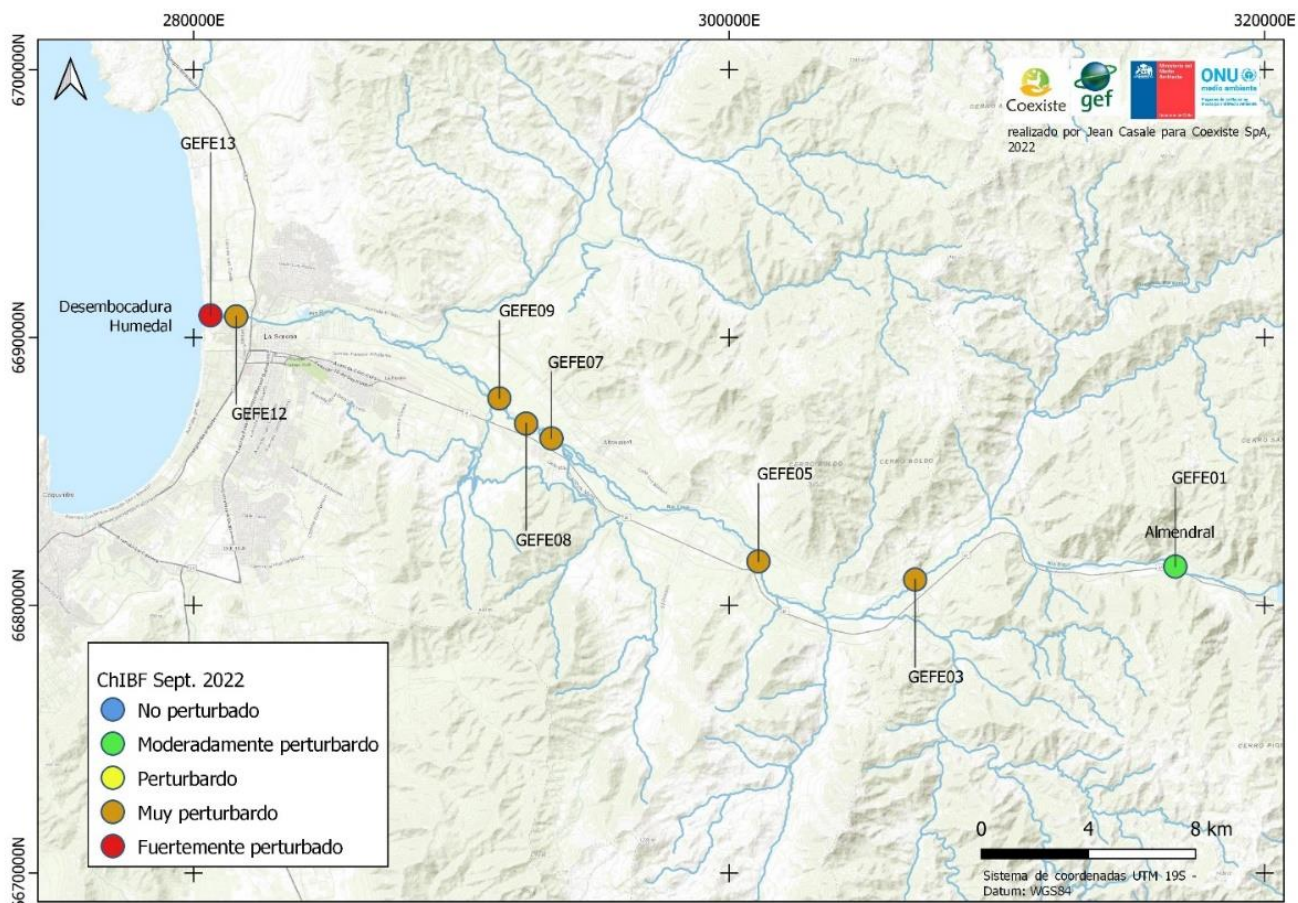


FIGURA N° 4: DISTRIBUCIÓN DEL ÍNDICE ChBMWP EN LA CUENCA DEL RÍO ELQUI, INVIERNO 2022







VI. BIBLIOGRAFIA

- Alvial, I. E., Tapia, D. H., Castro, M. J., Duran, B. C., & Verdugo, C. a. (2013). Analysis of benthic macroinvertebrates and biotic indices to evaluate water quality in rivers impacted by mining activities in northern Chile. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, (407), 01. <https://doi.org/10.1051/kmae/2012027>
- Armitage, P. D., Moss, D., Wright, J. F., & Furse, M. T. (1983). The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. *Water Research*, 17(3), 333–347. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(83\)90188-4](https://doi.org/10.1016/0043-1354(83)90188-4)
- CABIN (2012). Canadian Aquatic Biomonitoring Network field manual - wadeable streams. Monograph from the Science and Technology Department of the Canada Environment Agency. Ottawa, Ontario. 57 pp.
- CEAZA. (2017). Implementación de un nuevo método holístico de evaluación del caudal ecológico basado en macroinvertebrados en la cuenca del Choapa. Proyecto FIC-BIP 30404078-0
- CENMA (Centro Nacional del Medio Ambiente) (2017). Consultoría Técnica Recopilación y Levantamiento antecedentes para apoyo en la elaboración de anteproyecto de normas secundarias de calidad ambiental (NSCA) para las aguas continentales superficiales de la cuenca del Río Elqui. SEREMI Región de Coquimbo, Ministerio del Medio Ambiente
- Domínguez E. & Fernández H., (2009). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología. Fundación Miguel Lillo, Tucumán.
- Environment Canada. Science and Technology Branch. (2012). Canadian Aquatic Biomonitoring Network – CABIN field manual - wadeable streams. (57).
- Environment Canada. Science and Technology Branch. (2014). CABIN - Laboratory Methods, Processing, Taxonomy, and Quality Control of Benthic Macroinvertebrate Samples. 36 pág.
- QGIS Development Team (2017) QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>
- R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- Tabilo E., Vargas S., Casale J., Chávez C. (2021) Identificación de Áreas Prioritarias de Restauración del Humedal Desembocadura del Río Elqui y sus Subcuencas Aportantes, Región De Coquimbo. Licitación No.2/2020 Coquimbo Proyecto GEF Humedales Costeros, ONU Medio Ambiente. Ministerio del Medio Ambiente.
- Tachet H., Richouxm P., Bournard M. and Usseglio P, (2003). Invertébrés d'eau douce : Systématique, biologie, écologie. CNRS editions, Paris.



ANEXO 1.- FICHA DE TERRENO



FICHA DE TERRENO PARA MUESTREO DE MACROINVERTEBRADOS

Nombre del curso de agua:

Equipo de trabajo:

Nombre de la estación:

Fecha de muestreo:

Coordenadas: S

W

Hora de muestreo:

Altitud (m.s.n.m.):

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

Color Aparente:

Transparencia: Clara Turbia Muy turbia

MEDICIONES *IN SITU*:

pH:

Temperatura (°C):

Oxígeno disuelto (%):

ORP (mV):

pH/mV:

Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$):

TDS (ppm):

Turbidez (FNV):

Resistividad ($\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$):

Presión atmosférica (psi):

CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS

Porcentajes sustratos presentes:

Sustratos	% presente
Cubierta orgánica	
Arena fina, limo ó arcilla $D < 0.1$ cm	
Arena gruesa $0.2 > D > 0.1$ cm	
Grava $1.6 > D > 0.2$ cm	
Pequeño guijarro a $3.2 > D > 1.6$ cm	
Grandes guijarros $6.4 > D > 3.2$ cm	
Pequeños cantos rodados $12.8 > D > 6.4$ cm	
Grandes cantos rodados $25.6 > D > 12.8$ cm	
Piedras $D > 25.6$ cm	
Roca madre ó lecho de roca	

Descripción vegetación acuática:

Peces: Si No No sé



ANEXO 3.- Resumen valores de tolerancia por taxa

Phylum	Clase	Orden	Familia	GEFE 01		GEFE 03		GEFE 05		GEFE 07		GEFE 08		GEFE 09		GEFE 12		GEFE13			
				analizado	extrapolado	analizado	extrapolado	analizado	extrapolado	analizado	extrapolado	analizado	extrapolado	analizado	extrapolado	analizado	extrapolado	analizado	extrapolado		
Annelida	Clitellata	Enchytraeida	Enchytraeidae	7	42	49	294	2	4	17	68	53	318	2	6						
		Haplotaxida	Naididae			17	102										18	108			
		Lumbriculida	Lumbriculidae			1	6														
Arthropoda	Arachnida	Trombidiformes	Hygrobatidae			6	36					15	90								
			Sperchontidae			1	6	1	2	1	4										
		Oribatida	Hermannioidae/ Camisiidae	3	18	7	42	6	12	17	68	12	72	4	12		7	42			
		Orden Indt.	Familia Indt.																11	11	
	Copepoda				2	12					6	24	67	402	1	3					
	Insecta	Coleoptera	Elmidae larva		6	36	9	54			2	8									
			Elmidae adulto		4	24	3	18													
		Diptera	Ceratopogonidae							2	4	6	24	9	54						
				Chironomidae larva		80	480	145	870	256	512	246	984	340	2040	293	879	94	564		
			Chironomidae pupa		6	36	10	60	7	14	8	32	10	60	3	9	1	6			
			Empididae				1	6	5	10	1	4									
			Ephydriidae larva							1	2			2	12						
			Ephydriidae pupa											1	6	1	3				
			Simuliidae larva							43	86	8	32	7	42	3	9				
			Simuliidae pupa		12	72	1	6	3	6			4	24							
			Stratiomyidae											1	6			1	6		
			Tipulidae larva		111	666	2	12	5	10	4	16			2	6					
			Tipulidae pupa		2	12		0													
			Ephemeroptera	Baetidae	28	168	35	210	15	30	3	12	49	294	1	3	20	120			
			Hemiptera	Belostomatidae													1	6			
			Odonata	Aeshnidae	2	12	2	12					1	6			2	12			
				Coenagrionidae			6	36													
			Trichoptera	Hydroptilidae larva	40	240	14	84	6	12	14	56	34	204	2	6	3	18			
				Hydroptilidae pupa														8	48		
	Hydrobiosidae	2		12	1	6	2	4													
	Hydropsychidae larva	270		1620	12	72			1	4	2	12									
	Hydropsychidae pupa	1		6																	
Malacostraca	Amphipoda			42	252	2	4	2	8	12	72										
Ostracoda				9	54	18	36	47	188	192	1152	5	15								
Mollusca	Bivalvia	Sphaeriida	Sphaeriidae	1	6	1	6	1	2												
	Gastropoda	Basommatophora	Hydrobiidae			18	108			22	88	4	24			195	1170				
			Physidae		1	6	50	300	20	40	5	20	60	360			12	72			
Platyhelminthes	Tubellaria	Tricladida	Dugesiiidae	1	6							2	12			1	6				
Nematoda						146	876	44	88	50	200	351	2106	22	66	3	18				



ANEXO 3.- Resumen valores de tolerancia por taxa

Familia	ChIBF	ChBMWP	Familia	ChIBF	ChBMWP
Haplotaenidae	8	NA	Baetidae	4	5
Naididae	8	NA	Caenidae	7	4
Enchytraeidae	8	NA	Leptophlebiidae	2	9
Lumbriculiidae	8	NA	Collembola	5	NA
Glossiphoniidae	10	3	Belostomatidae	6	4
Hygrobatidae	4	4	Corixidae	7	3
Limnesidae	4	4	Pyralidae	5	NA
Hydrachnidae	4	4	Tortricidae	6	NA
Sperchontidae	4	4	Corydalidae	0	5
Crotoniidae / Camisiidae	4	4	Aeshnidae	3	6
Curculionidae	5	4	Coenagrionidae	9	7
Dytiscidae	7	3	Gomphidae	1	7
Elmidae	4	6	Libellulidae	9	8
Gyrinidae	7	5	Gripopterygidae	1	7
Hydrophilidae	7	3	Notonemouridae	0	10
Scirtidae	7	5	Glossosomatidae	0	9
Staphylinidae	3		Helicophidae	6	10
Athericidae	2	9	Hydroptilidae	4	6
Blephariceridae	0	10	Hydrobiosidae	0	7
Ceratopogonidae	6	6	Hydropsychidae	4	5
Chironomidae	7	2	Leptoceridae	4	7
Dixidae	6	9	Polycentropodidae	3	2
Dolichopodidae	4	NA	Sericostomatidae	3	10
Empididae	6	4	Hyaellidae	4	6
Ephydriidae	6	2	Aeglidae	6	6
Limoniidae	6	4	Palaemonidae	7	NA
Muscidae	8	NA	Sphaeriidae	8	3
Psychodidae	10	4	Ancyliidae	4	6
Simuliidae	6	5	Hydrobiidae	7	3
Stratiomyidae	6	4	Physidae	8	3
Tabanidae	4	4	Acari	4	4
Tanyderidae	6	NA	Oligochaeta	8	1
Tipulidae	3	5	Hirudinea	10	3