

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**EVALUACIÓN DE CALIDAD DE AGUAS PARA EL RÍO CHILLÁN
UTILIZANDO MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS**

JOSÉ IGNACIO JARA APARICIO

HABILITACIÓN PROFESIONAL
PRESENTADA A LA FACULTAD DE
INGENIERÍA AGRÍCOLA DE LA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN,
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL

Chillán - Chile

2024

EVALUACIÓN DE CALIDAD DE AGUAS PARA EL RÍO CHILLÁN
UTILIZANDO MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS

Aprobador por:

Ricardo Figueroa Jara
Profesor de Biología Ph.D.
Profesor Titular

Profesor Guía

José Luis Arumi Ribera
Ingeniero Civil Ph.D.
Profesor Titular

Profesor Asesor

Pedro Aqueveque Muñoz
Profesor de Biología Ph.D. Mg.
Profesor Asociado

Profesor Asesor

José Luis Arumi Ribera
Ingeniero Civil Ph.D.
Profesor Titular

Director de Departamento

Maria Eugenia González Rodríguez
Ingeniera Agrónomo Ph. D.
Profesor Asociado

Decana

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. HIPÓTESIS.....	9
3. OBJETIVOS.....	9
3.1. Objetivo General.....	9
3.2. Objetivos Específicos	9
4. METODOLOGÍA	10
4.1. Muestreo de macroinvertebrados	10
4.2. Medición de parámetros físico-químicos	12
4.3. Identificación taxonómica	12
4.4. Índice de calidad de aguas.	16
4.5. Área de estudio.....	18
5. RESULTADOS	20
5.1 Estado actual de las estaciones	20
5.1.1. Pinto (E-1).....	20
5.1.2. El saque (E-2):.....	26
5.1.3. Lajuelas (E-3):	35
5.1.4. Bellavista (E-4):	38
5.2. Valoración de los impactos observados	42
5.3. Datos físicos-químicos.....	43
5.4 Identificación taxonómica	45
5.5 Calidad biológica a través del índice IBF	49
6. DISCUSIÓN.....	50
7. CONCLUSIÓN.....	53
8. BIBLIOGRAFÍA.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de tolerancia para macroinvertebrados bentónicos dulceacuícolas para ríos mediterráneos de Chile (ChIBF, tomado de: Figueroa et al. 2007).....	16
Tabla 2. Cuadro de transformación a 5 clases de calidad, su relación con las características ambientales. (Tomada de Figueroa 2004 y Figueroa et al., 2007).....	18
Tabla 3. Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo sobre el cauce del río Chillán.....	18
Tabla 4. Escala de valores para calcular el grado de afectación sobre cada una de las estaciones.....	42
Tabla 5. Efecto de distintas actividades económicas desarrolladas en las cercanías de cada estación de muestreo acorde a la escala de medición.	43
Tabla 6. Datos de pH y temperatura obtenidos los días 4 y 6 de abril (día 1 y 2) correspondientes a la orilla (O) y al centro (C) del cauce principal.	44
Tabla 7. Conteo de familias encontradas en la estación E-1 (sector Pinto) y su correspondiente valor de tolerancia.....	45
Tabla 8. Conteo de familias encontradas en la estación E-2 (sector El Saque) y su correspondiente valor de tolerancia	46
Tabla 9. Conteo de familias encontradas en la estación E-3 (sector Lajuelas) y su correspondiente valor de tolerancia.	47
Tabla 10. Conteo de familias encontradas en la estación E-4 (sector Bellavista) y su correspondiente valor de tolerancia	48
Tabla 11. Índice correspondiente a cada estación y comparación con los resultados obtenidos por Figueroa (2007)	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Índices de calidad de agua utilizados en distintos países del mundo y tipo de cuerpo de agua superficial estudiado (Uddin y otros, 2021)	5
Figura 2: Ejemplo de patrón de muestreo aleatorio.	10
Figura 3: Red Surber utilizada en el muestreo a) Vista frontal b) Vista superior c) Vista lateral.	11
Figura 4. Lupa estereoscópica utilizada en la identificación taxonómica.	13
Figura 5. Tamiz de 500 μm utilizado para quitar el alcohol de la muestra en el laboratorio a) Vista lateral b) Vista superior.	14
Figura 6. Muestra en placa Petri.	14
Figura 7. Utensilios para manipular la muestra bajo lupa.	14
Figura 9. Disposición de la muestra limpia bajo la lupa.	15
Figura 8. "Punta" utilizada para manipular la muestra bajo lupa.	15
Figura 10. Ubicación espacial de las estaciones de muestreo.	19
Figura 11. Vista general de la estación en Pinto II(E-1)	21
Figura 12. Orilla sur, se logra apreciar vegetación cercana al cauce del río	22
Figura 13. Macrófitos presentes en la superficie del río.	23
Figura 14. Vista de la orilla norte estación E-1.	24
Figura 15. Imagen extraída desde "Calidad ambiental de la cuenca hidrográfica del río Chillán", Figueroa, 2004 correspondiente a la estación de Pinto	25
Figura 16. Cauce secundario que pasa por un costado del cauce principal del río Chillán	26
Figura 17. Cauce principal con alta presencia de macrófitos.	27
Figura 18. Otra vista de los abundantes micrófitos presentes en la superficie del río.	28
Figura 19. Algas adheridas a piedras sumergidas.	29
Figura 20. Vista aguas arriba de E-2, se aprecia nuevamente la presencia de macrófitos en la superficie	30
Figura 21. Zona de toma de muestra con formación de rápidos someros en el cauce principal.	31
Figura 22. Vista en dirección norte del río Chillán en la estación El Saque. .	32

Figura 23. Imagen extraída de “Calidad ambiental de la cuenca hidrográfica del río Chillán”, Figueroa, 2004. Correspondiente a la estación El Saque.	33
Figura 24. Imagen satelital correspondiente al año 2003 sector El Saque ...	34
Figura 25. Imagen satelital correspondiente al año 2023 sector El Saque ...	34
Figura 26. Vista central de la estación E-3	35
Figura 27. Piedras de distintos tamaños, se logra apreciar una orilla sólida no formada por piedras pequeñas.....	36
Figura 28. Formación de zona con rápidos someros producto de acción antrópica.....	36
Figura 29. Zona de toma de muestras en la estación Lajuelas	37
Figura 30. Vista de la orilla norte de la estación Lajuelas	37
Figura 31. Vista general de la estación E-4	38
Figura 32. Presencia de macrófitos en la orilla del cauce.....	39
Figura 33. Vista de la vegetación presente en la orilla de la estación	40
Figura 34. Vista río abajo de la estación donde se evidencia la inexistencia de orilla formada por piedras como en estaciones anteriores.	40
Figura 35: Imagen extraída de “Calidad ambiental de la cuenca hidrográfica del río Chillán”, Figueroa, 2004.....	41

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Índice biótico de familias IBF.....	16
---	----

EVALUACIÓN DE CALIDAD DE AGUAS PARA EL RÍO CHILLÁN

UTILIZANDO MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS

Assessment of Water Quality for the Chillán River Using Benthic
Macroinvertebrates

Palabras clave: Índice de calidad, macroinvertebrados bentónicos, río Chillán, índice biótico de familias, calidad de aguas.

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la calidad de agua del río Chillán mediante el uso de un índice biótico de familias basado en macroinvertebrados bentónicos y comparar los resultados con los obtenidos anteriormente por Figueroa (2004) y Figueroa y otros (2007), el estudio se basó en analizar los cambios presentados en las estaciones de muestreo y en el conteo de familias encontradas en cada estación para determinar la condición en que se encuentra cada tramo del río para esto las muestras fueron tomadas mediante una red surber y posteriormente analizadas bajo lupa en laboratorio. Los resultados arrojaron que las estaciones de muestreo sufrieron cambios debido a distintas actividades desarrolladas durante los años anteriores y la calidad del agua del río continua en calidad de mala a muy mala y se encuentra dentro de los rangos de resultados presentados por Figueroa (2004) y Figueroa y otros (2007).

Assessment of Water Quality for the Chillán River Using Benthic Macroinvertebrates

Keywords: Quality index, benthic macroinvertebrates, Chillán river, family biotic index, water quality.

ABSTRACT

The objective of this research was to assess the water quality of the Chillán River using a family-based biotic index based on benthic macroinvertebrates and to compare the results with those obtained previously by Figueroa (2004) and Figueroa et al. (2007). The study focused on analyzing changes at the sampling stations and counting the families found at each station to determine the condition of each river segment. For this, samples were collected using a Surber net and subsequently analyzed under a microscope in the laboratory. The results indicated that the sampling stations experienced changes due to various activities conducted in previous years, and the water quality of the river continues to be poor to very poor, falling within the ranges of results reported by Figueroa (2004) and Figueroa et al. (2007).

1. INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos más valiosos de nuestro planeta, la gran mayoría de los organismos que han sido capaces de desarrollarse durante millones de años dependen de ella para lograr su sobrevivencia, dicho de otra manera, el agua es un recurso indispensable para la preservación de la vida, además de todos los servicios ecosistémicos que ofrece a la humanidad (Westall & Brack, 2018). La biodiversidad y el agua poseen una estrecha relación ya que se benefician mutuamente, una alteración en la calidad de los recursos hídricos repercutirá en los organismos que se abastecen de ella provocando el aumento, disminución o incluso desaparición completa de ciertas especies de dicho ecosistema, por otra parte, la presencia o ausencia de organismos en los cursos de agua puede afectar en los ciclos de nutrientes (Figueroa, 2004).

Dado que la actividad humana emplea métodos cada vez más agresivos para la obtención de recursos, principalmente agrícolas, es que la calidad de este recurso se ve disminuida en una forma preocupante, es por esto que para poder cuantificar la calidad del agua es que se emplean distintos índices de calidad de agua (ICA) que miden diferentes parámetros físico, químicos y microbiológicos, para determinar la vulnerabilidad del cuerpo acuático frente a circunstancias potencialmente peligrosas (Caho & Lopez, 2017), si bien estos índices representan de buena manera la calidad hídrica, lo hacen en momentos específicos, es decir, no se contemplan cambios en el tiempo y

dependen de la cantidad de datos que se dispongan. Como una opción a esta falencia de los ICA es posible analizar las comunidades biológicas para una evaluación temporal del estado del sistema, comparando la estructura comunitaria, presencia o ausencia de especies indicadoras, es posible realizar una evaluación integral del cuerpo hídrico. (Figuroa, 2004).

Para poder obtener un ICA se deben considerar diferentes tipos de variables fisicoquímicas y biológicas asociadas al cuerpo de agua superficial en estudio, dependiendo del modelo que se utilice se necesitaran distintas variables siendo las más utilizadas por distintos modelos pH, turbidez, temperatura, solidos suspendidos y disueltos, DBO, OD, nitrato y nitritos (Uddin y otros, 2021). La elección del modelo está definida por el uso que se le quiera dar al cuerpo de agua en estudio, algunos ICA están enfocados a medir los rangos máximos permisibles para que el agua no cause daños cuando se utiliza en una actividad específica, mientras que otros modelos evalúan las cantidades mínimas de ciertas variables para no afectar características biológicas del entorno (Sharma & Gulati, 2014). Como se puede apreciar en la Figura 1 existen un gran número de índices de calidad de aguas alrededor del mundo

donde cada uno se adecua no solo a las condiciones específicas del lugar donde se aplican, sino que también al tipo de cuerpo de agua acuático.

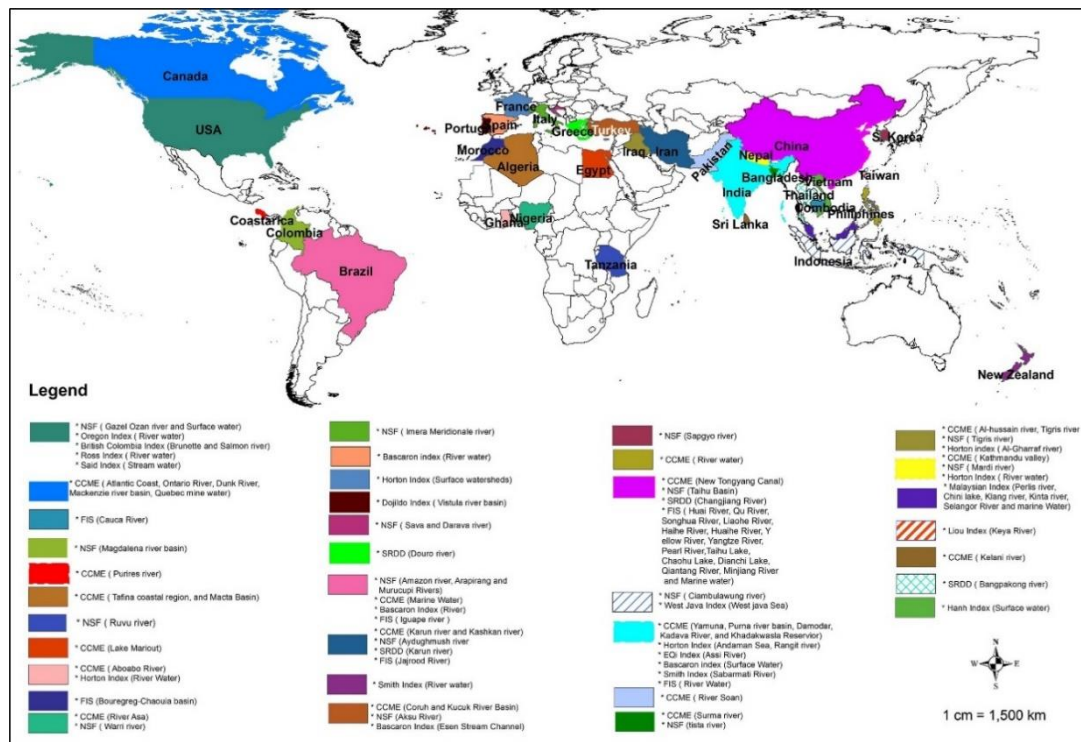


Figura 1: Índices de calidad de agua utilizados en distintos países del mundo y tipo de cuerpo de agua superficial estudiado (Uddin y otros, 2021)

En Chile existe una baja cantidad de información referente a la medición de los parámetros necesarios para el cálculo de los ICA tales como nutrientes, pesticidas o contaminantes ya que no se cuenta con el equipo o infraestructura necesaria para su medición en la mayoría de los sectores del país. Las brechas en la información disponible de calidad de agua del país son referidas a la disponibilidad de datos de nutrientes a lo largo de Chile y, principalmente, a datos de agroquímicos, pesticidas y antibióticos, entre otros, que actualmente

no suelen ser considerados en el monitoreo de la calidad del agua en el país (Girardi y otros, 2018).

Es aquí donde las comunidades biológicas cumplen un rol fundamental como indicadores de calidad de aguas, para enfrentar la falta de recursos tecnológicos comúnmente usados y la poca información disponible a través del tiempo (Girardi y otros, 2018). Un bioindicador no solo nos permite conocer aspectos del cuerpo del agua a través de un periodo más largo de tiempo, sino que también no entrega distintos niveles de alteración de este, desde cambios drásticos hasta casi imperceptibles que afectan a procesos bioquímicos de individuos correspondientes a ciertas especies (Prat y otros, 2009). Para poder aplicar un método basado en bioindicadores, este debe ser preciso, repetible y consistente en el tiempo, por lo que generalmente se utiliza el uso de métricas individuales, índices bióticos, índices multimétricos y métodos multivariado (González & Córdova, 2017) (Fierro & Arismendi, 2021). En particular los índices multimétricos basados en macroinvertebrados se han utilizado en diferentes tipos de biomas y ecorregiones del mundo (Forero y otros, 2014), siendo las regiones con alto endemismo, como es el caso de Chile, poco estudiadas y desarrolladas (Fierro y otros, 2018). La utilización de macroinvertebrados para la elaboración del índice multimétrico posee varias ventajas dentro de las cuales se pueden destacar que estos abarcan una alta distribución geográfica, poseen gran riqueza de especies, en su mayoría son sedentarios lo que favorecería el muestreo estacional de estos, alta

sensibilidad a diferentes tipos de contaminantes y por último que el tipo de muestreo es más simple y barato que utilizando parámetros fisicoquímicos (Prat y otros, 2009).

En Chile aún no se cuenta con la integración de los parámetros biológicos como indicador de calidad de aguas dentro de la legislación correspondiente, pese a que la información científica demuestra que en otros países con diferentes tipos de climatología se han utilizado de manera efectiva (Martins y otros, 2020), una de las razones por la que esto aún es resistido en varias regiones del mundo es que se necesita una mayor validación de los métodos existentes aplicándolos en regiones distintas a las cuales fueron diseñadas en un principio.

Anteriormente se han aplicado distintos métodos para evaluar la calidad de agua en distintas partes del país, tanto métodos fisicoquímicos como también biológicos, siendo los primeros los más utilizados. En la región de Ñuble se han realizado diferentes análisis de calidad de aguas utilizando distintos métodos centrándose, principalmente, en el río Chillán (Debels y otros, 2005; Cooman y otros, 2005; Figueroa y otros, 2007) del cual se pueden destacar usos como fuente de agua potable, riego, extracción de áridos y también como receptor de desechos urbanos. Este último debe ser observado con mayor atención, puesto que en el año 2018 Ñuble se convirtió en región lo cual implica un aumento demográfico importante y tomando en cuenta los resultados en (Figueroa y otros, 2007) la calidad de agua del río disminuye notoriamente

posterior al área urbana de la ciudad de Chillán. También al ser la agricultura una importante actividad económica que se desarrolla a lo largo del cauce del río Chillán, aproximadamente 1500 agricultores distribuidos en 5000 ha, el uso de agroquímicos puede afectar de manera significativa la calidad del agua. Adicionalmente a esto, se debe considerar que el caudal medio mensual del río Chillán se ha visto afectado considerablemente por la megasequía de los últimos años (Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2, 2015) , por lo que las concentraciones de cualquier compuesto contaminante también presentarán un aumento. En este sentido, este estudio estuvo enfocado en determinar el cambio en la calidad de aguas del río Chillán a través del tiempo utilizando un método basado en macroinvertebrados para regiones mediterráneas en el río Chillán contrastando los resultados con información bibliográfica disponible.

2. HIPÓTESIS

Se plantea la hipótesis de que la calidad de agua del río Chillán se ha visto disminuida en comparación con lo presentado por Figueroa.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Evaluar la calidad biológica de aguas del río Chillán utilizando un índice de calidad basado en macroinvertebrados bentónicos.

3.2. Objetivos Específicos

- Comparar zonas de muestreo seleccionadas con las mencionadas por Figueroa (2004).
- Analizar las muestras obtenidas en terreno y comparar los índices de calidad biológica con el estudio previo

4. METODOLOGÍA

4.1. Muestreo de macroinvertebrados

La actividad de muestreo en terreno se desarrolló mediante el uso de una red surber de 0,09 m² con una malla de 250 µm de apertura (ver figura 3) la cual se dispuso en el lecho del río a una profundidad aproximada de 0,15-0,20 m. Para la toma de la muestra en cada una de las estaciones se seleccionó un tramo del río de aproximadamente 100 m de largo en donde se tomaron 3 muestras, correspondientes a ambas orillas y al centro del río, cada muestra se realizó en un cuadrante de 3x3 de 1 m² aproximadamente en donde se seleccionaban 3 cuadros de forma aleatoria para realizar el muestreo (Figura 2) siempre desde río abajo hacia río arriba para evitar perturbaciones en el comportamiento los en los organismos objetos de estudio.

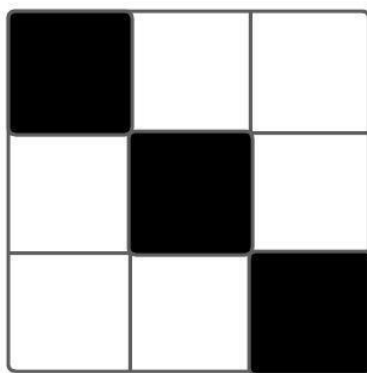


Figura 2: Ejemplo de patrón de muestreo aleatorio.

Una vez ubicada la red (Figura 3) se procedió al cuidadoso lavado de las piedras que se ubicaban en el área de 0,09m² directamente contigua al marco

de la red. Una vez tomada la muestra esta se retiró de la red surber y se dispuso en bolsas plásticas en donde se le aplicó alcohol al 97% y se selló con la etiqueta correspondiente a la estación y al sector de la muestra (orilla o centro). Las muestras fueron almacenadas en un cooler para su posterior transporte y revisión en el laboratorio.

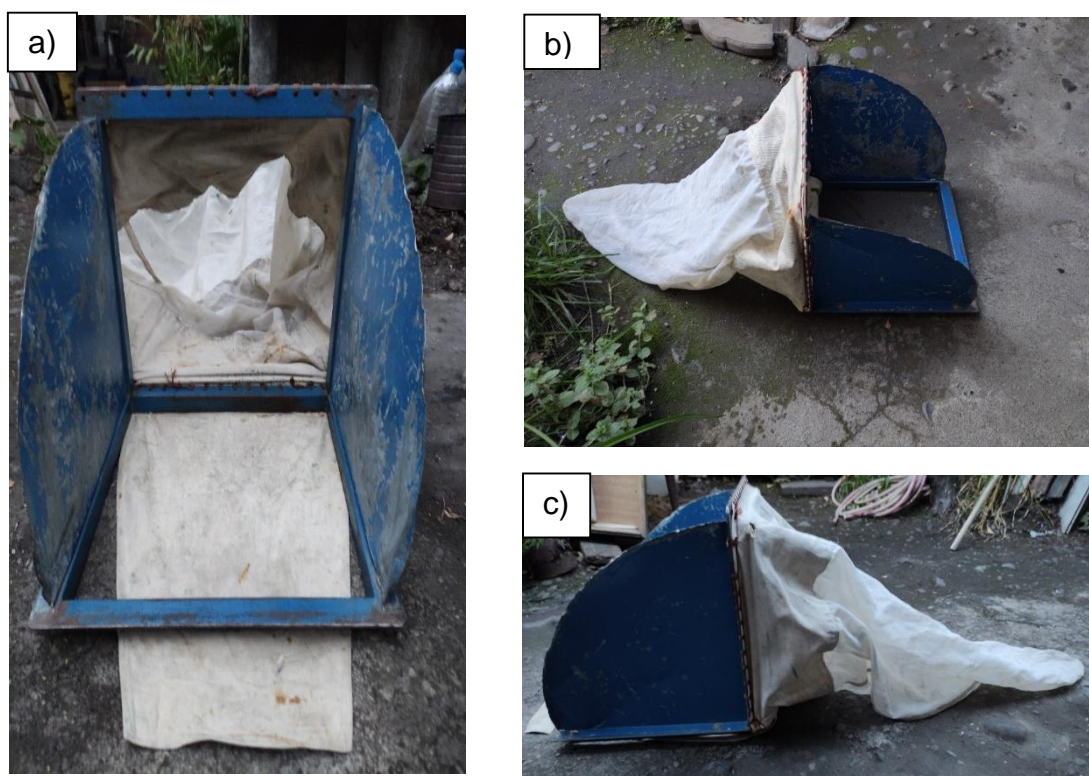


Figura 3: Red Surber utilizada en el muestreo a) Vista frontal b) Vista superior c) Vista lateral.

4.2. Medición de parámetros físico-químicos

Para la obtención de los parámetros físico-químicos se utilizó un multiparamétrico con el cual se obtuvo la temperatura y pH correspondientes al momento del muestreo, la medición se realizó en 2 puntos los cuales son los correspondientes a la orilla y al centro del río, cada vez que este fue utilizado fue limpiado con agua destilada y secado para evitar errores en la medición.

4.3. Identificación taxonómica

La identificación de los organismos se realizó en el laboratorio bajo una lupa estereoscópica, para esto, la muestra fue dispuesta en un tamiz de 500 micrones (Figura 5) para quitar el alcohol y elementos no incluidos en el estudio (piedras, ramas, algas de gran tamaño etc.), la muestra se colocó en una placa de Petri la cual fue dispuesta bajo la lupa para ser analizada (Figura 9), se utilizó una punta y pinzas (Figura 7 y 8) para la manipulación de la muestra bajo la lupa. La identificación se realizó de acuerdo a la guía de identificación de macroinvertebrados (Palma, 2013).



Figura 4. Lupa estereoscópica utilizada en la identificación taxonómica.



Figura 5. Tamiz de 500 μm utilizado para quitar el alcohol de la muestra en el laboratorio a) Vista lateral b) Vista superior.



Figura 6. Muestra en placa Petri.



Figura 7. Utensilios para manipular la muestra bajo lupa.



Figura 8. "Punta" utilizada para manipular la muestra bajo lupa.



Figura 9. Disposición de la muestra limpia bajo la lupa.

4.4. Índice de calidad de aguas.

Para el cálculo del índice de calidad de aguas se utilizó el índice biótico de familias (IBF) implementado primeramente por Shuter (1972) y posteriormente utilizado y descrito por Figueroa et al. (2003). Este índice entregara valores en una escala entre 0 (agua altamente pura y sin alteraciones) y 10 (altamente perturbada), para esto se debe obtener una aproximación cuantitativa de las familias presentes en el cauce del río y otorgarles un valor de tolerancia a cada una de ellas (Tabla 1). El cálculo del índice se obtiene de la Ecuación 1.

$$\frac{\sum x_i * y}{P_i} \quad [1]$$

Donde:

x_i : Número total de individuos en una familia

y : Valor de tolerancia correspondiente a cada familia

P_i : Valor total de individuos encontrados en cada estación

El valor entregado por la ecuación es asociado a una clase de calidad (Tabla 2) el cual permitirá diferenciar el estado de cada segmento del río correspondiente a su estación

Tabla 1. Valores de tolerancia para macroinvertebrados bentónicos dulceacuícolas para ríos mediterráneos de Chile (ChIBF, tomado de: Figueroa et al. 2007).

Plecoptera		Trichoptera		Coleoptera	
Gripopterygiidae	1	Calamoceratidae	3	Elmidae	4
Notonemouridae	0	Glossosomatidae	0	Psephenidae	4
Perlidae	1	Helicopsychidae	3	Dytiscidae	7

Continuación tabla anterior.

Diamphipnoidae	0	Hydropsychidae	4		
Eustheniidae	0	Hydroptilidae	4	Diptera	
Autroperlidae	1	Leptoceridae	4	Athericidae	2
		Limnephilidae	2	Blephariceridae	0
Ephemeroptera		Ecnomidae	3	Ceratopogonidae	6
Baetidae	4	Helicophidae	6	Chironomidae	7
Caenidae	7	Polycentropodidae	3	Empididae	6
Leptophlebiidae	2	Philopotamidae	2	Ephydriidae	6
Siphonuridae	7	Hydrobiosidae	0	Psychodidae	10
Oligoneuridae	2	Sericostomatidae	3	Simuliidae	6
Ameletopsidae	2			Syrphidae	10
Oniscigastridae	3	Megaloptera		Tabanidae	6
Coloburiscidae	0	Corydalidae	0	Tipulidae	3
		Sialidae	4		
Odonata				Amphipoda	
Aeshnidae	3	Lepidoptera		Hyalellidae	8
Calopterygidae	5	Pyralidae	5	Isopoda	
Gomphidae	1			Janiriidae	4
Lestidae	9	Hemíptera			
Libellulidae	9	Notonectidae	7	Mollusca	
Coenagrionidae	9	Corixidae	7	Amnicolidae	6
Cordulidae	5	Gerridae	7	Lymnaeidae	6
Petaluridae	5	Belostomatidae	6	Physidae	8
				Sphaeridae	8
Acari	4	Oligochaeta (*)	8	Chilinidae	6
Hirudinea (*)	10				
Decapoda (*)	6	Platyhelminthes			
		Turbellaria	4		

“Se han eliminado aquellas que no se encuentran en Chile, así como incorporado otras asignando valores de tolerancia siguiendo a diversos autores (Hilsenhoff 1988, Bode 1988, Lennat 1993, Roldán 1999, Mackie 2000, Prat et al. 2000 y Figueroa et al. 2003 (Tabla modificada de: Hauer & Lamberti 1996, *: Todas las familias se consideran dentro del grupo).”

Tabla 2. Cuadro de transformación a 5 clases de calidad, su relación con las características ambientales. (Tomada de Figueroa 2004 y Figueroa *et al.*, 2007).

Clase	IBF	Características ambientales
I	0,00 – 3,75	Muy Bueno, No perturbado
II	3,76 – 4,63	Bueno, Moderadamente perturbado
III	4,64 – 6,12	Regular, Perturbado
IV	6,13 – 7,25	Malo, Muy perturbado
V	7,26 – 10,00	Muy malo, Fuertemente perturbado

4.5. Área de estudio

Los muestreos se llevaron a cabo sobre el cauce del río Chillán, para lo cual se escogieron 4 estaciones mencionadas en (Figueroa *et al.*, 2007) (Tabla 3) para obtener resultados representativos y comparativos del estado actual del río.

Tabla 3. Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo sobre el cauce del río Chillán.

Estación	Código	Coordenada S	Coordenada O
Pinto	E-1	36°41'38,5026"	71°53'29,9742"
El saque	E-2	36°38'0,7095"	72°4'54,9706"
Lajuelas	E-3	36°38'48,7240"	72°8'40,4476"
Bellavista	E-4	36°36'50,8903"	72°19'25,0395"

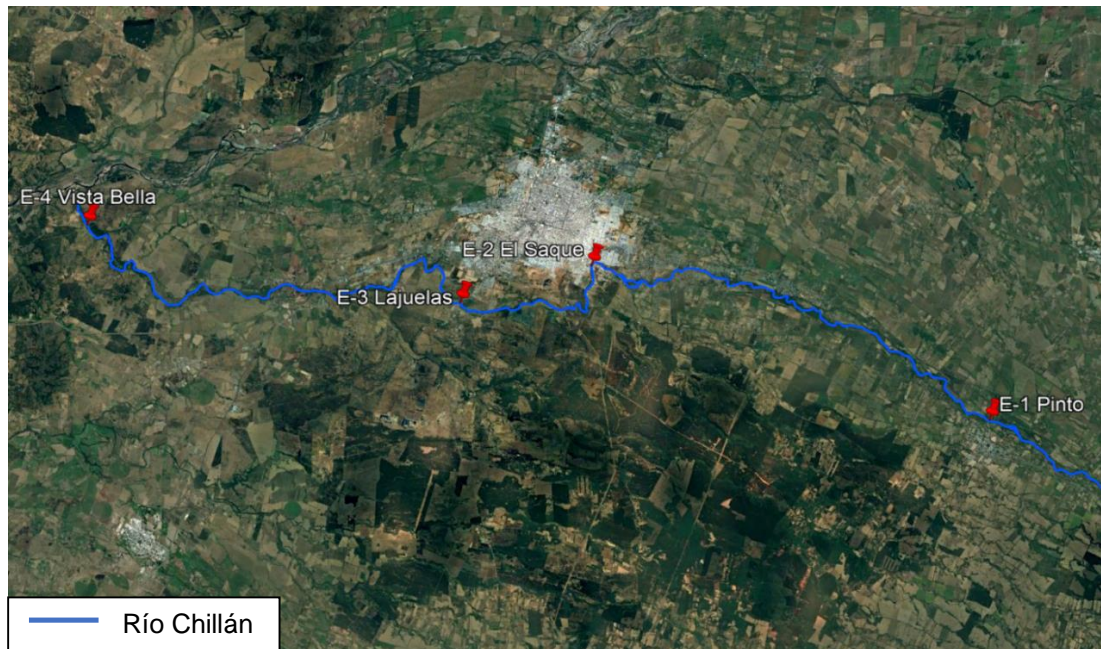


Figura 10. Ubicación espacial de las estaciones de muestreo.

Estas estaciones fueron seleccionadas con el propósito de poder encontrar diferencias, si las hubiera, a lo largo del cauce (Figura 10) del río abarcando una mayor área y si éste tenía la capacidad de recuperar su calidad durante su curso hasta su desembocadura en el río Ñuble. Por otra parte estas estaciones también fueron seleccionadas como puntos clave dado a que se han presentado cambios significativos en ellos desde el estudio realizado por Figueroa (2004), Figueroa y otros (2007).

5. RESULTADOS

Las muestras fueron tomadas los días 4 y 6 de abril del año 2023, ambos días se recorrieron la totalidad de estaciones por lo que se cuenta con 2 muestras por cada estación. El día 4 de abril se realizó el recorrido desde Pinto hacia Bellavista, mientras que el día 6 de abril se realizó el recorrido contrario. Durante el transcurso de la actividad de recolección de muestras se pudieron detectar ciertas características correspondientes a cada una de las estaciones.

5.1 Estado actual de las estaciones

5.1.1. Pinto (E-1). En el tramo de río muestreado se presencian piedras de varios tamaños, zonas con rápidos someros y también aguas estancadas con profundidades variables (Figura 11). Alta presencia de algas superficiales (Figura 12) (Figura 13). A pesar de ser un punto de fácil acceso no se logra apreciar actividad antrópica considerable.



Figura 11. Vista general de la estación en Pinto (E-1).

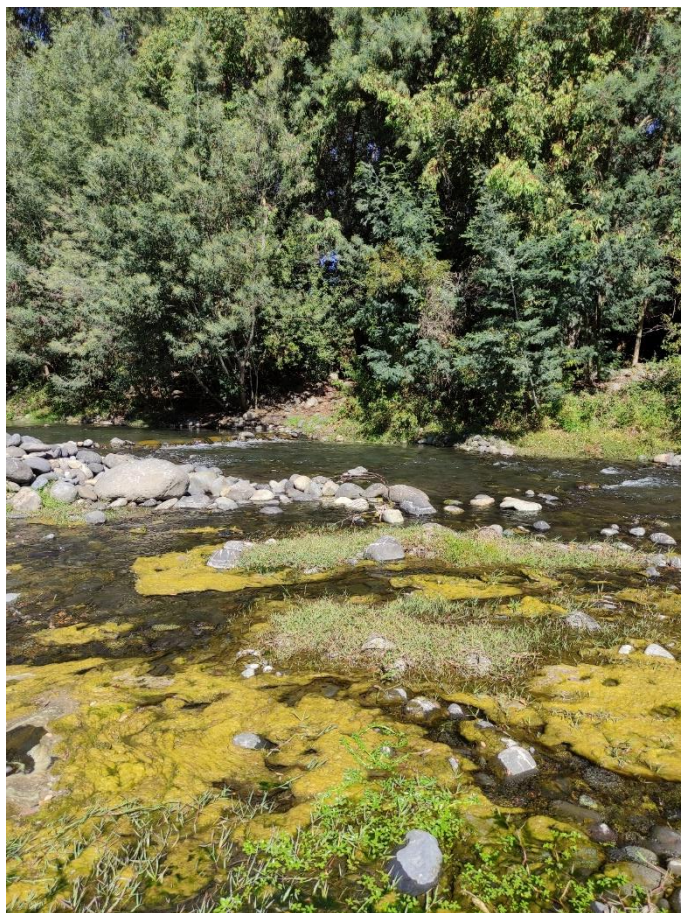


Figura 12. Orilla sur, se logra apreciar vegetación cercana al cauce del río.



Figura 13. Macrófitos presentes en la superficie del río.

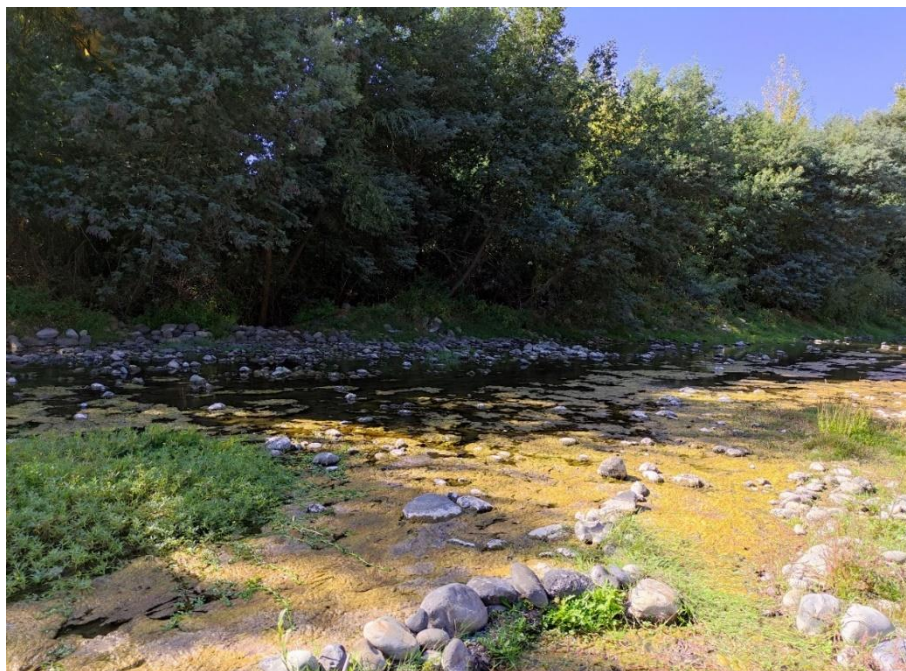


Figura 14. Vista de la orilla norte estación E-1.

Esta estación ha presentado cambios evidentes en su geomorfología a través de los años, esto debido a que por un lado el caudal se ha reducido (Figura 14) por la sequía que ha afectado a nuestro país y también debido a una reciente construcción vial que une Pinto y Coihueco que sustituyó el antiguo puente de madera que unía dichas comunas. Dentro de las diferencias más notorias con el entorno que presentó (Figuroa, 2004) (Figura 15), podemos destacar que la anchura de la orilla formada por piedras de distintos tamaños se ha visto reducida en forma drástica y también se aprecia una proliferación de macrófitos sobre el cauce de este.



Figura 15. Imagen extraída desde “Calidad ambiental de la cuenca hidrográfica del río Chillán”, Figuroa, 2004 correspondiente a la estación de Pinto.

5.1.2. El saque (E-2): Se caracteriza por tener un caudal reducido que se separa en una corriente principal y un afluente de menor tamaño (Figura 16), piedras de tamaños variados en ambas orillas. Alta presencia algas y musgo sobre el cauce del río, vegetación adherida a las piedras que fueron objeto de lavado (Figuras 17-18 y 19).



Figura 16. Cauce secundario que pasa por un costado del cauce principal del río Chillán

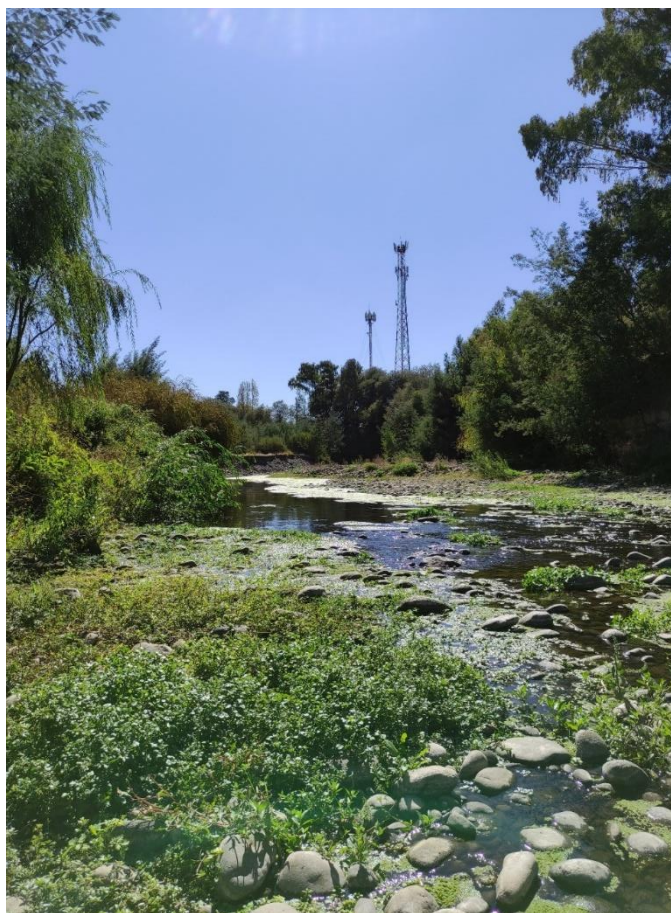


Figura 17. Cauce principal con alta presencia de macrófitos.

Se aprecia un fuerte efecto antrópico, correspondiente a viviendas irregulares y la presencia de una población aledaña, lo que se traduce en acumulación de desechos en las cercanías del río. A pesar de esta característica se logra apreciar la presencia de peces y aves en el cauce principal.



Figura 18. Otra vista de los abundantes micrófitos presentes en la superficie del río.

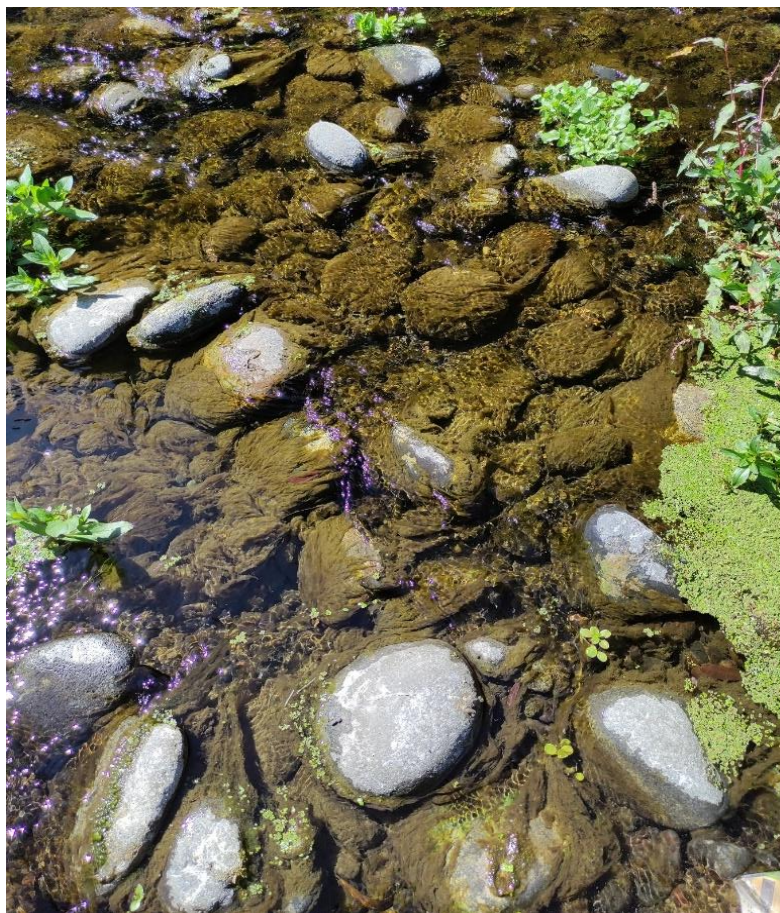


Figura 19. Algas adheridas a piedras sumergidas.



Figura 20. Vista aguas arriba de E-2, se aprecia nuevamente la presencia de macrófitos en la superficie.

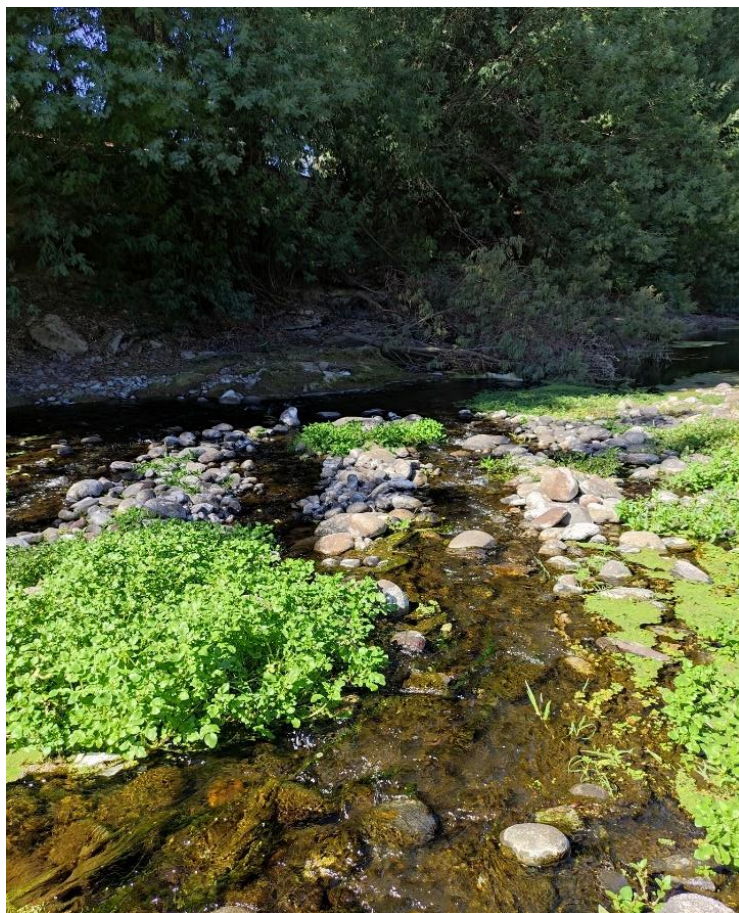


Figura 21. Zona de toma de muestra con formación de rápidos someros en el cauce principal.



Figura 22. Vista en dirección norte del río Chillán en la estación El Saque.

En la estación El Saque podemos diferenciar un cambio en la distribución del cauce del río, en Figueroa (2004) se puede apreciar (figura 23) un cauce amplio, sin desviaciones o cauces secundarios y una amplia orilla, mientras que en la actualidad estas orillas desaparecen y se vuelven de una mayor pendiente, esto producto de la actividad de extracción de áridos mencionada por Figueroa (2004). También se puede apreciar claramente (Figura 20) la presencia de torres de telecomunicaciones en las cercanías del cauce del río a diferencia de lo presentado por Figueroa (Figura 23) en donde se puede apreciar un paisaje mucho más prístino, a pesar de que se distingue una ribera de pendiente homogénea, por el uso de maquinaria.



Figura 23. Imagen extraída de “Calidad ambiental de la cuenca hidrográfica del río Chillán”, Figueroa, 2004. Correspondiente a la estación El Saque.

Según imágenes satelitales se puede apreciar el crecimiento poblacional en las cercanías del cauce del río, en la actualidad se encuentra la villa Valle Hermoso por el sector sur y la ampliación de la villa Doña Francisca por el sector norte del cauce las cuales comenzaron su desarrollo posteriormente al estudio realizado por Figueroa (Figura 24-25).

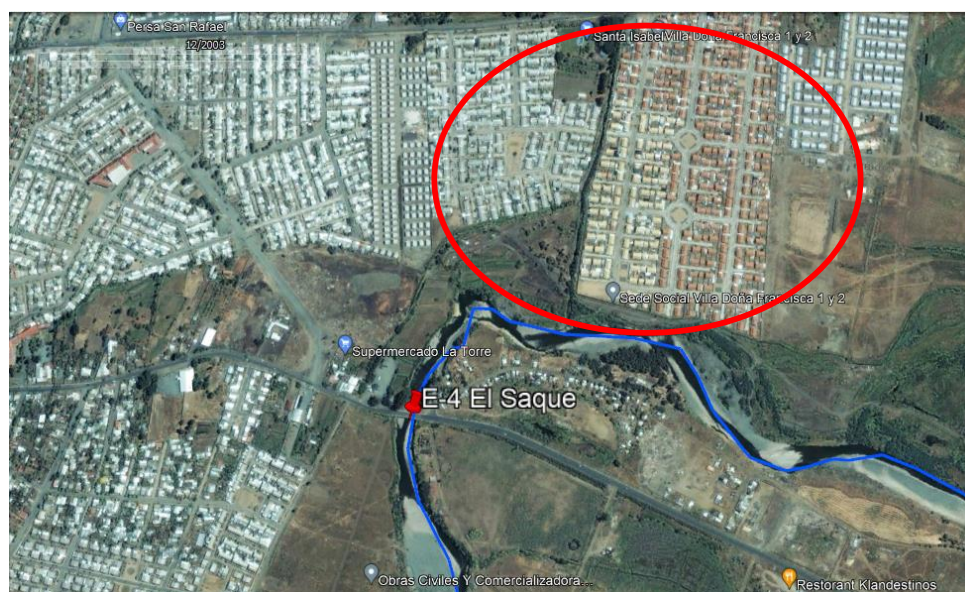


Figura 24. Imagen satelital correspondiente al año 2003 sector El Saque

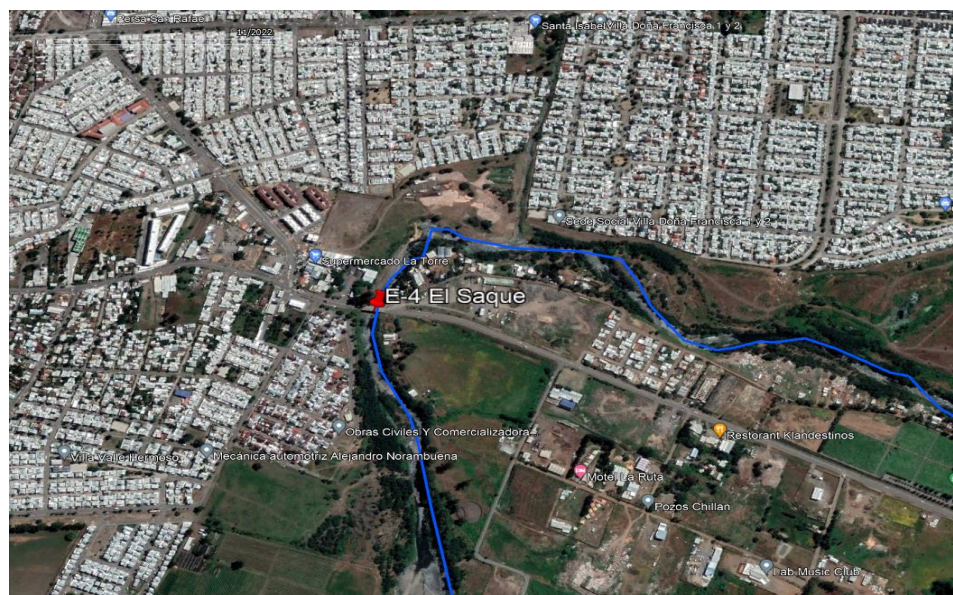


Figura 25. Imagen satelital correspondiente al año 2023 sector El Saque

5.1.3. Lajuelas (E-3): Piedras de menor tamaño (Figura 26-29), tramo del río cercano al puente Lajuelas dada la imposibilidad de acceso a un punto más adecuado. Alta alteración antrópica siendo un punto cercano al río utilizado como basural. Se aprecia actividad forestal en los alrededores del tramo objeto de medición. Presencia de algas tanto superficiales como sumergidas, y caudales variados en distintos puntos del tramo.

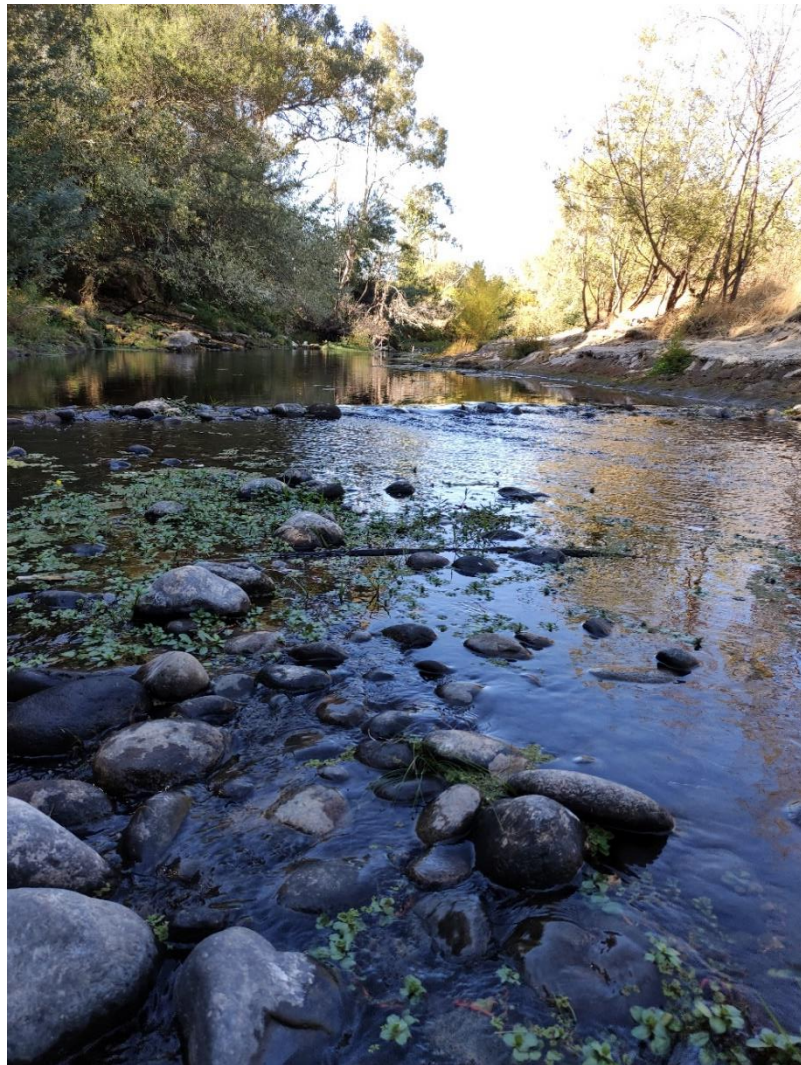


Figura 26. Vista central de la estación E-3.



Figura 27. Piedras de distintos tamaños, se logra apreciar una orilla sólida no formada por piedras pequeñas.

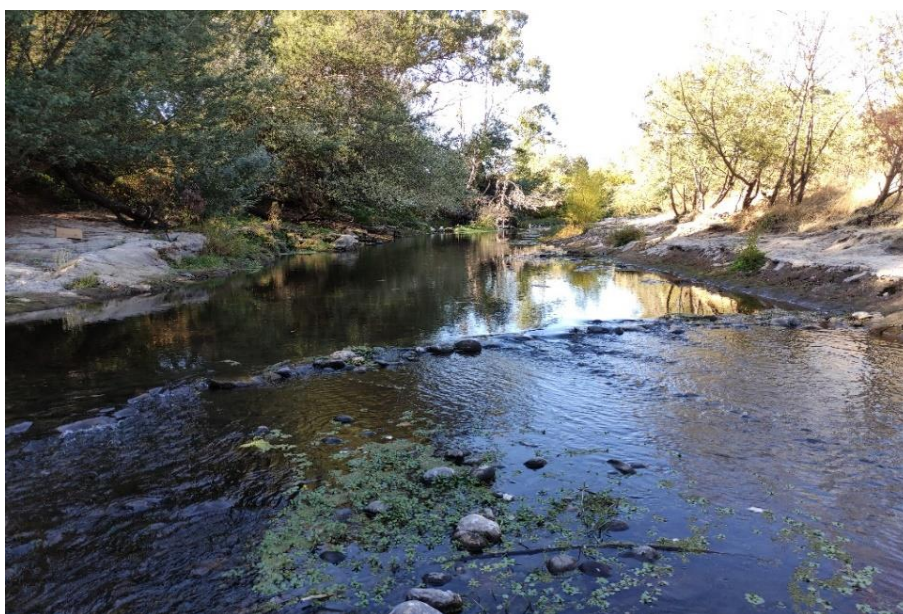


Figura 28. Formación de zona con rápidos someros producto de acción antrópica.



Figura 29. Zona de toma de muestras en la estación Lajuelas.

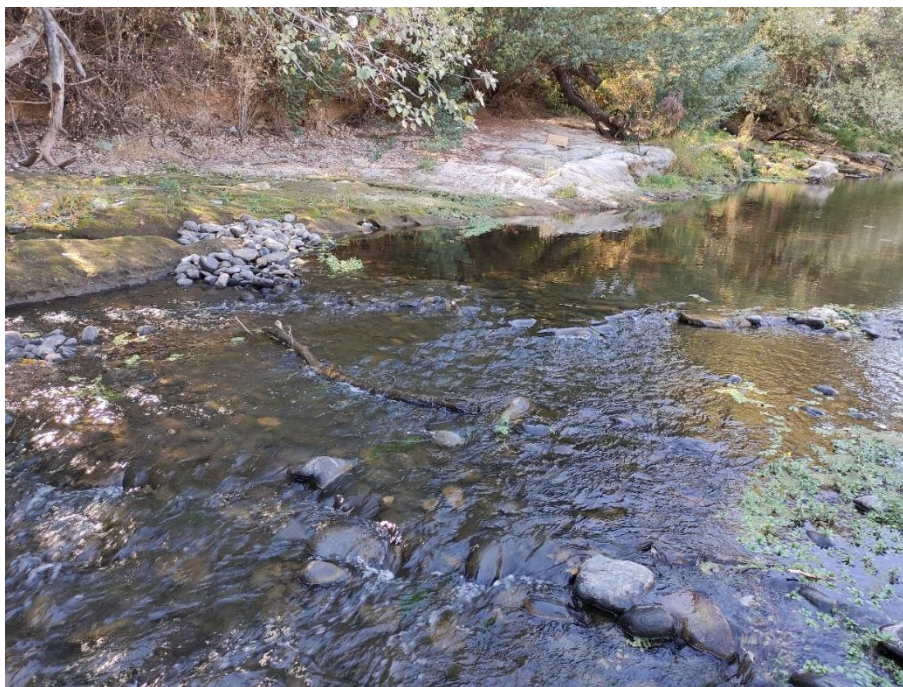


Figura 30. Vista de la orilla norte de la estación Lajuelas.

5.1.4. Bellavista (E-4): Piedras de mucho mayor tamaño dada la falta de orilla como tal, tramo del río mucho más profundo y caudaloso, alta presencia de algas sumergidas de tamaño grueso y fuerte adherencia a las piedras del fondo. Se logran apreciar carpas en el tramo de río seleccionado, nula intervención antrópica.



Figura 31. Vista general de la estación E-4.

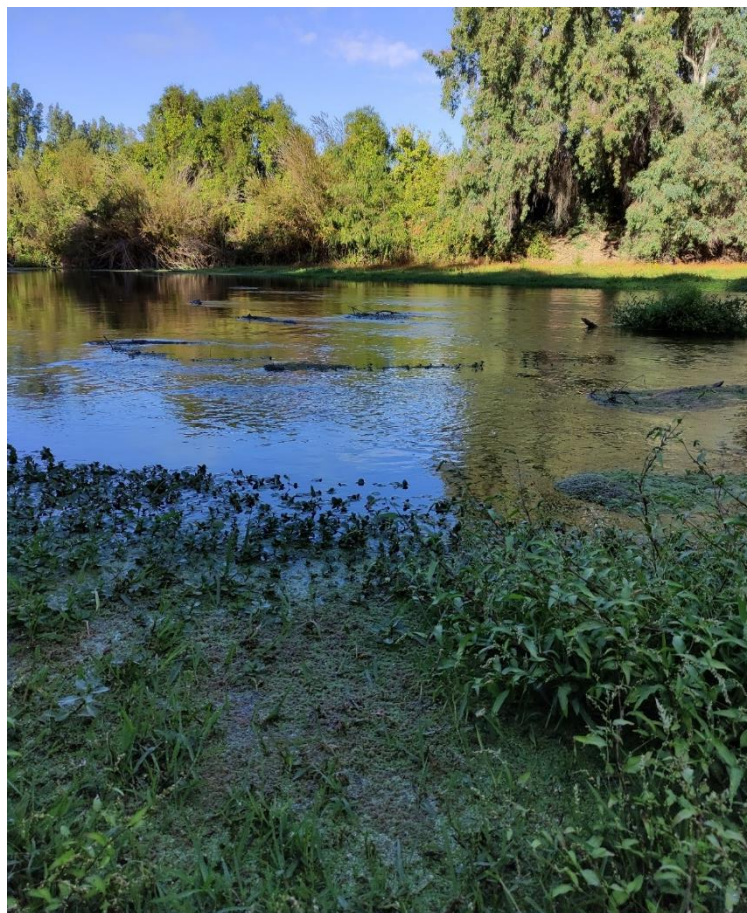


Figura 32. Presencia de macrófitos en la orilla del cauce.



Figura 33. Vista de la vegetación presente en la orilla de la estación.



Figura 34. Vista río abajo de la estación donde se evidencia la inexistencia de orilla formada por piedras como en estaciones anteriores.

En Bellavista se puede destacar que el sitio de la medición en comparación con el utilizado por Figueroa (Figura 35) es bastante similar, presentando en ambos casos alta vegetación sobre las orillas y una muy baja actividad antrópica, sin embargo, se aprecia alto desarrollo de macrófitos indicando el exceso de nutrientes que llega a este sector.



Figura 35: Imagen extraída de “Calidad ambiental de la cuenca hidrográfica del río Chillán”, Figueroa, 2004.

Algo a destacar es que, el río, pese a ser un bien de uso público se encuentra cerrado o cercado en la mayoría de sus accesos, por lo que la bajada a sus orillas se vio limitada al área circundante a los puentes. Dentro de lo descrito por Figueroa este problema no se menciona por lo que se supone que debe ser un problema reciente debido a los loteos de terrenos a orillas del río para

distintas actividades como agrícolas, forestales, inmobiliarias de telecomunicaciones.

5.2. Valoración de los impactos observados

El grado de afectación observado en terreno en cada una de las estaciones visitadas se puede trasladar a la siguiente matriz de Leopold en la cual se consideran aspectos tales como: la irreversibilidad, correspondiente a la capacidad del medio de recuperar su condición natural; extensión, la cual corresponde a la superficie afectada; duración, el tiempo en el cual se ve afectada la zona por ciertas actividades y por último; la intensidad, la cual indica el grado impacto de la actividad en el medio.

Para poder calcular el efecto de ciertas actividades en las estaciones a cada uno de los aspectos anteriormente mencionados se le otorgó un valor de acuerdo a importancia e impacto.

Tabla 4. Escala de valores para calcular el grado de afectación sobre cada una de las estaciones

Parámetro	Escala de Medición				%
	Nula o muy baja	Baja	Media	Alta	
Intensidad	0	1	2	3	0,3
Extensión	0	1	2	3	0,2
Duración	0	1	2	3	0,2
Irreversibilidad	0	1	2	3	0,3

Tabla 5. Efecto de distintas actividades económicas desarrolladas en las cercanías de cada estación de muestreo acorde a la escala de medición.

Estación \ Actividad	Antrópica	Agrícola	Industrial	Afectación
E-1 Pinto	0,5	2,4	0	2,9
E-2 El Saque	2,6	0	2,3	4,9
E-3 Lajuelas	1,5	2,2	1,2	4,9
E-4 Bellavista	0	1,5	0	1,5

De esta manera podemos apreciar que de acuerdo a la tabla 3 siendo la estación de E-4 en conjunto con E-6 las mayormente perjudicadas por distintas actividades. Esto se condice con sus cercanías a la ciudad de Chillán y a las importantes actividades que se realizan en día con día ella.

5.3. Datos físicos-químicos

Como se mencionó con anterioridad los muestreos se llevaron a cabo en 2 oportunidades, en los cuales se evaluó las variables temperatura y pH (Tabla 6), por un lado, se observa una diferencia en la temperatura encontrada en las estaciones en ambos días, esto puede ser debido a la diferencia horaria en la cual fueron medidos los datos ya que la primera estación fue controlada aproximadamente a las 09:00 horas (GMT-04:00) mientras que la última

estación lo fue cercano a las 15:00 horas (GMT-04:00), también se puede apreciar que esta diferencia de temperatura se revierte entre el segundo día de medición debido a que el muestreo se realizó en orden inverso, es decir, el primer día el recorrido se realizó desde E-1 (sector Pinto) a E-4 (sector Bellavista) mientras que el segundo día se realizó desde E4 hasta E-1.

Tabla 6. Datos de pH y temperatura obtenidos los días 4 y 6 de abril (día 1 y 2) correspondientes a la orilla (O) y al centro (C) del cauce principal.

	Día	Ubicación	pH	T°C
Pinto	1	O	7,5	15,2
		C	7,5	14,7
	2	O	7,3	18,0
		C	7,4	17,2
El Saque	1	O	7,8	15,7
		C	7,9	15,4
	2	O	7,5	18,0
		C	7,8	17,8
Lajuelas	1	O	7,5	17,2
		C	7,8	18,6
	2	O	7,2	15,0
		C	7,2	15,2
Bellavista	1	O	7,6	19,2
		C	7,3	18,6
	2	O	7,2	16,7
		C	7,2	16,6

5.4 Identificación taxonómica

Una vez obtenidas las muestras de las estaciones se procedió a realizar la identificación taxonómica basada en La guía para la identificación de invertebrados acuáticos en Chile (Palma, 2013), la cual permite llegar a nivel solo de familia, pero suficiente para permitir el usos de los índices de calidad biológica del sistema fluvial, los resultados para cada estación y sus valores de tolerancia se resumen en las tablas 7-8 y 9.

Tabla 7. Conteo de familias encontradas en la estación E-1 (sector Pinto) y su correspondiente valor de tolerancia

Familia	N° de individuos	Valor de tolerancia
Acari	8	4
Aeglidae	9	3
Athericidae	4	2
Austroperlidae	5	1
Beatidae	21	4
Chiliniidae	25	6
Chironomidae	20	7
Cordulidae	4	5
Corydalidae	6	0
Elmidae	17	4
Gerridae	3	7
Gomphidae	3	1
Gripopterygidae	10	1
Hidrobiidae	16	7
Hydroptilidae	5	4
Lymnaeidae	13	6
Oligochaeta	11	8
Physidae	76	7
Psephenidae	4	4
Sialidae	2	4
Simulidae	8	6
Spheriidae	2	8
Total general	272	

Esta estación está caracterizada por ser la con mayor número de familias en comparación con el resto, además dentro de estas familias se encuentran algunas con valores de tolerancia muy bajos como corylidae y austroperlidae.

Tabla 8. Conteo de familias encontradas en la estación E-2 (sector El Saque) y su correspondiente valor de tolerancia

Familia	N° de individuos	Valor de tolerancia
Acari	22	4
Ancylidae	2	7
Baetidae	7	4
Chiliniidae	13	6
Chironomidae	24	7
Collembola	6	10
Cordulidae	1	5
Elmidae	5	4
Gryopterigiidae	3	1
Haliplidae	1	6
Hirudinea	1	10
Hydrobiosidae	1	0
Hyriidae	2	7
Lymnaecidae	4	6
Oligochaeta	4	8
Physidae	55	7
Simulidae	100	6
Spheridae	7	8
Total general	258	

En esta estación se pueden apreciar familias con un valor de tolerancia mucho mayor en comparación a la estación anterior como por ejemplo familias como Colembolla y Simulidae, siendo esta última la con mayor cantidad de individuos, se destaca como una familia con alta resistencia a la temperatura

y pH y que cumple un rol fundamental en la cadena trófica de algunas especies, también esta familia es capaz de generar daños económicos en actividades agropecuarias dado a que en su etapa desarrollada puede causar molestias tanto en animales como en trabajadores. (Vitta & Estay, 2017)

Tabla 9. Conteo de familias encontradas en la estación E-3 (sector Lajuelas) y su correspondiente valor de tolerancia.

Familia	N° de individuos	Valor de tolerancia
Acari	17	4
Ancylidae	7	7
Beatidae	10	4
Chiliniidae	23	6
Chironomidae	12	7
Elmidae	5	4
Hirudinea	1	10
Hydroptilidae	13	4
Lymnaeidae	15	6
Notonemuridae	6	0
Oligochaeta	4	8
Physidae	51	8
Sialidae	1	4
Simulidae	116	6
Spheridae	2	8
Total general	283	

Nuevamente en esta estación la familia con más individuos presentes corresponde a Simulidae acorde con lo afirmador por (Vitta & Estay, 2017) como una especie altamente resistente la cual puede estar presente en arroyos y ríos con corrientes leves y que en su etapa de desarrollo son capaces de adherirse a la vegetación sumergida en el agua.

Tabla 10. Conteo de familias encontradas en la estación E-4 (sector Bellavista) y su correspondiente valor de tolerancia

Familia	Nº de individuos	Valor de tolerancia
Physidae	4	8
Simulidae	21	6
Chironomidae	11	7
Hyriidae	6	7
Oligochaeta	4	8
Total general	46	

En esta estación pese a realizar los muestreos al igual que las estaciones anteriores no presento presencia representativa de macroinvertebrados por los siguientes factores: En primer lugar; la dificultad de encontrar una zona con orilla (Figura 31 y Figura 32) de fácil acceso limito el área de muestreo, en segundo lugar; La ausencia de piedras de menor tamaño en el lecho del río las cuales son esenciales ya que cumplen el rol de hábitat para los macroinvertebrados, y por ultimo; La corriente encontrada en la zona de muestreo no correspondía a la apropiada para el desarrollo y supervivencia de estos organismos. Como se mencionó anteriormente el acceso al río Chillán en ciertas zonas se vuelve dificultoso debido a la ausencia zonas para llegar a él por lo que la zona de muestreo se redujo a áreas circundantes a los puentes correspondientes de cada zona.

Sin perjuicio de lo anterior durante el desarrollo de la actividad en esta zona se pudo apreciar la presencia de peces en etapas tempranas de crecimiento.

5.5 Calidad biológica a través del índice IBF

Los resultados obtenidos a través de la aplicación del IBF (tabla 11) indican un rango de calidad entre 5,46 y 6,71 indicando una clasificación de calidad de agua entre regular y muy mala, teniendo un claro deterioro a lo largo del cauce debido al paso de este por la urbe de la ciudad encontrando su peor punto en E-4 sector Bellavista, que, pese a las dificultades para el muestreo se evidencia una clara disminución en la variabilidad de familias encontradas por muestra. Al comparar estos resultados con los obtenidos por Figueroa y otros (2007) podemos apreciar que los valores obtenidos actualmente se encuentran dentro del mismo rango que indicaron una calidad de regular a mala, no obstante, si comparamos las fechas de medición más próximas a las realizadas en este estudio podemos observar un ligero empeoramiento en el índice.

Tabla 11. Índice correspondiente a cada estación y comparación con los resultados obtenidos por Figueroa (2007).

Estación	Valor del índice	Calidad	Índice de Figueroa y otros (2007)	Calidad de Figueroa y otros (2007)
E-1	5,46	Regular, Perturbado	5,21-6,54	Regular a malo
E-2	6,16	Malo, Muy perturbado	6,60-7,05	Malo, muy perturbado
E-3	6,03	Regular, Perturbado	4,78*	Regular, perturbado
E-4	6,71	Malo muy perturbado	7,06-7,98	Malo a muy malo

6. DISCUSIÓN

De acuerdo con lo presentado por Figueroa (2004) y Figueroa y otros (2007) la calidad de agua ya constaba con un deterioro significativo producto de las diversas actividades que se desarrollaban a costas del río Chillán, si bien las recomendaciones fueron a tomar medidas para preservar la calidad de este cuerpo de agua, el presente estudio indica que, si bien no se ha deteriorado aún más, no se han tomado las medidas para revertir esta situación. En este mismo sentido con el pasar de los años se han aprobado distintos proyectos sobre el cauce del río como por ejemplo la “Planta de extracción de áridos Fundo Boyen” la cual se encuentra ubicada en las cercanías de E-2 sector El saque, impactando seriamente tanto en la morfología del cauce, erosión y aumento en las pendientes de las orillas pudiéndose provocar deslizamientos de las mismas. Si bien se contaba con una ordenanza municipal que regulaba la extracción de áridos en cursos de agua desde el año 2001 esta no fue suficiente y dejaba vacíos legales que eran aprovechados para la sobre extracción de este recurso, no fue hasta el año 2022 en donde se llegó a un acuerdo para poner en vigencia una nueva ordenanza el 1 de enero de 2023, un par de meses previo a la realización de este estudio, que regulara la actividad desde ahora.

Todos estos aspectos impactan negativamente en la calidad del agua acarreada por el río, misma que es utilizada para el desarrollo de diferentes actividades dentro de las cuales podemos encontrar la agricultura, siendo esta

una de las mayores actividades económicas de la región tanto para pequeños y grandes productores. Según lo informado por el reciente CENSO agropecuario la región cuenta con un total aproximado de 12.171 unidades productivas agropecuarias (UPA) las cuales son abastecidas tanto por el río Itata, río Diguillín, río Ñuble, y el río Chillán. Una parte esencial en la agricultura es contar con un riego de alta calidad ya que contar con este tipo de agua favorecerá el crecimiento y desarrollo adecuado de los cultivos teniendo un impacto favorable en la producción final, por el contrario, la presencia de algunos elementos en exceso como sales pueden afectar a la absorción de agua del cultivo o impactar en la calidad del suelo.

También dentro de los aspectos que tienen un impacto en relación a la calidad río Chillán nos encontramos la planta de tratamiento de aguas servidas de Essbio ubicada en el estero las toscas, un aportante al río Chillán previo a la estación E-3 sector Lajuelas. Esta planta de tratamientos que si bien se rige por el DS N°90 del Ministerio de Medio Ambiente que establece la norma de emisión para la regulación de contaminantes para la descarga de residuos líquidos se puede observar un impacto negativo sobre el río Chillán por la proliferación excesiva de macrófitos sobre el curso de éste debido al exceso de nutrientes posiblemente provenientes de la descarga de efluente de la planta de tratamientos sobre el estero Las Toscas. Este exceso de nutrientes también se puede apreciar en la estación E-1 sector Pinto (Figura 13) cuyo origen posiblemente sea por la fuerte actividad silvioagropecuria desarrollada

en la zona. La proliferación de estas especies acuáticas si bien afectan de otras maneras al curso de agua, como por ejemplo disminuyendo el oxígeno disuelto, se encargan de disminuir la concentración de nutrientes como el fosforo, amonio u otros (Valdes & Blanco, 2008).

7. CONCLUSIÓN

Esta investigación ha presentado resultados concluyentes sobre la calidad del río Chillán, que, pese a haber mostrado cambios significativos en su estructura hidrológica y usos a lo largo del cauce, este impacto no se tradujo con el mismo efecto en el índice calculado, encontrando similitudes con los presentados por Figueroa (2004), pese a esto y contrario de las recomendaciones a tomar para mejorar la calidad de este cuerpo de agua, se puede decir, conservando las magnitudes de ambos estudios que, no se han tomado las medidas necesarias para revertir el deterioro del río Chillán que con el pasar de los años seguirá siendo receptor de diversos contaminantes y estresores que afectaran tanto, la fauna y flora, como la actividad agrícola que se abastece del río. Actualmente las condiciones del río han cambiado drásticamente dado a que recientemente se ha apreciado un cambio meteorológico cambiando la condición de sequía en la que fue realizada la presente investigación, por lo que se recomienda realizar nuevamente un análisis basado en macroinvertebrados para dilucidar si este cambio en las condiciones pluviales de la región y el país han tenido un impacto positivo en la calidad de agua del río Chillán, así como también se recomienda desarrollar una investigación más detallada enfocada en detectar ciertos elementos perjudiciales para obtener un análisis más detallado sobre el contenido físico-químico actual de las aguas del río y determinar su futuro efecto a corto y largo plazo para poder tomar mejores decisiones basadas en la salud de este elemento hídrico tan importante para la región de Ñuble.

8. BIBLIOGRAFÍA

Caho, C., & Lopez, E. (2017). Determinación del Índice de Calidad de Agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI. *Produccion + Limpia*, 35-49.

Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2. (2015). *La megasequía 2010-2015: Una lección para el futuro*.

Cooman, K., Debels, P., Gajardo, M., Urrutia, R., & Barra, R. (2005). Use of *Daphnia* spp. for the Ecotoxicological Assessment of Water Quality in an Agricultural Watershed in South-Central Chile. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology volume*, 191–200.

Debels, P., Figueroa, R., Urrutia, R., Barra, R., & Niell, X. (2005). EVALUATION OF WATER QUALITY IN THE CHILLAN RIVER (CENTRAL CHILE) USING PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS AND MODIFIED WATER QUALITY INDEX. *Environmental Monitoring and Assessment*, 301-322.

Fierro, P., & Arismendi, I. (2021). Bioestablecimiento basado en macroinvertebrados para determinar la calidad de agua dulce en Chile. *Boletín Limnológico de Chile*, 24-28.

Fierro, P., Arismendi, I., Huges, R. V., & Jara-Flores, A. (2018). Un índice multimétrico de macroinvertebrados bentónicos para arroyos mediterráneos chilenos. *Indicadores ecológicos*, 13-23.

- Figueroa, R. (2004). *Calidad ambiental de la cuenca hidrográfica del río Chillán, VIII región, Chile.*
- Figueroa, R., Palma, A., Ruiz, V., & Niell, X. (2007). Análisis comparativo de índices bióticos utilizados en la evaluación de la calidad de las aguas en un río mediterráneo de Chile: río Chillán, VIII Región. *Revista Chilena de Historia Natural*, 225-242.
- Forero, L., Longo, M., Ramírez, J., & Chalar, G. (2014). Índice de calidad ecológica con base en macroinvertebrados acuáticos para la cuenca del río Negro (ICE RN-MAE), Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 233-247.
- Girardi, C., Gonzáles, F., Jara, S., Charte, R., Elorrieta, M., Sanchis, E., . . . Castillo, I. (2018). *Metodología de Construcción de Índice de Calidad para aguas superficiales.*
- Gonzáles, H., & Córdova, G. (2017). Índice multimétrico para evaluar el estado ecológico de los ríos andinos del sur de Ecuador. Cuenca, Ecuador.
- Martins, I., Rodrigues, D., Hughes, R., & Calisto, M. (2020). Are multiple multimetric indices effective for assessing ecological condition in tropical basins? *Ecological Indicators*, 110.
- Palma, A. (2013). *Guía para la identificación de invertebrados acuáticos en Chile.*

- Prat, N., Rios, B., Acosta, R., & Rieradvall, M. (2009). *Macroinvertebrados bentónicos Sudamericanos. Sistemática y Biología*. Tucumán.
- Sharma, R. K., & Gulati, S. (2014). Water Quality Issues and Solutions in India. *Comprehensive Water Quality and Purification*, 21-39.
- Shutter, F. M. (1970). An empirical biotic index of the quality of water in south african streams and rivers. *Water Research Pergamon Press*, 6, 19-30.
- Uddin, G., Nash, S., & Olbert, A. (2021). A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. *Ecological Indicators*.
- Valdes, Y., & Blanco, M. (2008). Algas, aliadas en el pasado y sustento para el futuro. *Tecnología Química*, XXVIII(3), 46-50.
- Vitta, N., & Estay, P. (2017). *Programa de control de simúlidos hematófagos en la provincia de Arica*. Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 344.: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/6577>
- Westall, F., & Brack, A. (2018). The Importance of Water for Life. *Space Science Reviews*, 1-23.