



Universidad de Concepción
Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas
Departamento de Botánica



Evaluación de la calidad del agua del río Maule a través del estudio de las comunidades diatomológicas y su relación con cambios generados como consecuencia de la ocurrencia de un mega incendio en su cuenca.



Seminario de título presentado a la
Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas
Para optar al título de Biólogo

POR: Cristian Sebastián Contreras Contreras
Profesor Guía: Fabiola Cruces López

mayo de 2020
Concepción, Chile.

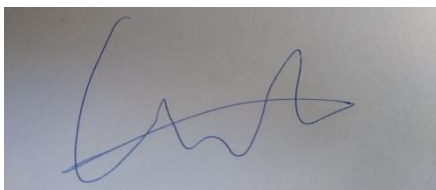
Agradecimientos

Agradezco a todos los docentes que me han formado en las distintas etapas de mi vida, creo firmemente que entregar conocimiento es un acto digno de gratificar y valorar, por lo esencial que se torna para quien lo sabe recibir. De manera especial quiero darle las gracias a la Dra. Fabiola Cruces, profesora guía de mi seminario de título, por todo el compromiso en mi formación académica y mucha paciencia con mi desarrollo, tanto académico, como personal. También agradecer al Dr. Alberto Araneda y Dr. Mauricio Aguayo, por darme la posibilidad de aprender herramientas fundamentales para el desarrollo de esta tesis y extrapolables a diversas investigaciones científicas, herramientas determinantes dentro de mi desarrollo académico, por su preocupación constante, muchas gracias. Indiscutiblemente quiero agradecer a mi familia, principalmente a Lidia Contreras mi madre, por toda su entrega a mi desarrollo, no tengo palabras para describir la mezcla de buenos sentimientos que se vienen a mi cabeza para describir mi gratitud hacia ti y espero lo comprendas, Luís Contreras mi abuelo, siempre recordarme me tengo que estudiar, aunque ya no puedas leer esto, siempre vas a estar en mi memoria, estoy seguro de que vas a estar orgulloso de esto y de muchas cosas más, Lucia caro mi abuela, por su preocupación constante en mi formación académica y personal. A todas las demás personas que indirectamente fueron parte de este proceso, realmente ¡muchas gracias

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Quien suscribe, Cristian Sebastián Contreras Contreras, 18.279.971-8 alumno de la carrera de Biología, de la Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, de la Universidad de Concepción, declara ser autor de **“Evaluación de la calidad del agua del río Maule a través del estudio de las comunidades diatomológicas y su relación con cambios generados como consecuencia de la ocurrencia de un mega incendio en su cuenca”** y conceder derecho de publicación, comunicación al público y reproducción de esa obra, en forma total o parcial en cualquier medio y bajo cualquier forma del mismo, a la Universidad de Concepción, Chile, para formar parte de la colección material o digital de cualquiera de las bibliotecas de la Universidad de Concepción y del Repositorio UDEC. Esta autorización es de forma libre y gratuita, y considera la reproducción de la obra con fines académicos y de difusión tanto nacional como internacionalmente.

Asimismo, quien suscribe declara que dicha obra no infringe derechos de autor de tercero.



.....

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Página
- Índice de tablas.....	ii
- Índice de ilustraciones.....	iv
- Índice de anexos.....	v
- Resumen.....	1
- <i>Abstract</i>	2
- Introducción.....	3
- Materiales y métodos.....	9
- Resultados.....	18
-Discusión.....	56
-Conclusión.....	65
-Bibliografía.....	67
-Anexos.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
-Tabla 1: Categorías de calidad de agua para los índices diatomológicos...	17
-Tabla 2: Especies con altos valores de abundancias relativas presentes en las comunidades estudiadas.....	21
-Tabla 3: Géneros con mayor contribución de especies.....	22-23
-Tabla 4a: Valores de índices diatomológicos de calidad de agua GDI y TDI para periodo post incendio en régimen de bajo caudal.....	45
-Tabla 4b: Valores de índices diatomológicos de calidad de agua GDI y TDI para periodo post incendio en régimen de alto caudal.....	45
-Tabla 5a: Valores de índices diatomológicos de calidad de agua GDI y TDI para periodo pre incendio en régimen de bajo caudal.....	45
-Tabla 5b: Valores de índices diatomológicos de calidad de agua GDI y TDI para periodo pre incendio en régimen de alto caudal.....	46
-Tabla 6a: Valores de índice GDI para periodos pre y post incendio en régimen de bajo caudal.....	46
-Tabla 6b: Valores de índice TDI para periodos pre y post incendio en régimen de bajo caudal.....	46
-Tabla 6c: Valores de índice GDI para periodos pre y post incendio en régimen de alto caudal.....	47
-Tabla 6d: Valores de índice TDI para periodos pre y post incendio en régimen de alto caudal.....	47
-Tabla 7: Valores arrojados por ANOSIM para cada comparación de todos los sitios.....	58
-Tabla 8: Porcentaje de usos de suelo correspondientes a un anillo de 200m para el periodo pre incendio.....	50
-Tabla 9: Porcentaje de usos de suelo correspondientes a un anillo de 200m para el periodo post incendio.....	50

	Página
-Tabla 10: Valores de largo de gradiente del primer eje de ordenación obtenidos del Análisis de Correspondencia Canónica sin Tendencia (DCA) para ambos regímenes de caudal en el periodo post incendio.....	51
-Tabla 11a: Valor-p y proporción de varianza explicada para las variables ambientales significativas en el modelo CCA del periodo post incendio en régimen de bajo caudal.....	54
-Tabla 11b: Valor-p y proporción de varianza explicada para las variables ambientales significativas en el modelo CCA del periodo post incendio en régimen de alto caudal.....	55



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

	Página
-Figura 1: Área de estudio.....	11
-Figura 2: Formula de Zelinka & Marvan (1961).....	16
-Figura 3: Fotografías de diatomeas de importancia ecológica.....	24
-Figura 4a: Riqueza de especies en el periodo post incendio.....	25
-Figura 4b: Riqueza de especies en periodos pre y post incendio.....	26
-Figura 5a: Índice de diversidad de Shannon-Weiner (H') en período post incendio.	27
-Figura 5b: Índice de diversidad de Shannon-Weiner (H') en periodos pre y post incendio.....	28
-Figura 6: Variables físico-químicas del río Maule para periodo post incendio.....	33-37
-Figura 7: Variables físico-químicas del río Maule para periodos pre y post incendio.....	38-41
-Figura 8a: Análisis de correspondencia canónica entre las comunidades de diatomeas y las variables ambientales para el periodo post incendio en regimen de bajo caudal.....	53
-Figura 8b: Análisis de correspondencia canónica entre las comunidades de diatomeas y las variables ambientales para el periodo post incendio en regimen de alto caudal.....	54

ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
-Anexo 1: Taxa y sus abundancias relativas por sitios de muestreo en los escenarios estudiados.....	73
-Anexo 2: Datos ambientales periodo post incendio en régimen de bajo cauda.....	76
-Anexo 3: Datos ambientales periodo post incendio en régimen de alto caudal.....	77
-Anexo 4: Datos ambientales periodo pre incendio en régimen de bajo caudal.....	78
-Anexo 5: Datos ambientales periodo pre incendio en régimen de alto caudal.....	78
-Anexo 6: Valores de significancia y proporción de varianza explicada por cada variable en el modelo CCA para el periodo post incendio en régimen de bajo caudal.....	79
-Anexo 7: Valores de significancia y proporción de varianza explicada por cada variable en el modelo CCA para el periodo post incendio con régimen de caudal.....	80
-Anexo 8: Riqueza de especies en ambos periodos y regímenes de caudal.....	81
-Anexo 9: Diversidad de especies en ambos periodos y regímenes de caudal.....	81

RESUMEN

En el verano del año 2017 la parte baja de la cuenca del río Maule se vio afectada por incendios de gran magnitud, los cuales produjeron cambios en el ecosistema. El objetivo general de este trabajo es evaluar los cambios en la calidad del agua del río Maule producto de la ocurrencia de estos megaincendios en su cuenca, la investigación se basa en el estudio de las comunidades diatomológicas presentes en el lugar, las variables fisicoquímicas del agua y los usos de suelo del territorio. Se realizaron campañas de muestreo en periodos pre y post incendio donde se colectaron muestras representativas de las comunidades de diatomeas bentónicas, se midieron los parámetros físico-químicos del agua y se determinaron los usos de suelo de la cuenca del río. Se identificaron las especies de diatomeas y se calcularon índices ecológicos clásicos como diversidad y riqueza de especies, e índices específicos de calidad de agua como lo son el índice GDI y TDI, se analizaron las variables ambientales y su relación con las comunidades diatomológicas. Los resultados obtenidos muestran una disminución en la riqueza y diversidad de especies posterior al incendio, además el índice de calidad de agua TDI arrojó una disminución en la calidad del agua en los sitios afectados, mientras que los análisis multivariados muestran una fuerte relación entre las áreas quemadas y las comunidades presentes en el lugar.

ABSTRACT

In the summer of 2017, the lower part of the Maule River basin was affected by large fires, which produced changes in the ecosystem. The general objective of this work is to evaluate the changes in the water quality of the Maule River as a result of the occurrence of these megafires in its basin, the research is based on the study of the diatomological communities present in the place, the physicochemical variables of the water and the land uses of the territory. Sampling campaigns were carried out in pre- and post-fire periods where representative samples of the benthic diatom communities were collected, the physical-chemical parameters of the water were measured and the land uses of the river basin were determined. Diatom species were identified and classical ecological indices such as diversity and species richness, and specific water quality indices such as the GDI and TDI index were calculated, environmental variables and their relationship with diatomological communities were analyzed. The results obtained show a decrease in the richness and diversity of species after the fire, in addition the TDI water quality index showed a decrease in the quality of the water in the affected sites, while the multivariate analyzes show a strong relationship between the areas. burned and the communities present in the place.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas fluviales a través de su evolución se ven influenciados por diversos procesos naturales o de origen antrópico ocurridos dentro de los límites de su cuenca, los cuales pueden generar cambios en sus condiciones ambientales a través del tiempo. En este sentido, durante las últimas décadas se ha producido un gran aumento de las actividades humanas en todo el mundo, lo que ha generado una fuerte presión sobre los sistemas acuáticos, los que en muchos casos han experimentado cambios en la calidad de sus aguas.

El río Maule se encuentra en la VII Región y posee una cuenca que abarca una superficie de 20.295 km², siendo la cuarta mayor en extensión del país. Los principales usos de suelo de la cuenca son: terrenos agrícolas, bosque nativo, plantaciones forestales, praderas y áreas sin vegetación. Mientras que las actividades económicas más determinantes, desarrolladas en torno a la cuenca son la agricultura, piscicultura, industria forestal y la industria manufacturera, las cuales sustentan la mayor parte de los ingresos de la región.

En Chile, principalmente durante el período de verano, se producen numerosos incendios forestales ocasionados fundamentalmente por la acción del hombre. Se ha estimado que en promedio en cada período de incendios forestales se queman aproximadamente 52.000 hectáreas, siendo terrenos con praderas, matorrales y plantaciones forestales los más afectados por los daños (CONAF 2017). Durante el verano de 2017 en la zona centro-sur de Chile se desarrollaron los más grandes incendios registrados en la historia del país (De la Barrera & Ruiz 2017). En este contexto, el incendio denominado “Las Máquinas”, fue uno de los de mayor impacto y afectó principalmente la parte baja de la cuenca del río Maule, en las comunas de Empedrado, Cauquenes, Constitución y San Javier. El incendio comenzó el día 20.01.2017 a 12 km al norte de la ciudad de Cauquenes y se controló el día 09.02.2017, alcanzando una superficie de aproximadamente 184.000 Ha. El mayor crecimiento del incendio se produjo entre los días 25 y 26 de enero en los que aumentó 116.000 ha. Este crecimiento se explica por las elevadas velocidades de propagación e intensidades del fuego que se produjeron como consecuencia de un escenario complejo conformado por varios factores como la meteorología extrema, la sequía acumulada, la alta carga de combustible disponible y la simultaneidad de los incendios (CONAF 2017).

La ocurrencia de incendios es considerada como una de las perturbaciones más abruptas e importantes que pueden ocurrir en una cuenca fluvial

(Whitlock 2001). El efecto directo de éstos son los cambios en los usos de suelo debido a la pérdida de la vegetación, lo que puede traer como consecuencia un aumento de la escorrentía, que promueve la entrada de sedimentos al cuerpo de agua luego de eventos de precipitación (Markgraf et al. 2007). Entre los efectos indirectos se encuentran los cambios en la calidad de agua, asociados con una alta entrada de nutrientes, lo que puede conducir a un aumento de la producción primaria total, cambios en los ciclos biogeoquímicos y cambios en la composición de las comunidades biológicas (Schelske et al. 1999; Philibert et al. 2003; Smith et al. 2006; McWethy et al. 2010).



Las comunidades algales constituyen uno de los principales componentes biológicos presentes en los ecosistemas fluviales, y dado su rol ecológico como base de las tramas tróficas acuáticas, son indispensables para el funcionamiento de estos ecosistemas.¹ Entre estas comunidades, las diatomeas (Bacillariophyceae) representan el grupo de microalgas más importantes en los ríos, debido a su riqueza de especies y biomasa (Douglas & Smol 1999). Desde el punto de vista morfológico y estructural, las diatomeas se caracterizan por poseer una pared celular compuesta de sílice, conformada por dos partes, formando lo que se denomina frústulo. Este frústulo puede tener diversas formas y lleva sobre él una serie de ornamentaciones que son

usadas para su identificación y clasificación en diferentes niveles taxonómicos.

Por otra parte, las diatomeas tienen ciclos de vida cortos, una distribución cosmopolita y algunos géneros y especies se caracterizan por presentar rangos estrechos de tolerancia frente a ciertas variables ambientales, como los cambios en la química del agua, de modo que son altamente sensibles y responden en cortos períodos de tiempo a cambios en las condiciones del ambiente, como lo son la alcalinidad, la concentración de nutrientes, la presencia de metales pesados u otros, lo que las convierte en organismos idóneos para su empleo como indicadores ecológicos de sistemas acuáticos. (Verb & Vis 2000; Potapova & Charles 2003, 2007; Soininen 2007).

Esta respuesta ecológica de las especies de diatomeas ha sido usada para considerarlas como un excelente bioindicador de calidad de agua fluvial. Así, se han desarrollado algunos índices diatomológicos para estimar la calidad del agua basados principalmente en los niveles de nutrientes y grados de contaminación orgánica en los ríos, por ejemplo, el Índice Trófico de Diatomeas (TDI), y el índice Genérico de Diatomeas (GDI) son algunos de los índices desarrollados para evaluar la calidad del agua de los ríos, basados en

la composición de las comunidades de diatomeas presentes en ellos (Coste In Cemagref 1982; Kelly & Whitton 1995; Rumeau & Coste 1988).

En base a los puntos anteriormente planteados, el objetivo de esta investigación es evaluar los cambios en la calidad del río Maule, a causa de la ocurrencia de mega incendios en su cuenca, a través del estudio de las comunidades de diatomeas bentónicas presentes en los distintos sitios establecidos en la parte baja del río, la cual fue la más afectada por los incendios, se hará la comparación de un periodo anterior con el año inmediatamente posterior al evento catastrófico. El análisis de la calidad del agua se calculará mediante los índices diatomológicos TDI y GDI, los cuales se basan en el conteo e identificación de las diatomeas representantes de la comunidad. Además, se estudiarán las características fisicoquímicas del agua y se determinarán las proporciones relativas de los usos del suelo en los sitios muestreados, para establecer su relación con las comunidades de diatomeas presentes en el área.


De acuerdo a todo lo planteado anteriormente, se pretende establecer que:

1. Como los ecosistemas acuáticos están sometidos a las influencias de los procesos o actividades que ocurren en sus cuencas, la ocurrencia de incendios de gran magnitud en la cuenca del río Maule generará una

disminución en la calidad del agua en los sitios afectados, la cual puede ser evidenciada mediante el estudio de las comunidades de diatomeas bentónicas presentes en el río.

El objetivo general de este trabajo es evaluar la calidad del agua del río Maule antes y después de la ocurrencia de un megaincendio en su cuenca, mediante el estudio de las comunidades de diatomeas.

Para ello se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- 
1. Determinar la flora diatomológica existente en el río Maule de forma previa y posterior a la ocurrencia de un megaincendio en su cuenca.
 2. Determinar las variables ambientales tanto de la comuna agua, como del territorio, antes y después del incendio.
 3. Relacionar las variables ambientales con la composición de las comunidades de diatomeas presentes en el área de estudio.

MATERIALES Y METODOS

Área de estudio

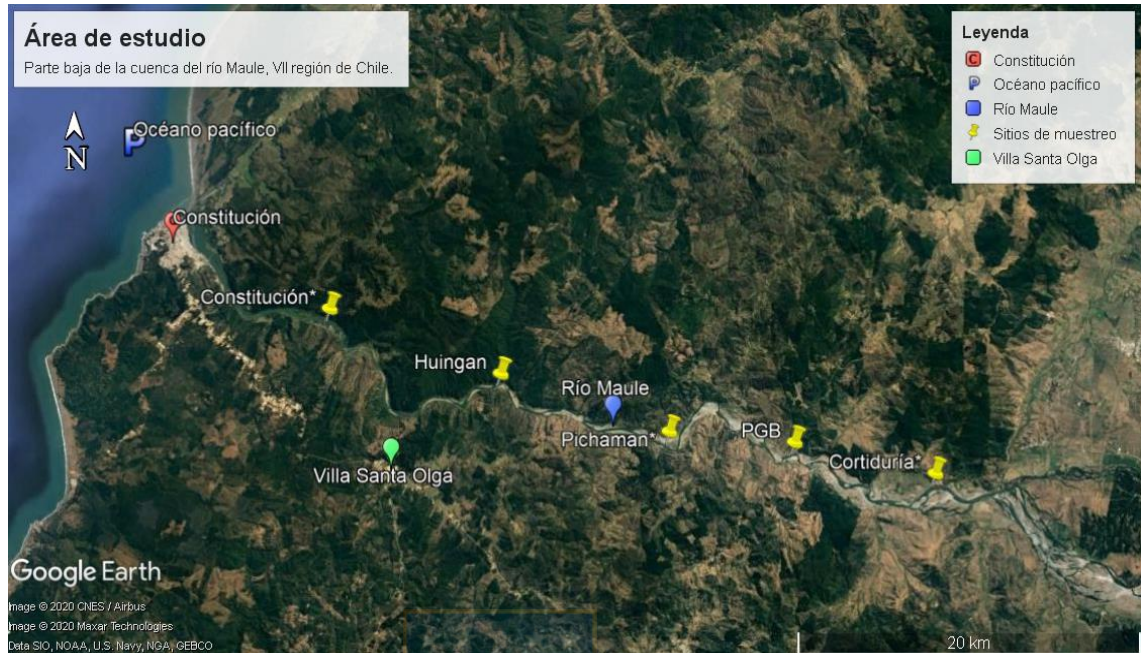
La cuenca del río Maule ubicada en la VII región de Chile, es una de las cuatro más importantes del país. Con una extensión de 20.295 km² y una longitud de 240 km, se ubica entre los 35°35' y 35°50' S; 70°49' y 71°04'W. El río Maule tiene un origen andino, se caracteriza por su escurrimiento torrencial y régimen mixto con crecidas pluviales en invierno, nivales en primavera y comienzos de verano, y estiaje pronunciado en otoño (Niemeyer & Cereceda 1984).

El río Maule está bajo la influencia de un clima mediterráneo y sus formaciones vegetaciones principales incluyen: matorrales, praderas, bosques y terreno agrícola. Las principales actividades económicas de la cuenca son agrícolas, actividades industriales, plantaciones forestales y actividades comerciales.

Sitios de muestreo

Se seleccionaron cinco localidades de trabajo ubicadas en la parte baja del río Maule, el primer sitio se definió en una zona intermedia entre los sectores rurales de Cortiduría y El Morro pertenecientes a la comuna de Penciahue, este sitio se denominó “Cortiduría”, el segundo sitio se definió en el sector Poeta González Bastias, ubicado en la comuna de Penciahue y se denominó por temas prácticos por sus iniciales “PGB”, el tercer sitio se definió en el sector Pichaman, estos tres sitios se caracterizan por estar ubicados en sectores con una fuerte explotación ganadera y agrícola, mientras que el cuarto sitio se estableció en el sector Huingan y el quinto en el sector Piedra del lobo, también por temas prácticos se denominó como “Constitución” por su cercanía a la ciudad, estos tres últimos están ubicados en la comuna de Constitución, son áreas que presentan amplios territorios con plantaciones forestales, y asentamientos urbanos industrializados. Los sitios de muestreo Pichaman, Huingan y Constitución son los más cercanos a la desembocadura del río y además los más afectados por los incendios, mientras que los sitios Cortiduría y PGB fueron definidos en áreas localizadas río arriba, las cuales fueron menos afectadas por el evento catastrófico (Figura 1).

Figura 1: Área de estudio.



Obtención muestras de diatomeas.

En cada sitio se muestrearon las comunidades de diatomeas bentónicas a partir del raspado de una superficie de aproximadamente $3 \times 3 \text{ cm}^2$ de piedras sumergidas en las orillas. Todo el material extraído se depositó en un recipiente de plástico, utilizando etanol como fijador, de esta manera se pueden guardar las muestras y llevar al laboratorio hasta el momento del análisis. En cada sitio se analizaron dos réplicas.

La identificación de las especies de diatomeas se basa en la observación de las estructuras presentes en el frústulo, por lo cual fue necesario limpiar y eliminar la materia orgánica de las muestras. Para esto se extrajo una alícuota de las algas en suspensión y se oxidó con ácido sulfúrico concentrado, ácido oxálico y permanganato de potasio según la metodología de Hassle & Fryxell (1970). Luego, se realizaron preparaciones permanentes que fueron montadas con resina Naphrax (ri: 1,74). En cada muestra se contaron e identificaron al menos 300 valvas con un microscopio óptico a un aumento de 1000 (Bate & Newall 1998), también se utilizó microscopía electrónica de barrido, especialmente en el caso de aquellas especies que no pudieron ser identificadas con exactitud con microscopía fotónica. El microscopio electrónico utilizado fue el JEOL JSM-6380LV. Los taxa se determinaron de acuerdo con literatura taxonómica específica, como Krammer & Lange-Bertalot 2000, 1991; Rumrich et al. 2000 y Rivera et al. 1982.

Usos del suelo.

Las coberturas de uso de suelo fueron facilitadas por el Laboratorio de Geomática e Informática Aplicada del Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile. Estas coberturas corresponden a catastros realizados por CONAF, para la región del Maule el año 2016 anterior a los incendios y coberturas correspondientes al catastro de incendios a nivel país para el año 2017.

La cuenca del río Maule abarca 1.754.816 hectáreas aproximadamente, en las cuales se pueden diferenciar 5 usos de suelo predominantes: 40% corresponde a bosques, 22,1% a terrenos agrícolas, 20,6% a praderas y matorrales, 12,3% a áreas desprovistas de vegetación y 1,4% a cuerpos de agua. Alrededor de 140.000 hc de la cuenca fueron afectadas por los incendios ocurridos en el verano de año 2017, siendo los terrenos correspondientes a la parte baja de la cuenca de río los más afectados por este evento.

La manipulación de las coberturas se realizó utilizando el software ArcGIS 10.1 (ESRI, Redlands, California, USA) con las distintas herramientas de geoprocursos que este posee, se definieron los usos de suelo para la cuenca hidrográfica del río Maule, ya que las coberturas correspondían a la región

geográfica de la región del Maule. Luego se agruparon los usos de suelo definiendo nuevas categorías generalizadas de uso fácilmente identificables en un mapa: bosques, terrenos agrícolas, cuerpos de agua y matorrales y praderas, sectores sin vegetación y áreas incendiadas.

Para conocer aquellos usos más cercanos al cuerpo de agua, se realizarán buffers y anillos de 200, 500 y 1000 metros respectivamente, en base a los cuales se determinará el porcentaje de uso de suelo en cada uno de los segmentos trazados.



Determinación de las variables ambientales.

Para la caracterización física y química del agua, en cada punto donde se muestrearon las comunidades de diatomeas, se midió *in situ* la temperatura, pH, conductividad y oxígeno disuelto utilizando medidores portátiles. Para el resto de las variables físico-químicas analizadas (amonio, cadmio, calcio, cloratos, cloritos, cloruros, cobre, fluoruro, fósforo total, hierro, litio, manganeso, nitrógeno total, nitratos, nitritos, orto-fosfato, potasio, plomo, sodio, sólidos suspendidos totales, sulfato y zinc) se tomaron muestras de agua en cada sitio, para su posterior análisis en laboratorio.

Los procedimientos químicos siguieron metodologías estándar para el análisis de estos parámetros en la columna de agua (métodos estándar de la American Public Health Association APHA 1995).

Análisis de los datos.

Según las comunidades de diatomeas identificadas en cada sitio de muestreo se determinó la abundancia, la riqueza de especies (S) y el índice de diversidad (Shannon & Weaver 1963). Los datos biológicos (composición y abundancia de cada taxa), y los físico-químicos se analizaron mediante un análisis multivariado para establecer la relación entre ellos.

En primer lugar, tanto para las variables ambientales como para las abundancias relativas de especies, se hizo una prueba de normalidad. Los datos biológicos y físico-químicos obtenidos, se analizaron mediante un análisis multivariado exploratorio de Correspondencia Canónica sin Tendencia (DCA) utilizando el programa R Project con su paquete de análisis ecológicos vegan, este análisis se realizará para determinar de acuerdo a los datos obtenidos, si es conveniente utilizar un modelo lineal de análisis RDA (Análisis de Redundancia) o un método de evaluación unimodal CCA (Análisis de Correspondencia Canónica), para ello se utilizó el valor crítico de largo de

gradiente recomendado por Leps & Smilauer 2003, quienes señalan que un valor menor a 3 es recomendable emplear un modelo de análisis lineal y por sobre un valor 4 un modelo unimodal. Mientras que para aquellos valores entre el rango 3 - 4 es conveniente realizar ambos métodos de ordenación y elegir aquel que entregue un mayor porcentaje de explicación en sus ejes. Para graficar los resultados se utilizará el programa R Project, con su paquete de gráficos ggplot2. Finalmente, para establecer la calidad del agua a lo largo del río se calcularán los índices diatomológicos TDI (índice trófico de diatomeas) y el índice GDI (índice genérico de diatomeas) mediante el software OMNIDIA versión 5.3. Ambos índices, con sus respectivas modificaciones, se basan en la fórmula de Zelinka & Marvan 1961 (figura 2). La calidad que puede tomar el agua en base a los valores obtenidos para cada índice se describe en la tabla 1. Para establecer si existen diferencias significativas en cuanto a las comunidades de diatomeas en los sitios para sus registros pre y post incendio se realizó la prueba de hipótesis ANOSIM.

Figura 2: Formula de Zelinka & Marvan (1961), en la cual se basan los cálculos de los índices diatomológicos TDI y GDI.

$$\text{ÍNDICE: } \frac{\sum A \cdot s \cdot v}{\sum A \cdot v}$$

Donde, A = abundancia (proporción) de la especie, v = valor indicador (1-3) de la especie y s = sensibilidad a la contaminación (1-5) de las especies.

Tabla 1: Categorías de calidad de agua para los índices diatomológicos TDI y GDI.

Categorías	TDI	GDI
Muy mala calidad	>75	<9
Mala calidad	60-75	9-12
Calidad moderada	50-60	12-15
Buena calidad	35-50	15-17
Excelente calidad	<35	>17

RESULTADOS

Composición de las comunidades diatomológicas

De la observación de las muestras obtenidas en cada uno de los sitios de muestreo a lo largo del río Maule, para los periodos pre y post incendio y en los distintos regímenes de caudal, alto y bajo caudal, se identificaron un total de 82 especies distintas de diatomeas, de las cuales 63 fueron encontradas en el periodo pre incendio y 73 en el periodo post incendio. Al comparar la totalidad de los taxa en ambos periodos, se encontraron 48 especies compartidas, 15 especies identificadas solo en periodo pre incendio, 25 especies identificadas solo en periodo post incendio a lo largo del gradiente ambiental estudiado (tabla 2). Respecto a las especies dominantes o con abundancias relativas máximas superiores al 20% en los diferentes conteos, *Fragilaria construens* (figura 3a), diatomea penada, sin rafe, con un notorio esternon que recorre el centro de sus valvas uniendo sus extremos apicales, con espinas marginales que bordean el contorno de sus valvas, las cuales le permiten unirse con sus pares valva con valva para así formar cadenas de

células adheridas a las rocas, tal como lo muestra la figura 3b, alcanzó esta categoría en todos los escenarios estudiados, con abundancia máxima de 22,7% en periodo pre incendio con régimen de bajo caudal, 32,1% en periodo pre incendio con régimen de alto caudal, 61,4% en periodo post incendio con régimen de bajo caudal y 62,2% en periodo post incendio con régimen de alto caudal. *Nitzschia fonticola* (figura 3d) por otra parte, con valvas notoriamente lanceoladas, amplias en el centro y de ápices subcapitados, con rafe en ambas valvas, formando con la valva opuesta un canal que lo contiene, de este modo esta estructura característica de la familia Nitzchiaceae, se denomina rafe canal, alcanzó esta categoría solo en periodo pre incendio con régimen de bajo caudal, con una abundancia máxima relativa de 20,3%, mientras que *Navicula lanceolata* (figura 3c), tal como su nombre indica, con valvas notoriamente lanceoladas, amplias en el centro y de ápices redondeados, con rafe en ambas valvas, con una notoria área central no perforada, estrías radiadas en el centro y convergentes en sus ápices, además de sus característico foramen linear, propio del género al cual pertenece, alcanzó la categoría de dominante solo en el escenario pre incendio con régimen de alto caudal, con una abundancia relativa máxima de 32,3%. *Melosira varians* (figura 3d) por su parte, una diatomea céntrica, caracterizada por su forma cilíndrica (figura 3e) y presentar caras valvares ligeramente convexas, con gran cantidad de procesos labiados en ellas, alcanzó una alta abundancia, precisamente del 22,6% en periodo post incendio con régimen de alto caudal. Finalmente *Aulacoseira granulata*, de

frústulo cilíndrico, con manto valvar profundo y con grandes areolas cuadradas, además de prominentes espinas que propician su unión para formar colonias filamentosas, alcanzó una abundancia máxima de 18,9% en el periodo pre incendio con régimen de bajo caudal (tabla 2). De acuerdo con los resultados obtenidos, es posible indicar que son pocas las especies que presentan abundancias altas en las comunidades identificadas en el río Maule, mientras que muchas especies presentan bajas abundancias, y que en la mayoría de los casos no sobrepasan el 4,0% (tabla 12).



Tabla 2: Especies con altos valores de abundancias relativas presentes en las comunidades estudiadas.

Especies	Pre incendio						Post incendio									
	Bajo caudal			Alto caudal			Bajo caudal					Alto caudal				
	COR	PCH	CON	COR	PCH	CON	COR	PGB	PCH	HUI	CON	COR	PGB	PCH	HUI	CON
<i>Fragilaria construens</i>	19,5	22,7	2,5	8,2	17,5	32,1	37,1	44,4	51,1	65,9	61,4	24,5	16,3	27,8	15,8	62,2
<i>Melosira varians</i>	5,1	4,1	6,3	15,9	15,4	9,0	5,7	5,6	4,0	1,3	3,3	22,6	14,3	8,7	6,6	4,6
<i>Navicula lanceolata</i>	0,8	0,2	2,5	32,3	19,8	24,4	0	0	0,3	0	0	1,3	0	0	0	0
<i>Nitzschia fonticola</i>	3,3	20,3	7,6	5,7	7,6	2,5	0,4	0,6	0,7	1,8	0,6	3	0,5	0,8	1,8	0,9
<i>Aulacoseira granulata</i>	2,0	2,3	18,9	1,4	0,2	1,9	0	0	0	0	0,9	0,9	0	1,4	1,2	0,9

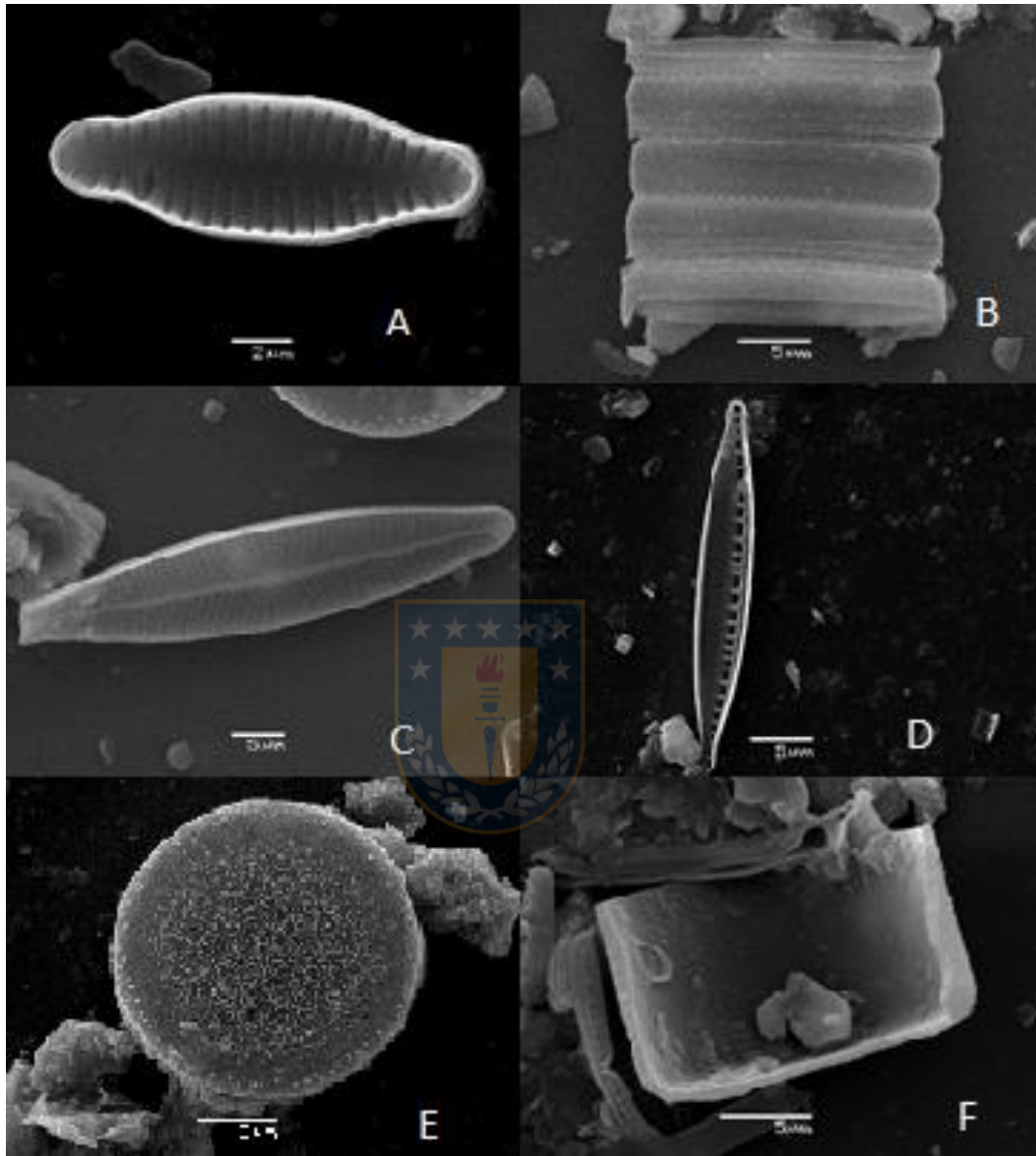
Mientras que los géneros con mayor representación de especies dentro de las comunidades estudiadas, son principalmente: *Nitzschia* con 15 especies, *Navicula* con 12 especies y *Fragilaria* con 7 especies distintas (tabla 3), donde destacan algunas de las diatomeas con más altas abundancias, mencionadas anteriormente (tabla 3)

Tabla 3: Géneros con mayor contribución de especies.

Género	Especies
<i>Nitzschia</i>	<i>Nitzschia filiformis</i>
	<i>Nitzschia dissipata</i>
	<i>Nitzschia fonticola</i>
	<i>Nitzschia amphibia</i>
	<i>Nitzschia inconspicua</i>
	<i>Nitzschia agnita</i>
	<i>Nitzschia palea</i>
	<i>Nitzschia amplactes</i>
	<i>Nitzschia lacumm</i>
	<i>Nitzschia alpina</i>
	<i>Nitzschia paleaformis</i>
	<i>Nitzschia radiducla</i>
	<i>Nitzschia tabellaria</i>
	<i>Nitzschia vermicularioides</i>
	<i>Nitzschia brevissima</i>
<i>Navicula</i>	<i>Navicula racens</i>
	<i>Navicula rhynchocephala</i>
	<i>Navicula radiosa</i>
	<i>Navicula sp.</i>

	<i>Navicula tripunctata</i>
	<i>Navicula lanceolata</i>
	<i>Navicula cryptotenella</i>
	<i>Navicula gregaria</i>
	<i>Nitzschia brevissima</i>
	<i>Navicula antonii</i>
	<i>Navicula striolata</i>
	<i>Navicula cryptotenelloides</i>
<i>Fragilaria</i>	<i>Fragilaria construens</i>
	<i>Fragilaria tenera</i>
	<i>Fragilaria capucina</i>
	<i>Fragilaria pinnata</i>
	<i>Fragilaria vaucheriae</i>
	<i>Fragilaria pulchella</i>
	<i>Fragilaria pararumpens</i>
	<i>Fragilaria leptosauron</i>

Figura 3: Fotografías de diatomeas de importancia ecológica,



Respecto a la riqueza de especies, valor que hace referencia al número de especies presentes en una comunidad particular, se observó que en el periodo post incendio en la mayoría de los registros, exceptuando a Constitución, los valores fueron más altos en condiciones de alto caudal, en esta condición la tendencia de la riqueza es a disminuir de manera progresiva y constante río abajo, mientras que en condiciones de bajo caudal la riqueza no muestra una tendencia clara, disminuyendo y aumentando su valor río abajo (figura 4a). Al establecerse la comparación entre ambos periodos pre y post incendio y en ambos regímenes de caudal, los valores más altos de riqueza en términos generales se registran en el periodo pre incendio, respecto al periodo post incendio (figura 4b).



Figura 4a: Riqueza de especies en el periodo post incendio

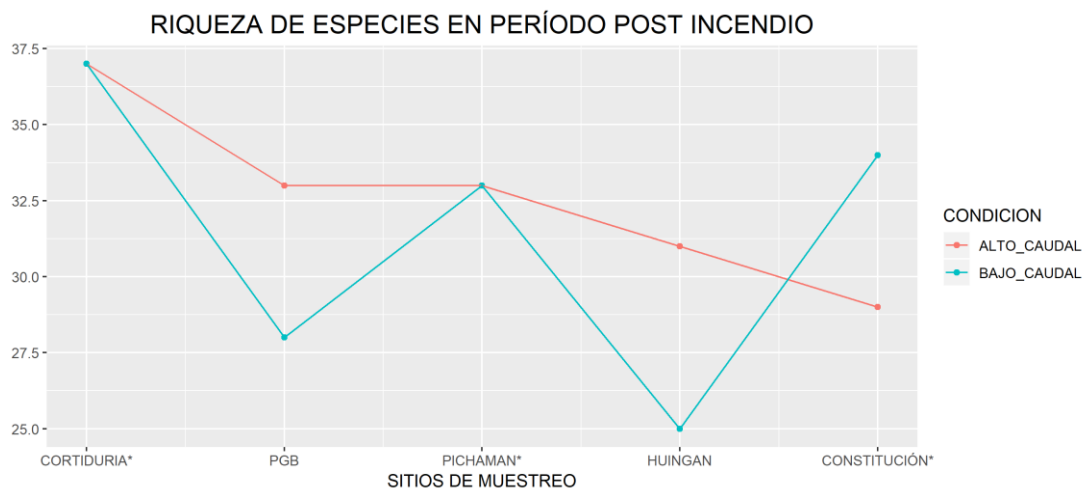
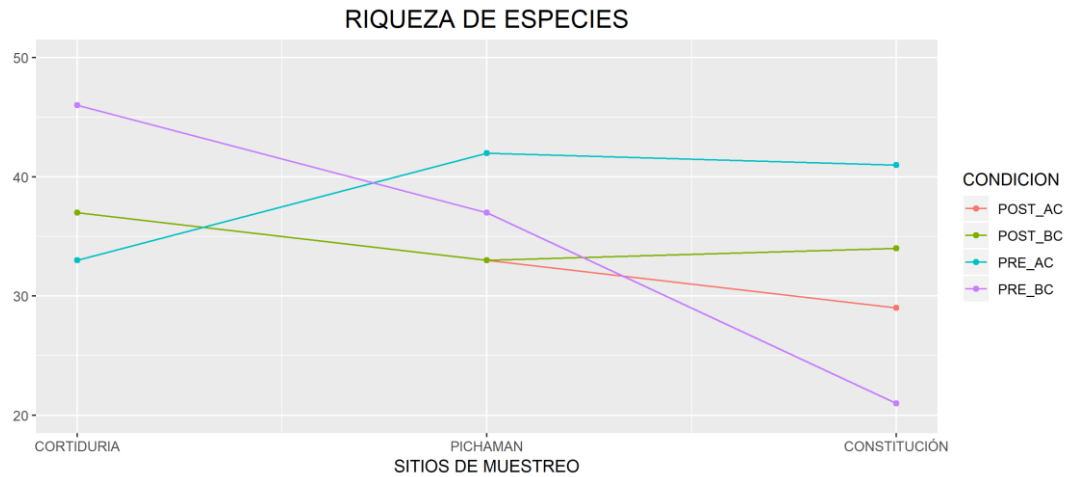


Figura 4b: Riqueza de especies en periodos pre y post incendio.



En cuanto a la diversidad de especies de diatomeas, calculada mediante el índice de Shannon-Weaver (H'), la comparativa entre ambos regímenes de caudal en el periodo post incendio arroja valores más altos en régimen de alto caudal respecto a bajo caudal en todos los sitios muestreados, fluctuando todos los valores entre 1,5-3.0 (figura 5a). Mientras que en la comparativa entre ambos periodos pre y post incendio, los valores de diversidad de especies en términos generales son mayores en el periodo pre incendio respecto a post incendio en ambos regímenes de caudal (figura 5b).

Figura 5a: Índice de diversidad de Shannon-Weiner (H') en período post incendio

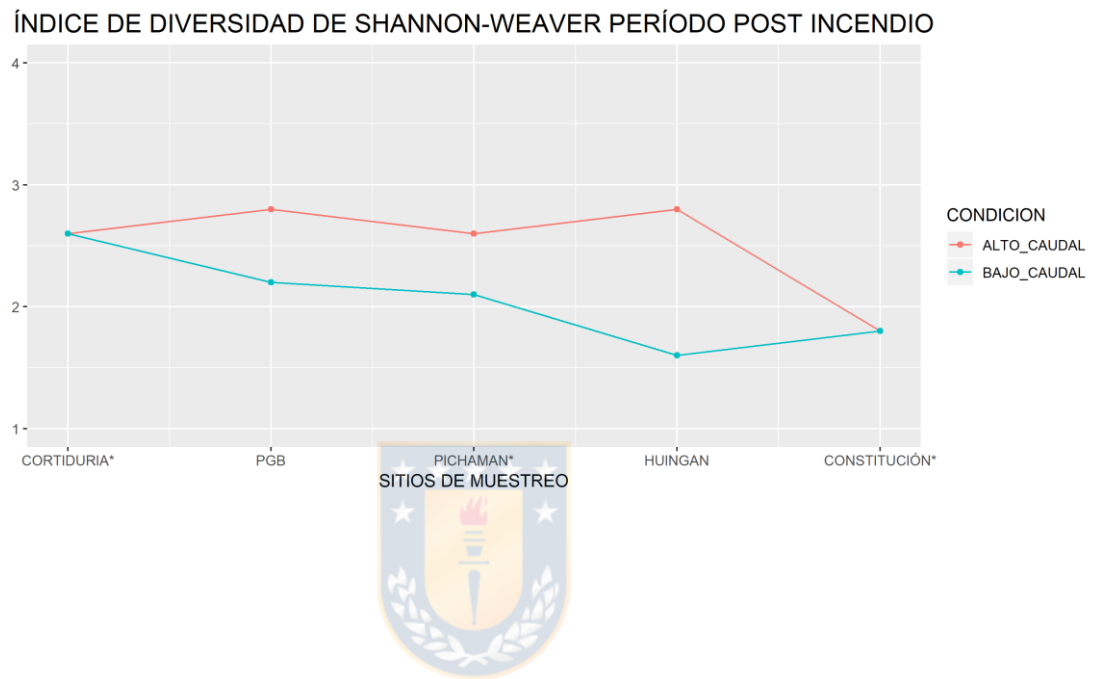
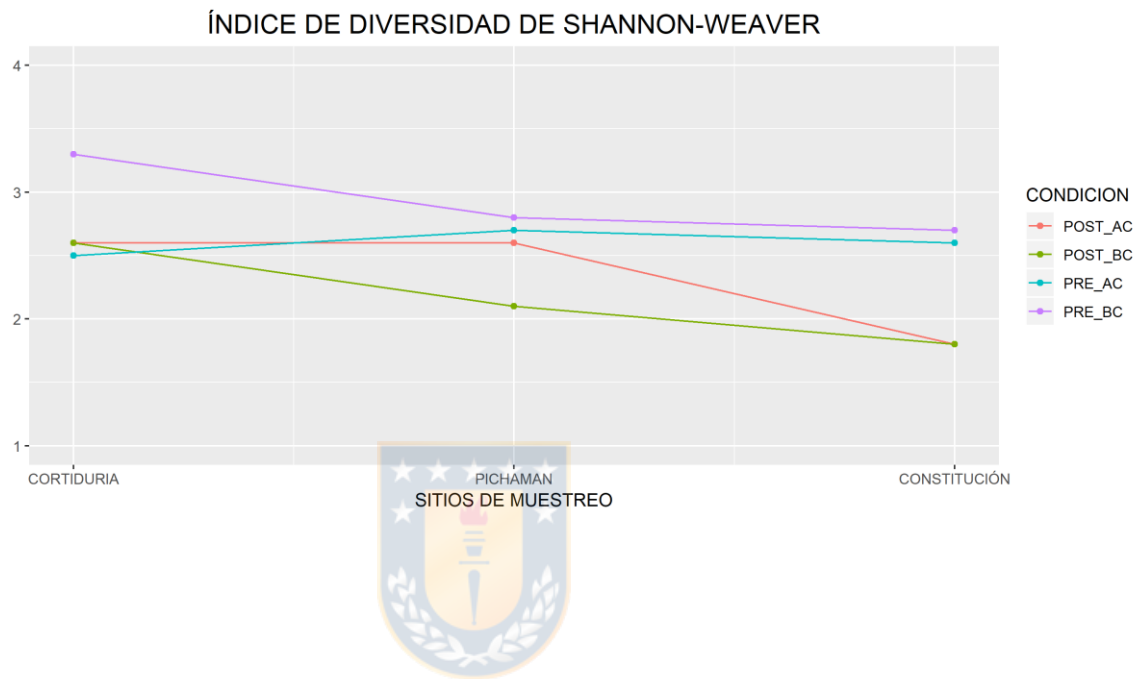


Figura 5b: Índice de diversidad de Shannon-Weiner (H') en periodos pre y post incendio.



VARIABLES AMBIENTALES

Los datos químicos del río Maule, medidos en cada sitio de muestreo, tanto *in situ* como con determinación de sus concentraciones en laboratorio.

- A) Conductividad: Para los sitios muestreados en el periodo post incendio, la conductividad eléctrica se mantuvo estable en ambas condiciones, en régimen de bajo caudal todas las mediciones se situaron entre los 200-225 (μS), mientras que en regímenes de alto caudal los sitios presentaron valores cercanos a 75 (μS). Al comparar

los sitios comunes en los muestreos pre y post incendio la gráfica nos muestra una diferencia considerable en el sitio más cercano a la costa “Constitución” en periodo pre incendio en ambos tipos de régimen, los valores en los demás sitios y casos comparados se mantienen con valores bajos y constantes.

B) Ortofosfato (OrtoP): En el periodo post incendio los registros muestran mayores concentraciones de ortofosfato en régimen de alto caudal, las cuales río abajo van en aumento, mientras que, en régimen de bajo caudal, todas las mediciones se mantienen constantes en valores bajo el nivel de detección con valores de 0,02 mg/L en todos los sitios. En la comparativa de ambos periodos y en ambos regímenes, el valor más alto se registró en Curtiduría en el periodo pre incendio con régimen de bajo caudal, valor que registró una fuerte caída para los demás sitios río abajo, manteniéndose bajo el nivel de detección en las siguientes mediciones, mientras que, en el mismo periodo, pero con régimen de alto caudal, solo se registraron valores bajo el nivel de detección en todos los sitios. Del mismo modo se comportaron los registros post incendio en régimen de bajo caudal, por otra parte, y a diferencia de los registros anteriores, en el escenario post incendio y con régimen de alto caudal, se midieron valores más altos que oscilan entre 0,05 y 0,09 mg/L.

C) Fósforo total: En el periodo post incendio y en régimen de bajo caudal, el fósforo total mostró su valor más alto en Curtiduría (sitio rio arriba, no afectado por incendios) de 0,09 mg/L, mientras que en lo demás sitios se mantuvo constante con valores de 0,05 mg/L en esta condición. En el caso de régimen de alto caudal, todas las mediciones arrojaron valores bajo el límite de detección. En la comparativa de ambos periodos, pre y post incendio y en ambos regímenes (alto y bajo caudal), se registraron los valores más altos en Curtiduría, siendo 0,11 y 0,09 mg/L respectivamente. Estos valores bajan de manera considerable rio abajo, y luego se mantienen relativamente estable llegando a Constitución, en el caso de régimen de alto caudal los valores son más bajos, en el periodo pre incendio las mediciones disminuyen rio abajo de manera progresiva con valores entre 0,05-0,03 mg/L, mientras que en el periodo post incendio se mantiene constante en todos los sitios con mediciones de 0,02 (mg/L).

D) Nitrógeno total: En el periodo post incendio, en ambos regímenes (alto y bajo caudal), el nitrógeno total registra sus valores más altos en Curtiduría, con valores de 0,84 y 1,13 mg/L respectivamente, mientras que los demás registros mostraron una disminución en ambos escenarios. En el caso de régimen de bajo caudal, los valores oscilaron entre 0,6 y 0,8 mg/L, mientras que en régimen de alto caudal estos registraron valores un poco más bajos, oscilando entre 0,5 y 0,7 mg/L. En la comparativa de ambos periodos y en ambos regímenes, se

obtuvieron los valores más altos en el periodo post incendio, en régimen de bajo caudal el valor más alto se presentó en Curtiduría, con un valor de 1,13 mg/L, el cual disminuyó río abajo. Para el caso de alto caudal, los valores en general fueron más bajos que en régimen de bajo caudal, pero mostraron la misma tendencia al disminuir río abajo. Por otra parte, los registros en el periodo pre incendio se mantuvieron bajos respecto al periodo post incendio y constantes en ambos regímenes, oscilando entre 0,03 y 0,1 mg/L.

E) Oxígeno disuelto (OD): En el periodo post incendio, los registros de oxígeno disuelto mostraron valores más altos en todos los sitios para el régimen de alto caudal respecto a condiciones de bajo caudal, y en ambos casos con una disminución en su concentración río abajo. En la comparativa de ambos periodos y en ambos regímenes, las mayores concentraciones se registraron en periodo post incendio y en situación de alto caudal para todos los sitios, para todos los escenarios la tendencia es aumentar su concentración en Pichiman respecto a curtiduría y luego disminuir en Constitución respecto a Pichiman en todos los escenarios, excepto en periodo pre incendio y régimen de bajo caudal, donde en este tramo se registra un leve aumento en su concentración.

F) pH: En el periodo post incendio los registros de pH muestran valores más altos en régimen de bajo caudal, en todos los sitios excepto Cortiduria, fluctuando los valores entre 6 y 8, mientras que, en régimen

de alto caudal, los registros se mantienen relativamente constantes, fluctuando entre 6 y 6,5, habiendo variaciones leves entre los registros. En la comparativa de ambos periodos y en ambos regímenes, los registros fluctúan entre 6 y 8,5 en todos los escenarios, con una tendencia al aumento río abajo, exceptuando la condición post incendio de régimen alto caudal, que presenta una leve disminución en su registro más cercano a la costa.

G) Sólidos suspendidos totales: En el periodo post incendio los registros muestran valores más altos de sólidos suspendidos totales en regímenes de alto caudal respecto a condiciones de bajo caudal en todos los sitios, exceptuando Pichiman, donde los valores coinciden con un valor de 6 mg/L, en ambas condiciones los registros van en aumento conforme se avanza río abajo. En la comparativa de ambos periodos y en ambos regímenes, los valores más alto en términos generales son registrados en el periodo post incendio en régimen de alto caudal, registrándose su pico en el sitio de Constitución, en términos generales se observan valores más altos en periodos post incendio respecto periodo pre incendio.

H) Hierro: Para el periodo post incendio los registros de hierro tienden a tener valores más altos en periodo de alto caudal, donde fluctúan entre 0,04-0,07 (mg/L), respecto a bajo caudal donde los valores aumentan río abajo, con valores fluctuantes entre 0,01-0.04 mg/L. En la comparativa con el periodo anterior, se observar valores más altos en

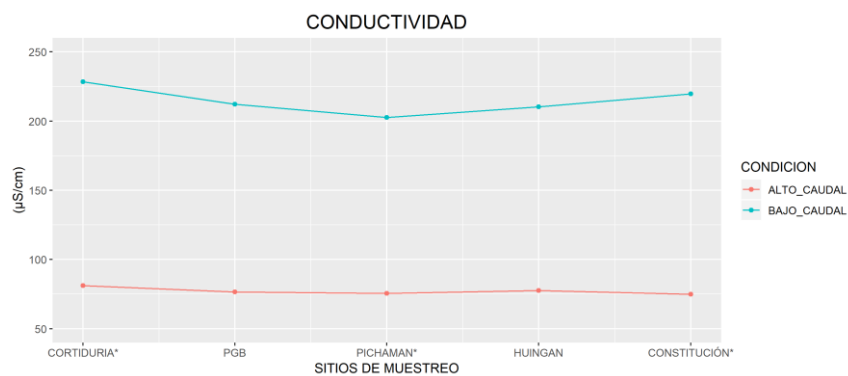
el periodo post incendio con régimen de alto caudal en todos los sitios comparados.

- l) Manganeso: Respecto al manganeso, solo se encuentran registros para el periodo post incendio, donde en régimen de bajo caudal en todas las mediciones se registran valores bajo el límite de detección, mientras que en régimen de alto caudal rio abajo van disminuyendo progresivamente, dándose un pico abrupto en el sitio más costero “Constitución”.

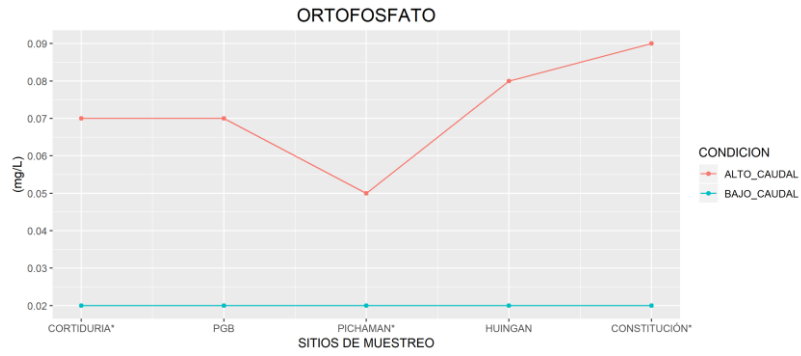
Figura 6: Variables físico-químicas del río Maule para periodo post incendio



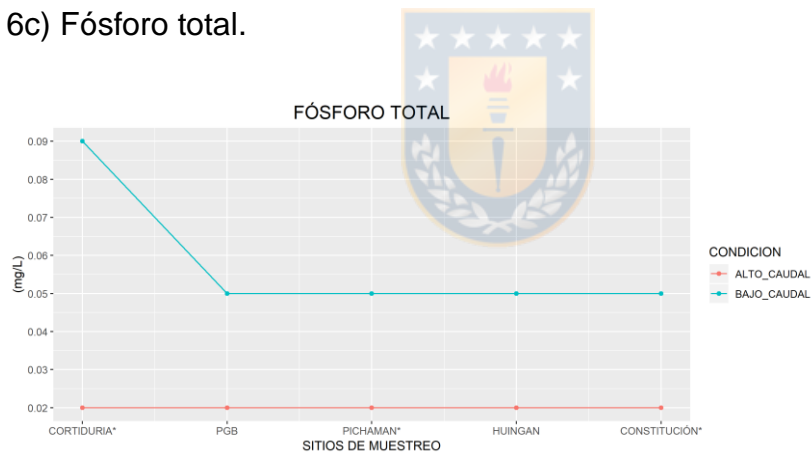
6a) Conductividad.



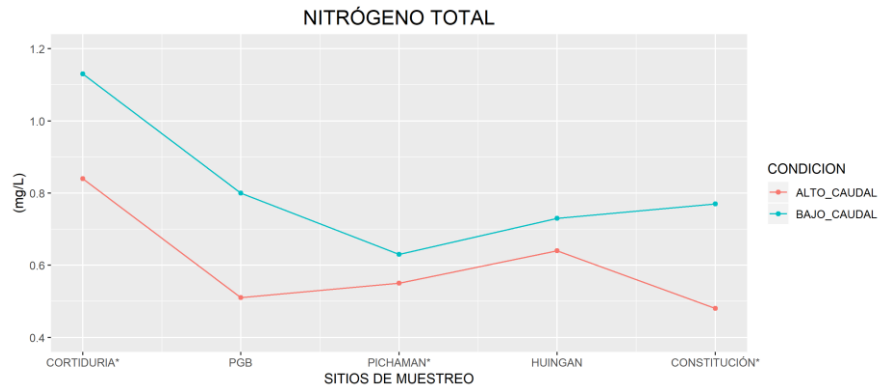
6b) Ortofosfato (OrtoP).



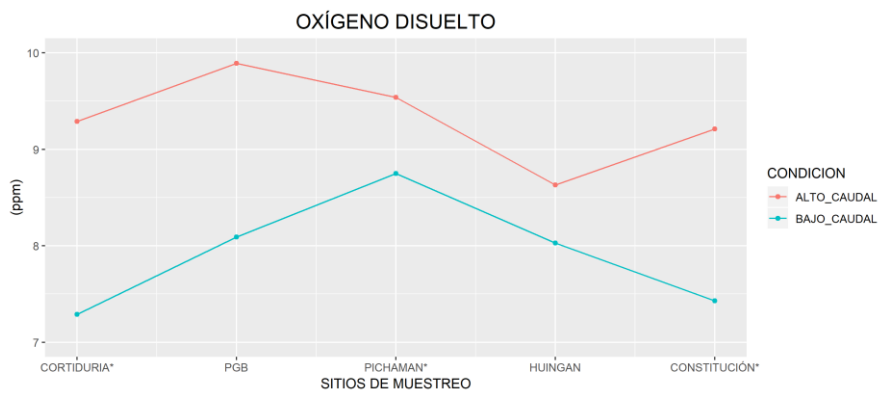
6c) Fósforo total.



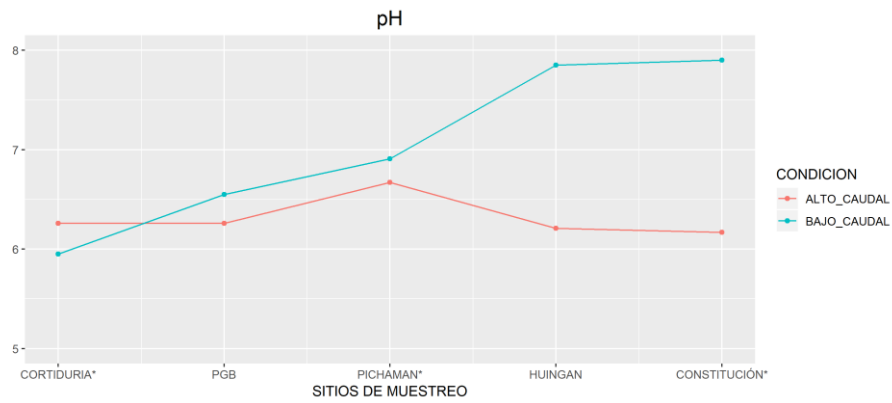
6d) Nitrógeno total.



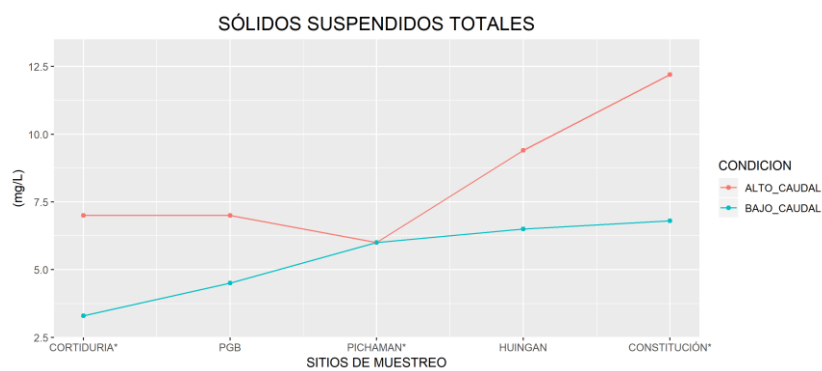
6e) Oxígeno disuelto (OD).



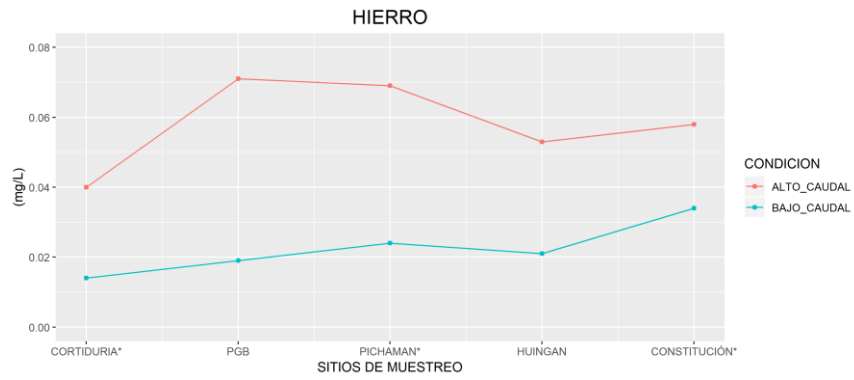
6f) pH.



6g) Sólidos suspendidos totales (SST).



6h) Hierro.



6i) Manganeso.

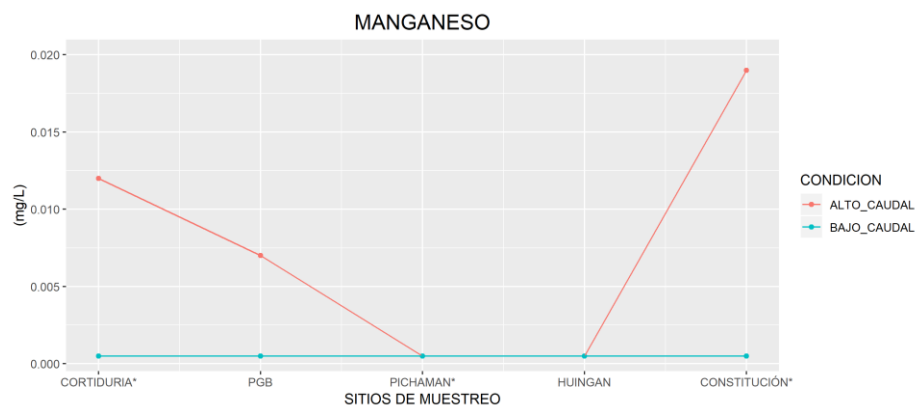
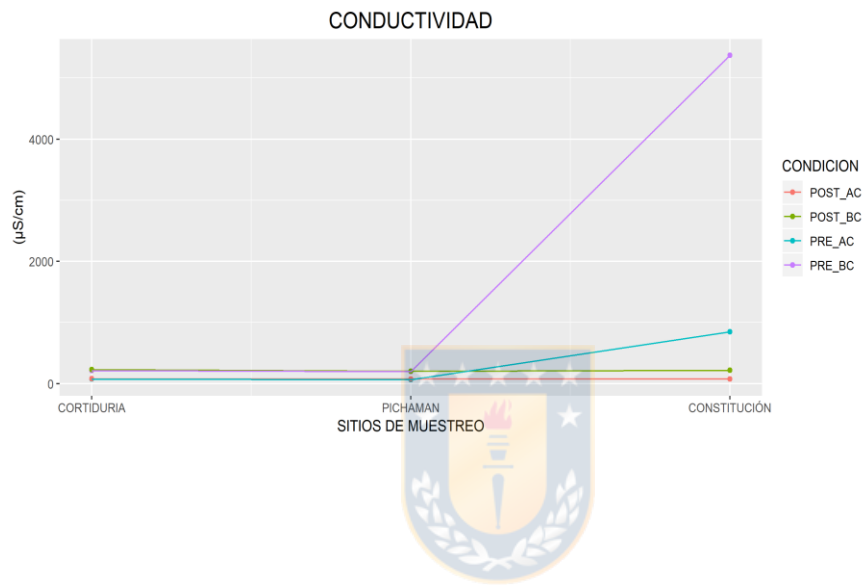
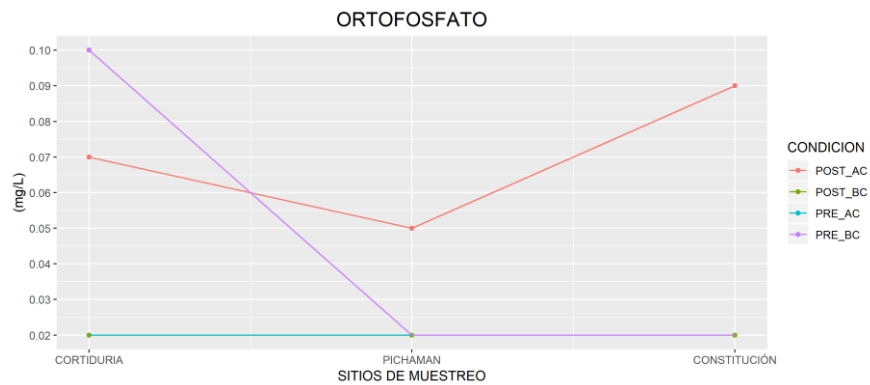


Figura 7: Variables físico-químicas del río Maule para periodos pre y post incendio.

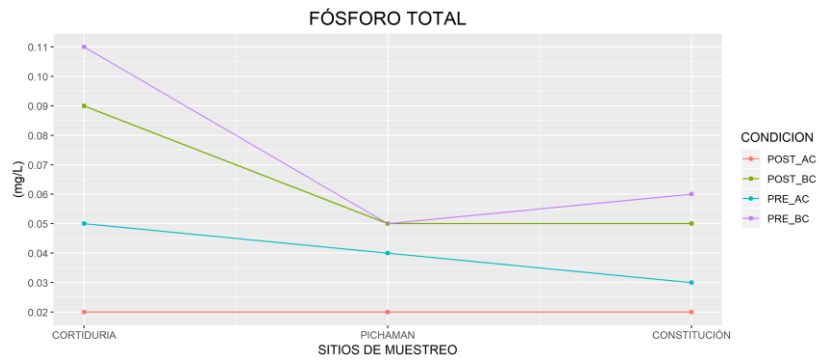
7a) Conductividad.



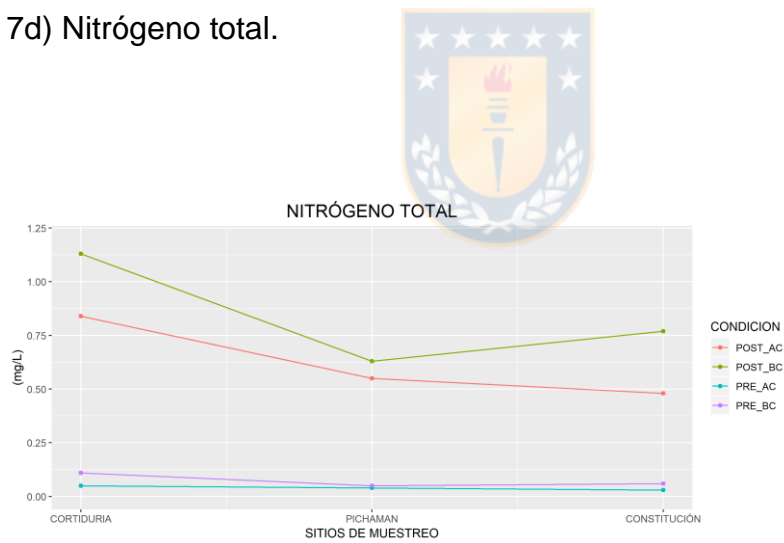
7b) Ortofosfato (OrtoP).



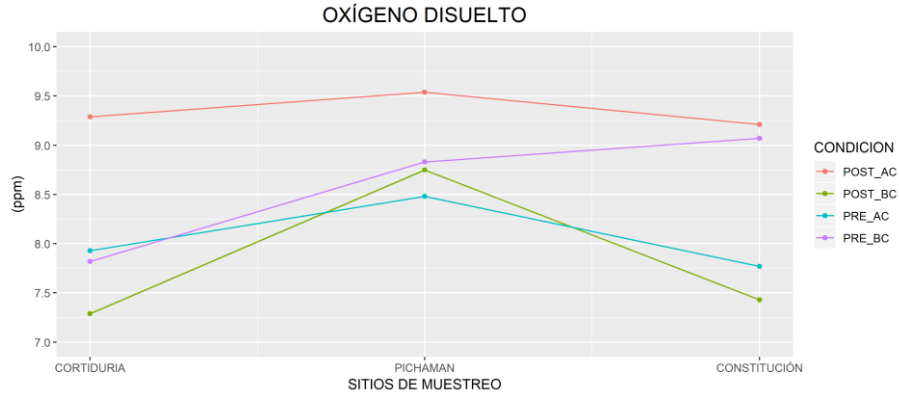
7c) Fósforo total.



7d) Nitrógeno total.



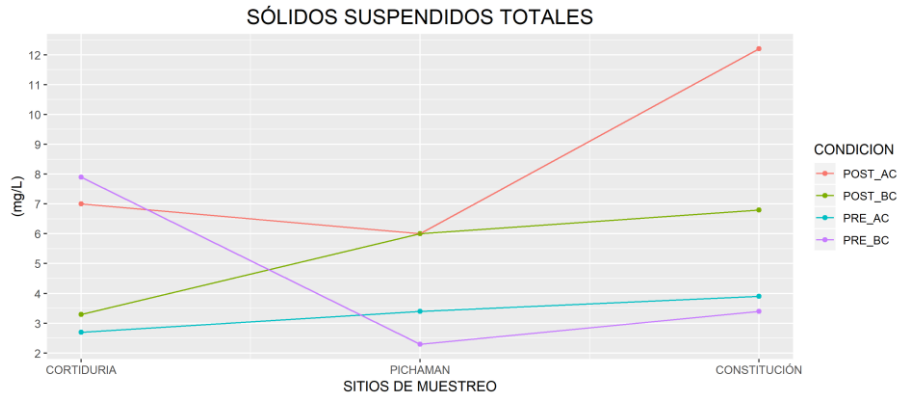
7e) Oxígeno disuelto



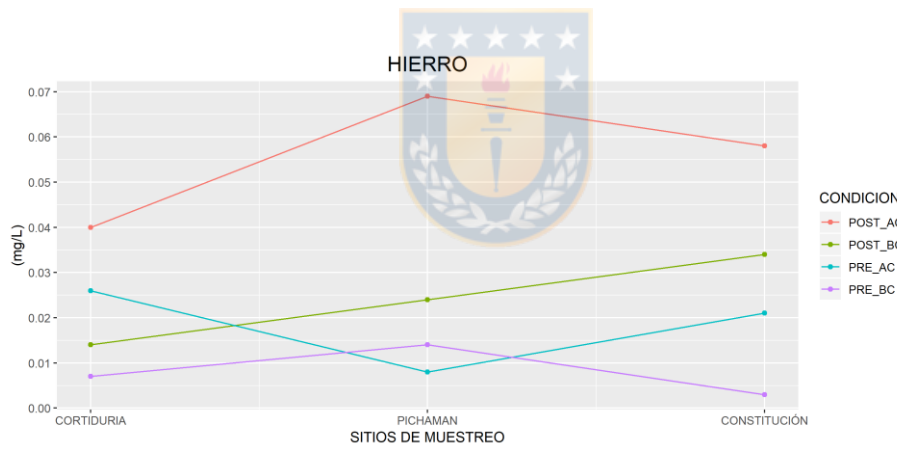
7f) pH



7g) Sólidos suspendidos totales (SST),



7e) Hierro



Índices diatomológicos de calidad de agua.

Respecto a los Índices diatomológicos de calidad de agua GDI y TDI calculados en el río Maule, para el periodo post incendio, en régimen de bajo caudal el índice GDI arrojó a lo largo de todos los sitios muestreados valores que clasifican la calidad del agua como moderada. Por su parte, el índice TDI muestra una mayor sensibilidad, mostrando una tendencia a disminuir la calidad del agua río abajo, pasando de una excelente calidad en los sitios más alejados de la costa, a una buena calidad en los sitios río abajo, exceptuando el sitio PGB que muestra una buena calidad, a diferencia de sus sitios contiguos (tabla 4a)

En régimen de alto caudal la tendencia es similar, el índice GDI arroja valores de calidad moderada a lo largo de todo el gradiente estudiado, mientras que el índice TDI clasifica todos los sitios muestreados de excelente calidad, exceptuando a Constitución, el sitio más costero, el cual presenta una disminución de calidad respecto a los demás sitios, calificado con una buena calidad del agua. (tabla 4b)

Por otra parte, para el periodo pre incendio en régimen de bajo caudal, ambos índices no muestran una tendencia clara, en el caso del índice GDI, Curtiduría el sitio más río arriba es clasificado con una calidad moderada, Pichaman, el

sitio intermedio es calificado con una mala calidad, mientras que el sitio más río abajo Constitución presenta una buena calidad de sus aguas (tabla 5a). En tanto, el índice TDI muestra resultados bastante disimiles respecto al índice GDI, clasificando a Curtiduría y Constitución con una excelente calidad de sus aguas, y a Pichaman lo clasifica con una buena calidad. Por otra parte, para el régimen de alto caudal, el índice GDI califica a Curtiduría con una buena calidad, mientras que a los demás sitios río abajo los califica con una excelente calidad de sus aguas, del mismo modo el índice TDI muestra valores que califican a los 3 sitios muestreados con una excelente calidad de agua (tabla 5b).



Finalmente, la comparativa de los sitios muestreados en común para los periodos pre y post incendio, en régimen de bajo caudal, el índice GDI para Curtiduría, el sitio más río arriba muestreado y no afectado por los incendios, mantiene la misma calidad de agua en ambos periodos, calificándose como de calidad moderada. En Pichaman, lugar que fue fuertemente afectado por los incendios, la calidad mejoró levemente, pasando de una clasificación de mala calidad en el periodo pre incendio a una calidad moderada en el periodo post incendio. Por último, Constitución, sitio también fuertemente afectado por los incendios, pasó de tener una buena calidad en periodo pre incendio a una calidad moderada en el periodo post incendio (tabla 6a).

Respecto a los valores obtenidos por el índice TDI, los valores indican que Curtiduría mantuvo su calidad de agua, calificada como de excelente calidad por este índice, Pichaman paso de tener una buena calidad a una excelente calidad, y Constitución empeoró su calidad de agua, pasando de excelente, a buena calidad (tabla 6b). En el caso de los cambios en la calidad del agua en régimen de alto caudal, el índice GDI indica que solo el sitio de Curtiduría cambió su calidad del agua en periodo post incendio respecto al periodo pre incendio, pasando de buena a una calidad moderada, mientras que los demás sitios río abajo se mantuvieron con una calidad moderada de sus aguas (tabla 6c). Los valores registrados por el índice TDI para este régimen de caudal,



muestran sólo cambios en la calidad del agua en el sitio de Constitución, pasando de tener una excelente calidad en periodo pre incendio, a una buena calidad en periodo post incendio. El resto de los sitios (Curtiduría y Pichaman) mantienen su misma clasificación de excelente calidad para los dos periodos estudiados (tabla 6d).

Tabla 4a) Valores de índices diatomológicos de calidad de agua GDI y TDI para periodo post incendio en régimen de bajo caudal

SITIOS	CORTIDURIA*	PGB	PICHAMAN*	HUINGAN	CONSTITUCIÓN*
GDI	13,2	13	13,4	13,1	12,9
TDI	25	37,5	34	37,25	38,5

Tabla 4b) Valores de índices diatomológicos de calidad de agua GDI y TDI para periodo post incendio en régimen de alto caudal

SITIOS	CORTIDURIA*	PGB	PICHAMAN*	HUINGAN	COSNTITUCION*
GDI	13,05	13,4	13	13,65	13,35
TDI	28,5	26	31,5	32,25	46,5

Tabla 5a) Valores de índices diatomológicos de calidad de agua GDI y TDI para periodo pre incendio en régimen de bajo caudal

SITIOS	CORTIDURIA	PICHAMAN	CONSTITUCIÓN
GDI	12,35	9,4	11,7
TDI	32,5	38	33,75

Tabla 5b: Valores de índices diatomológicos de calidad de agua GDI y TDI para periodo pre incendio en régimen de alto caudal.

SITIOS	CORTIDURIA	PICHAMAN	CONSTITUCIÓN
GDI	11,55	12	12,6
TDI	21	25,5	21,5

Tabla 6a: Valores de índice GDI para periodos pre y post incendio en régimen de bajo caudal.

SITIOS	CORTIDURIA	PICHAMAN	CONSTITUCIÓN
PRE INCENDIO	12,35	9,4	11,7
POST INCENDIO	13,2	13,4	12,9

Tabla 6b: Valores de índice TDI para periodos pre y post incendio en régimen de bajo caudal.

SITIOS	CORTIDURIA	PICHAMAN	CONSTITUCIÓN
PRE INCENDIO	32,5	38	33,75
POST INCENDIO	25	34	38,5

Tabla 6c: Valores de índice GDI para periodos pre y post incendio en régimen de alto caudal.

SITIOS	CORTIDURIA	PICHAMAN	CONSTITUCIÓN
PRE INCENDIO	11,55	12	12,6
POST INCENDIO	13,05	13	13,35

Tabla 6d: Valores de índice TDI para periodos pre y post incendio en régimen de alto caudal.

SITIOS	CORTIDURIA	PICHAMAN	CONSTITUCIÓN
PRE INCENDIO	21	25,5	21,5
POST INCENDIO	28,5	31,5	46,5

Comparación de los sitios de muestreo en común para periodo pre y post incendio.

La comparación de las comunidades diatomológicas, en los sitios estudiados para los muestreos pre y post incendio se estableció mediante la prueba de hipótesis ANOSIM (tabla 7).

Tabla 7. Valores arrojados por ANOSIM para cada comparación de todos los sitios.

CORTIDURÍA	Alto caudal	Bajo caudal
Estadístico R	1	1
valor-p	0,33333	0,33333
PICHAMAN		
Estadístico R	1	1
valor-p	0,33333	0,33333
CONSTITUCIÓN		
Estadístico R	1	1
valor-p	0,33333	0,33333

Usos de suelo

Para la determinación de los usos de suelo predominantes en el territorio, se generaron áreas de influencias sobre los sitios muestreados, en primera instancia como anillos, con diámetros de 200, 500 y 1000 metros, y posteriormente como buffers, los cuales abarcan porciones del territorio desde

un sitio, hasta su sitio contiguo río arriba, pero esta vez tomando como referencia el río para generar el análisis, con distancia respecto al río de 200, 500 y 1000 metros hacia los costados, abarcando las porciones ocupadas por el cuerpo de agua en ambos procedimientos. Dentro de todos ellos, la medida usada en los análisis posteriores, fueron los anillos de 200 metros, debido a que el cambio en el territorio mostró significancias estadísticas relevantes a esta escala espacial.

Los valores porcentuales de cada uso de suelo calculados para las áreas de influencia respectivas a cada sitio de muestreo con un diámetro de 200 metros, en ambos regímenes de caudal están indicados en las tablas 8 y 9, muestran principalmente, que no hay cambios en los sitios río arriba: Cortiduría y PGB, mientras que los demás sitios: Pichaman, Huingan y Constitución, resultaron con la totalidad del territorio pasando a ser áreas quemadas.

Tabla 8: Porcentaje de usos de suelo correspondientes a un anillo de 200m para el periodo pre incendio

Anillo 200m	Bosques	Praderas y Matorrales	Cuerpos de agua	Terrenos agrícolas	Sin Vegetación
CORTIDURIA*	15,3	15,3	30,7	38,5	0
PGB	8,3	0	41,6	25	25
PICHAMAN*	8,3	33,3	41,6	0,2	16,6
HUINGAN	25	16,6	50	0	0
CONSTITUCION*	27,2	0	63,6	9,2	0

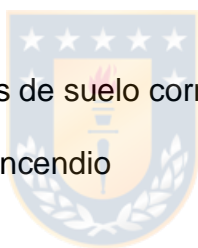


Tabla 9: Porcentaje de usos de suelo correspondientes a un anillo de 200m para el periodo post incendio

Anillo 200m	Bosques	Praderas y Matorrales	Cuerpos de agua	Terrenos agrícolas	Sin vegetación	Áreas quemadas
CORTIDURIA*	15,3	15,3	30,7	38,5	0	0
PGB	8,3	0	41,6	25	25	0
PICHAMAN*	0	0	0	0	0	100
HUINGAN	0	0	0	0	0	100
CONSTITUCION*	0	0	0	0	0	100

Relación comunidades diatomológicas y variables ambientales

El análisis exploratorio DCCA mostró que el largo del gradiente de los ejes de ordenación en los casos analizados fue menor a 3, lo que indica que el modelo de respuesta de las especies frente al gradiente ambiental estudiado es de tipo unimodal, por lo que se realizaron análisis de correspondencia canónica (CCA).

Tabla 10: Valores de largo de gradiente del primer eje de ordenación obtenidos del Análisis de Correspondencia Canónica sin Tendencia (DCA) para ambos regímenes de caudal en el periodo post incendio

Periodo post incendio	Régimen de bajo caudal	Régimen de alto caudal
Largo del primer eje	1,2882	1,4359

No fue posible entregar graficos CCA para el periodo pre incendio, debido que al generar el analisis, ninguna de las variables ambientales estudiadas fueron significativas en cuanto a su relación con la distribución de las diatomeas en los sitios muestreados para tal periodo, lo que quiere decir que ninguna

variable en particular o un conjunto de ellas explica las variaciones comunitarias a lo largo del gradiente ambiental analizado de manera significativa, esto posiblemente a los pocos registros por variable existente, ya que para este periodo se manejaron datos de solo tres sitios, lo que limitó el poder del Análisis al momento de establecer las correlaciones canónicas entre la matriz comunitaria con abundancias relativas por especies y las medidas puntuales de las variables fisicoquímicas de la matriz ambiental.

En el caso del periodo post incendio en ambos regímenes de caudal estudiados en el río Maule, se obtuvieron las gráficas de las relaciones entre las comunidades de diatomeas y las variables ambientales medidas en cada uno de los cinco sitios estudiado. En el caso de régimen de bajo caudal las variables determinantes en la ordenación de las comunidades a lo largo del río son SST (sólidos suspendidos totales), con un valor de significancia de (0,0083) y Nitratos con un valor cercano a la significancia de (0,0583), los cuales determinaron la agrupación de los sitios. De acuerdo a lo anterior, Cortiduría que es el sitio más río arriba, queda separado por sus características de los otros dos pares de sitios agrupados, conformados por una parte por PGB y Pichaman, sitios intermedios geográficamente dentro del gradiente estudiado, y Huingan y Constitución por otro lado, sitios más cercanos a la costa (figura 6a). Por otra parte para el régimen de alto caudal

las variables con más relevancia estadística en la ordenación, resultaron ser Terrenos agrícolas con un valor de significancia de (0,0416), Manganeso con un valor de significancia de (0,0416) y Áreas quemadas con un valor cercano a la significancia de (0,075), las cuales determinaron la ordenación de los sitios de manera que estos quedaron agrupados en cuanto a características compartidas, el primer grupo compuesto de los dos sitios río arriba: Curtiduría y PGB, los sitios intermedios: Pichaman y Huingan, dejando segregado a Constitución en un eje aparte influenciado por el Manganeso y las áreas quemadas. (figura 6b).

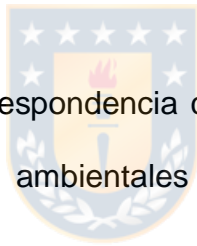


Figura 8a: Análisis de correspondencia canónica entre las comunidades de diatomeas y las variables ambientales para el periodo post incendio en régimen de bajo caudal.

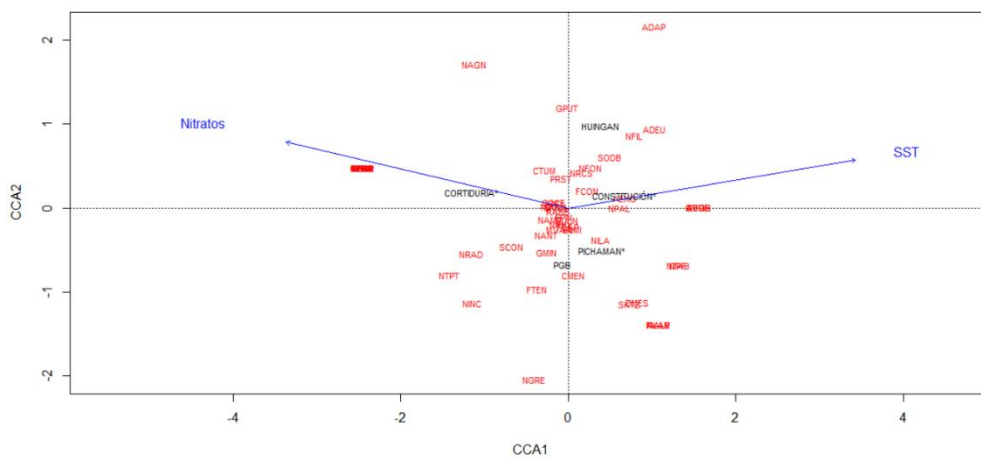


Figura 8a: Análisis de correspondencia canónica entre las comunidades de diatomeas y las variables ambientales para el periodo post incendio en regimen de alto caudal.

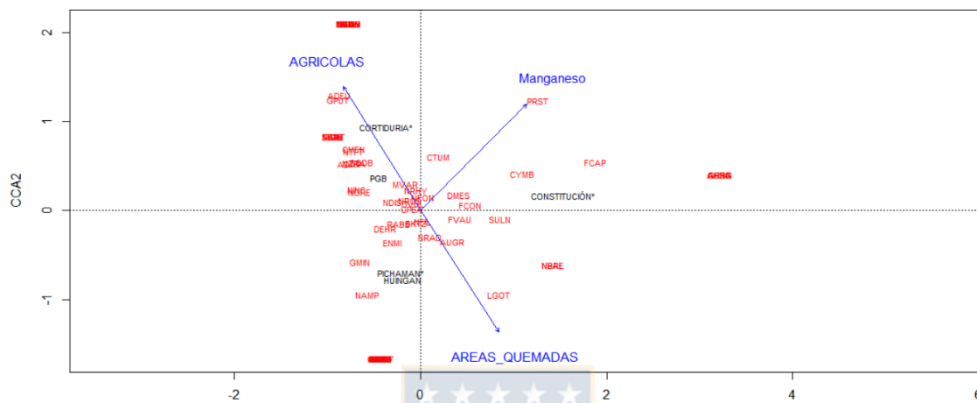


Tabla 11a: Valor-p y proporción de varianza explicada para las variables ambientales significativas en el modelo CCA del periodo post incendio en régimen de bajo caudal.

Post incendio/régimen de bajo caudal	Sólidos suspendidos totales (SST)	NITRATOS
p-values	0,008**	0,05.
Proporción varianza explicada por variable	0,37	0,37

Tabla 11b: Valor-p y proporción de varianza explicada para las variables ambientales significativas en el modelo CCA del periodo post incendio en régimen de alto caudal.

Post incendio/régimen de alto caudal	AGRICOLAS	AREAS_QUEMADAS	MANGANESO
p-values	0,041*	0,075.	0,041*
Proporción varianza explicada por variable	0,28	0,28	0,29



DISCUSIÓN

La estructura de las comunidades de diatomeas responde a los niveles de contaminación, con variaciones en la riqueza y la diversidad de especies, las que tienden a ser mayores en aquellos sitios con niveles de contaminación menores (Bere & Tundisi 2011), respecto a los datos presentados en esta investigación, dichos patrones se confirmaron, al registrarse una menor riqueza y una menor diversidad en los sitios afectados por el evento catastrófico del incendio al compararse su comportamiento con el de un año normal.



Las fluctuaciones en las abundancias de las diatomeas dominantes en los conteos analizados, muestran un aumento importante en el periodo post incendio respecto al periodo que lo antecede en *Fragilaria construens*, especie caracterizada ecológicamente por tolerar amplios rangos de condiciones ambientales, mientras que en las demás especies: *Nitzschia fonticola*, *Navicula lanceolata*, *Melosira varians* y *Aulacoseira granulata* que, si bien, están registradas en distintos tipos de ambientes, con un amplia tolerancia a diversas condiciones, en este escenario particular *F. construens*, se posiciona como una mejor competidora, aumentando su abundancia de manera

considerable y siendo dominante en este nuevo ambiente (Bere & Tundizi 2011; Hall & Leavitt 1999).

En el caso de los índices diatomológicos desarrollados en Europa, han sido aplicados con relativo éxito en otras regiones geográficas, tanto del hemisferio norte (Kalyoncu et al. 2009, en Turquía; Povatova & Charles 2007, en Estados Unidos) como en el hemisferio sur (Bere & Tundisi 2011, en Brasil; Taylor et al. 2007a, Taylor et al. 2007b, en Sudáfrica). En esta investigación, los valores obtenidos, muestran clasificaciones de calidad de agua diferentes en ambos índices, lo cual se puede explicar por el carácter generalizado del índice GDI al trabajar con géneros, clasificando a un gran número de individuos del mismo género con las mismas características ecológicas y no incorporando particularidades propias de cada especie como lo hace el índice TDI, siendo un índice mucho más sensible y que permite detectar cambios de manera más precisa. Si bien, el aumento de los nutrientes se asocia con una peor calidad del agua, lo que debería ser reflejado por los índices diatomológicos (Hofmann 1994; Kelly & Whitton 1995; Pan & Stevenson 1996; Winter & Duthie 2000), al existir un aumento en la carga de estos en el periodo post incendio. Esto no ocurre con los valores arrojados por el índice GDI, el cuál en régimen de bajo caudal muestra una mejora en la calidad del agua en los sitios afectados, y en régimen de alto caudal, donde se esperaría observar los mayores cambios

debido a la entrada de cenizas cargadas de nutrientes hacia el cuerpo de agua, la calidad se mantiene. En el caso del índice TDI, en la comparativa en régimen de bajo caudal tampoco es claro en los valores arrojados, en Pichaman se muestra una mejora en la calidad, y en Constitución un empeoramiento de esta, siendo estos sitios los más afectados por los incendios y donde se esperaría un empobrecimiento de la calidad del agua. Para el caso del régimen de alto caudal solo se registra cambio a la baja de la calidad, en el sitio más río abajo “Constitución”, condicionando lo esperado a causa del arreste del material generado por el incendio debido a la componente longitudinal del río.



En cuanto a las variables fisicoquímicas medidas en el ambiente, las variantes más relevantes que pudiesen estar dando un indicio respecto al cambio que ha sufrido el ecosistema, y por consiguiente verse reflejado en el comportamiento ecológico de las diatomeas, son principalmente los nutrientes: el Nitrógeno y el Fósforo, en las diferentes formas en que estos se presentan en la naturaleza, son categorizados como los más importantes, debido al rol esencial que cumplen dentro del desarrollo de la flora acuática, y las grandes cantidades en que estos pasan, de ser parte de la vegetación, a estar dispuestos en el suelo en forma de cenizas.

Para el caso de Nitrógeno, en las mediciones de Nitrógeno total se reporta un aumento en su concentración en el agua en ambos regímenes de caudal para el periodo post incendio, respecto al registro anterior, mostrando valores mayores para el régimen de bajo caudal, que resulta ser, el registro más próximo posterior al evento catastrófico, así mismo, los altos valores mostrados en régimen de alto caudal que temporalmente lo sigue, podrían estar mostrando aumento en la concentración del nitrógeno en las aguas durante todo el periodo posterior al incendio, tal como se ha reportado en estudios similares en Montana, USA. (Spigel y Robichaud 2007). Respecto al fosforo, existe un aumento considerable en su forma de ortofosfato (forma disponible para ser ocupada por los organismos fotosintéticos) en régimen de alto caudal para periodo post incendio, respecto a las demás mediciones, lo que se condice con estudios donde luego de eventos de fuego, aumentan las concentraciones de fosforo disponibles en el suelo que posteriormente son arrastradas al curso de agua, modificando sus concentraciones en él (Chambers y Attiwill 1994; Cade-Menun et al. 2000). Si bien, en ambos casos: el del nitrógeno y el del fosforo, no solo se observa un aumento en sus concentraciones en los sitios afectados por el incendio, si no también río arriba en el sitio de Curtiduría, en donde la intensiva actividad agrícola y ganadera pudiese estar generando estos aportes de nutrientes al agua, mientras que los sitios afectados Pichiman y Constitución, en condiciones normales no

presentan esta carga de nutrientes, debido a que las características de sus suelos, al ser territorios mayormente forestales, disminuyen el rendimiento hídrico, razón por la cual habría mayor descomposición y pérdida de fertilidad en el territorio (Recharte et al. 2000) lo que deja a la luz el aporte nutricional generado por el arrastre de cenizas en estos sitios, que estarían modificando las condiciones ambientales del lugar.

El comportamiento de los sólidos suspendidos totales, muestra un aumento evidente en el periodo post incendio y en ambos regímenes de caudal para los sitios afectados por evento, esto principalmente por el arrastre de cenizas desencadenado por precipitaciones que pudiesen haber ocurrido con intensidades bajas en el periodo de bajo caudal, por su coincidencia con el otoño, mientras que para el periodo de alto caudal éstas pueden haber sido determinadas por eventos más severos de lluvia en el territorio. La magnitud, intensidad y frecuencia de las precipitaciones posteriores al incendio y los eventos de flujo asociados, son factores clave de la erosión y la entrega de sólidos suspendidos en muchas cuencas quemadas (Robichaud et al. 2007; Malmon et al. 2007; Cannon et al. 2008; Moody & Martin 2009).

En cuanto a las relaciones existentes entre el ambiente y las comunidades diatomológicas, que pudiesen estar dando indicios de su influencia en las variaciones de los parámetros biológicos clásicos como; riqueza y diversidad de especies, así mismo con los valores de los índices específicos de calidad de agua basados en diatomeas, y que pudiesen diferir de un periodo a otro al establecerse la comparación. En primera instancia se planeó realizar análisis de correspondencia canónica para ambos periodos (pre y post incendio) y en ambos regímenes de caudal por periodo, análisis el cual tiene como objetivo cuantificar la validez de las relaciones entre dos conjuntos de variables, en este caso como variables dependientes las comunidades de diatomeas (ya que la distribución de los organismos depende de las condiciones ambientales del lugar donde se encuentran) y como variables independientes los parámetros ambientales, ambos en cada uno de los sitios estudiados a lo largo del río. Este análisis no se pudo llevar a cabo en el periodo pre incendio debido a las limitaciones del método, los tamaños muestrales que son muy pequeños, no representarán correlaciones adecuadamente y como consecuencia esconderá cualquier relación significativa que pueda existir, los tamaños muestrales muy grandes, tendrán una tendencia a indicar una significación estadística en todas las instancias, incluso donde la significación práctica no está indicada. Se sugiere al investigador a mantener por lo menos diez observaciones por variable para evitar el “sobreajuste” de los datos (Badii,

M.H. et al 2007). Si bien para el periodo post incendio, donde se contó con cinco observaciones por variable, el análisis fue posible de hacer, esto no ocurrió en el periodo pre incendio, donde solo se contó con tres observaciones por variable, lo cual limitó los alcances del análisis y al comprobar la significancia del modelo, este no alcanzó el nivel de significancia adecuado, además ninguna variable ambiental resultó ser significativa en cuanto a su relación con la distribución de los organismos en el gradiente estudiado.

Por otra parte, los CCA realizados en el periodo post incendio, muestran que en régimen de bajo caudal, el ordenamiento de las comunidades estaría influenciado de manera significativa por los Nitratos, segregando al sitio “Cortduria” de los demás, el cual puede estar ligado a fuentes difusas aportadas por la intensa actividad agrícola y ganadera existente en el lugar, mientras que para el agrupamiento de los sitios rio abajo, los sólidos suspendidos totales (SST) son determinantes agrupando a “Huingan” y “Constitucion”, siendo importante debido a la influencia marina existente en el área y que aumenta la concentración de esta variable, sumado a los aportes antrópicos, que se maximizan en el área debido a la fuerte presión ejercida por los asentamientos urbanos existentes en el lugar, a diferencia de los sitios rio arriba.

Por otra parte en régimen de alto caudal el uso de suelo “Terrenos agrícolas” es factor determinante en la agrupación de los sitios río arriba “Constitución” y “PGB” y que además no fueron afectados por los incendios, mientras que “Áreas quemadas” resulta ser determinante en el ordenamiento de las zonas afectadas “Pichaman”, “Huingan” y “Constitución” en el otro eje de ordenación, lo que nos muestra la influencia de los usos del suelo sobre las comunidades estudiadas, sumado al aporte de Manganeso como uno de los metales pesados que modifica sus proporciones en el agua debido a este tipo de eventos, como lo registra (Khanna et al. 1994) al analizar los componentes de las cenizas formadas por la quema de hojarasca de eucaliptus, por lo cual estaría siendo determinante al momento de organizar los sitios en función de sus características compartidas e influir en la dinámica de las comunidades diatomológicas dentro del gradiente estudiado.


Para establecer una comparación entre los sitios respecto a la composición de sus comunidades de diatomeas para periodo pre incendio y post incendio en ambos regímenes, debido a que no fue posible la visualización de patrones para el periodo pre incendio, por los escasos registros manejados, se realizó en análisis ANOSIM, la cual establece una prueba de hipótesis para

determinar si existen diferencias significativas en cuanto a las comunidades de diatomeas presentes en el periodo pre y post incendio para cada uno de los sitios estudiados. Los resultados de este análisis no fueron concluyentes, arrojando valores del estadístico R de 1 en todas las comparaciones, el cual indica que los grupos son totalmente diferente, pero con un valor-p de significancia muy por sobre el 0,05, lo cual indica que el análisis no tiene una solvencia estadística para confirmarlo, esto debido a al bajo número de replicas por grupo en las muestras comparadas, lo cual limita el poder del análisis al no poder generar un número considerable de permutaciones que pudiesen reorganizar las observaciones para calcular todas las posibles situaciones a comparar (Clarke, K.R. & Gorley, R.N. 2015)



CONCLUSIONES

La metodología propuesta cumple con los objetivos esperados, siendo posible la diferenciación entre los periodos pre incendio y post incendio, mediante la evaluación de las comunidades diatomológicas en conjunto con los parámetros fisicoquímicos del ambiente y sus fluctuaciones a causa de los cambios en el sistema natural producidos por los incendios.



Se encontró evidencia a favor de la hipótesis planteada en este trabajo, registrándose una disminución en los parámetros ecológicos tradicionales, como lo son la riqueza y diversidad de especies de diatomeas en los sitios afectados, lo que indica un empobrecimiento de la calidad ambiental del lugar, además de fluctuaciones considerables en las abundancias de las especies más importantes dentro de las comunidades diatomológicas, donde especies como *F. construens*, aumentan su abundancia de forma considerable en los sitios afectados, siendo una especie que se ve favorecida por los aportes de nutrientes y diversos otros elementos provenientes de las cenizas arrastradas al cuerpo de agua posterior a los eventos de incendios, volviéndose aún más

dominante dentro de su comunidad, mientras que especies menos tolerantes como *N. lanceolata*, *M. varians* y *N. fontociola* muestran una disminución considerable de sus abundancias en los mismos escenarios. Información que es integrada por los índices diatomológicos, los cuales a su vez también muestran un empobrecimiento de la calidad del agua en los sitios mayormente afectados por los eventos incendiarios. Finalmente, los análisis multivariados posterior a los incendios, muestran una clara separación entre los sitios afectados y los no afectados por estos, siendo los usos de suelo: terrenos agrícolas influyentes en los sitios no afectados y las áreas quemadas en los sitios afectados, las variables que determinan esta agrupación entre sitios con ahora condiciones semejantes y separación con aquellos que no, lo que evidencia la importancia que tiene el uso de suelo inmediatamente adyacente al curso de agua, en determinar las características y la calidad de agua de estos sistemas fluviales.

BIBLIOGRAFÍA.

- American Public Health Association (APHA). 1995. Standard Methods for the Examination for Water and Wastewater Byrd Prepress Springfield, Washington. 380 pp.
- Badii, M.H., J. Castillo, K. Cortez, A. Wong & P. Villalpando. 2007. Análisis de correlación canónica (ACC) e investigación científica (Canonical correlation analysis and scientific research). *Innovaciones de Negocios* 4(2): 405 - 422, 2007.
- Bate, N. & P. Newall. 2002. The development of techniques for the use of diatoms in water quality assessment: how many valves?. *In: Proceedings of the 15th International Diatom Symposium, Perth, Australia 28 September - 2 October 1998* (Ed. John, J.), pp. 153-158. Koeltz Scientific Books, Curtin University, Perth.
- Bere, T. & J.G. Tundisi. 2011. Applicability of borrowed diatom-based water quality assessment indices in streams around Sao Carlos-SP, Brazil. *Hydrobiologia*, 673: 179-192.
- Cade-Menun, B., Berch, S., Prestom, C. & Lavkulich, L. 2000. Phosphorus forms and related soil chemistry of Podzolic soils on northern Vancouver Island. II. The effects of clear-cutting and burning. *Canadian Journal of Forest Research* 30(11):1726-1741.
- CONAF. 2017. Análisis del impacto de los incendios forestales ocurridos en enero y febrero de 2017 sobre los ecosistemas naturales presentes entre las regiones de Coquimbo y Los Ríos de Chile. Informe Técnico. Santiago, Chile. 50 pp.

- Clarke, K.R., Gorley, R.N. 2015, PRIMER v7:User Manual/Tutorial. Gate 5 Oaklands Rd, Massey University Albany Campus, Auckland, New Zealand. 300 pp.
- Coste, M. & Ayphassorho, H. 1991. Etude de la qualité des eaux du bassin Artois Picardie à l'aide des communautés de diatomées benthiques (Application des indices diatomiques), Rapport Cemagref Bordeaux–Agence de l'Eau Artois Picardie, 227 pp.
- De la barrera, F. & V. Ruiz, 2017. Evaluación del impacto de los incendios de Chile Centro-Sur en el verano del año 2017. Primera entrega. International Association of Landscape Ecology (IALE), Chile, 6 pp
- Douglas, M.S.V. & J.P. Smol. 1999. Freshwater diatoms as indicators of environmental change in the High Arctic. Stoermer E.F. and Smol J.P. The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences. Cambridge University Press, Cambridge, 244 pp.
- Hall, R., Leavitt, P., Quinlan, R., Dixiy, A. & Smol, J. 1999. Effects of agriculture, urbanization, and climate on water quality in the northern Great Plains. Association for the Sciences of Limnology and Oceanography. 44(3part2):739–756.
- Hasle, G & G, Fryxell. 1970. Diatoms: cleaning and mounting for light and electron microscopy. Transactions of the American Microscopical Society. 89(4): 469-474.
- Hofmann, G. 1994. Aufwuchs-Diatomeen in Seen und ihre Eignunug als Indikatoren der Trophie. In: Bibliotheca Diatomologica 30. J. Cramer, Stuttgart.

- Kalyoncu, H., N.L. Cicek, C. Akköz & B. Yorulmaz. 2009. Comparative performance of diatom indices in aquatic pollution assessment. *African Journal of Agricultural Research*, 4(10): 1032-1040.
- Kelly, M. & B. Whitton. 1995. The Trophic Diatom Index: A New Index for Monitoring Eutrophication in Rivers. *Journal of Applied Phycology*, 7(4):433-444
- Khana, P.K, Raison, R. & Falkier, R. 1994. Chemical properties of ash derived from Eucalyptus litter and its effects on forest soils. *Forest Ecology and Management*. 66(1): 107-125.
- Krammer K. & H. Lange-Bertalot. 1997. Bacillariophyceae. 2/3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In: Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig & D Mollenhauer. Stuttgart, 598 pp.
- Krammer, K. & Lange-Bertalot, H. 1991–2000. Bacillariophyceae. In Ettl, H., J. Gerloff, H. Heyning & D. Mollenhauser (eds) *Sübwasserflora von Mitteleuropa*, Vol. 2. Fischer, Stuttgart: 1–4.
- Leps, J & P. Smilauer. 2003. *Multivariate Analysis of Ecological Data using CANOCO*. Cambridge University Press. Cambridge. 269 pp.
- Mcwethy, D., C. Mcwhitlock, J. Wilmshurst, M. Mcglone, M. Fromont, X. Li, A. Dieffenbacher-Krall, W. Hobbs, S. Fritz & E. Cook. 2010. Rapid landscape transformation in South Island, New Zealand following initial Polynesian settlement. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107: 21343–21348.
- Malmon DV, Reneau SL, Katzman D, Lavine A, Lyman J 2007. Suspended sediment transport in an ephemeral stream following wildfire. *Journal of Geophysical Research* 112: 112-153.

- Markgraf, V., C. Whitlock & S. Haberle. 2007. Vegetation and fire history during the last 18,000 cal yr B.P. in Southern Patagonia: Mallín Pollux. Coyhaique, Province Aysén (45°41' 30"S, 71°50' 30"W, 640 m elevation). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 254: 492–507.
- Moody JA, Martin DA. 2009. Synthesis of sediment yields after wildland fire in different rainfall regimes in the western United States. *International Journal of Wildland Fire* 18: 96–115.
- Pan, Y. & Stevenson, R. 1996. Gradient analysis of diatom assemblages in western Kentucky wetlands. *Journal of Phycology* 32: 222-232.
- Patapova, M & D. Charles. 2003. Distribution of Benthic Diatoms in U.S. Rivers in Relation to Conductivity and Ionic Composition. *Freshwater Biology*. 48(8):1311 – 1328.
- Potapova, M. & D. Charles. 2007 Diatom metrics for monitoring eutrophication in rivers of the United States *Ecological Indicators* 7(1): 48-70
- Philibert, A., Y. Prairie, I. Campbell & L. Laird. 2003. Effects of late Holocene wildfires on diatom assemblages in Christina Lake, Alberta, Canada. *Canadian Journal Forest Research*, 33: 2405–2415.
- Recharte, J., Torres, J., Medina, G., Ponce, A. & Echeandía, E. 2000. II Conferencia Electrónica sobre Usos Sostenibles y Conservación del Ecosistema Páramo en los Andes: “Los Páramos como fuente de Agua, Mitos, Realidades, Retos y Acciones”. Condesan. Lima. Perú. 214 pp.
- Rivera. P, O. Parra, M. González, V. Dellarossa & M. Orellana. 1982. Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile. IV. Bacillariophyceae. Editorial Universidad de Concepción. Concepción. 97 pp.

- Rumeau A & M. Coste. 1988. Initiation a la systdmatique des Diatomres d'eau douce pour l'utilisation pratique d'un índice diatomique gnerique. Bulletin Franais de la Peche et de la Pisciculture, 309: 1-69.
- Rumrich, U., Lange-Bertalot, H. & Rumrich, M. 2000. Diatoms of the Andes. From Venezuela to Patagonia/Tierra del Fuego. Koeltz Scientific Books, Königstein. 673 pp.
- Schelske, C. L., C. M. Donar, & E. F. Stoermer. 1999. A test of paleolimnologic proxies for the planktonic/benthic ratio of microfossil diatoms in Lake Apopka. Idei & Koizumi, Koenigstein. 407 pp.
- Shannon, C. & W. Weaver. 1963 The mathematical theory of communications. University of Illinois Press, Urbana, 117 pp.
- Soininen, J., R. Mcdoland, & H. Hillebrand. 2007. The distance decay of similarity in ecological communties. Ecography 30(1):3-12.
- Spigel, K. & Robichaud, P. 2007. First-year post-fire erosion rates in Bitterroot National Forest, Montana. Hydrological Processes, 21(8), 998–1005.
- Taylor, J.C., J. Prygiel, A. Vosloo, P.A. De La Rey & L. Van Rensburg. 2007b. Can diatom-based pollution índices be used for biomonitoring in South Africa? A case study of the Crocodile West and Marico water management area. Hydrobiologia, 592: 455-464.
- Taylor, J.C., M.S. Janse van Vuuren & A.J.H. Pieterse. 2007a. The application and testing of diatom-based indices in the Vaal and Wilge Rivers, South Africa. Water SA, 33(1): 51-59.
- Verb R.G. & Vis M.L. 2000. Comparison of benthic diatom assemblages from streams draining abandoned and reclaimed coal mines and nonimpacted sites. Journal of the North American Benthological Society, 19: 274–288.

- Winter, J. & Duthie, H. 2000. Epilithic diatoms as indicators of stream total n and total P concentration. *Journal of the North American Biological Society* 19: 32-49.
- Zelinka, M. & Marvan, P. 1961. Zur Präzisierung der biologischen Klassifikation der Reinheit fließender Gewässer.-*Arch. Hydrobiol.*, 57: 389-407.



ANEXOS

Anexo 1: Taxa y sus abundancias relativas por sitios de muestreo en cada uno de los escenarios estudiados.

TAXA	Pre Incendio/bajo caudal			Pre Incendio/alto caudal			Post Incendio/bajo caudal					Post Incendio/alto caudal					
	Curtiduría	Pichaman	Constitución	Curtiduría	Pichaman	Constitución	Curtiduría	PGB	Pichaman	Huingan	Constitución	Curtiduría	PGB	Pichaman	Huingan	Constitución	
1	<i>Melosira varians</i>	5,14	4,22	6,37	15,92	15,45	9,14	5,89	5,63	4,16	1,42	3,44	22,65	14,33	8,75	6,92	4,61
2	<i>Navicula racens</i>	2,42	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,94	0,36	0,87	1,21	0,92	1,81	0,29	1,08	0,67	0,36
3	<i>Encyonema minutum</i>	4,30	3,44	2,53	6,74	6,71	4,93	1,01	2,02	1,36	0,61	0,92	2,74	4,74	2,38	15,65	0,64
4	<i>Nitzschia filiformis</i>	1,25	1,20	5,06	0,90	0,20	0,0	0,0	0,31	0,0	0,91	0,92	0,30	0,57	0,0	2,13	0,32
5	<i>Cocconeis pediculus</i>	4,44	2,54	3,80	1,50	0,58	0,95	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	<i>Cymbella tumida</i>	1,10	0,59	0	0,0	0,29	1,27	1,44	0,0	0,60	0,30	0,30	1,80	0,29	0,0	0,76	0,64
7	<i>Nitzschia dissipata</i>	4,02	1,49	0,0	0	1,46	0,79	4,91	2,49	3,77	2,12	0,61	1,80	2,73	1,34	1,37	0,32
8	<i>Fragilaria construens</i>	19,55	22,72	2,53	8,24	17,54	32,11	37,13	44,39	51,13	65,95	61,47	24,59	16,38	27,83	15,81	62,24
9	<i>Achnanthydium eutrophilum</i>	3,74	1,79	0,0	1,49	1,60	0,0	0,0	0,0	1,80	2,43	0,61	1,05	3,16	0,0	0,0	0,0
10	<i>Fragilaria tenera</i>	3,05	1,94	5,06	1,34	1,02	0,63	1,15	3,73	0,30	0,0	0,61	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	<i>Fragilaria capucina</i>	0,55	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,44	5,60	2,11	1,82	0,77	0,0	0,29	0,0	0,0	1,28
12	<i>Navicula rhychocephala</i>	4,85	5,08	2,53	1,64	1,31	0,79	3,03	3,27	1,20	0,75	2,92	3,00	7,47	0,30	4,71	2,08
13	<i>Staurosira pinnata</i>	1,10	3,58	0,0	0,0	0,0	0,63	5,92	4,04	5,73	2,27	2,92	0,30	0,0	0,0	0,0	0,0
14	<i>Nitzschia fonticola</i>	3,32	20,32	7,59	5,69	7,60	2,54	0,43	0,62	0,75	1,82	0,61	3,00	0,57	0,89	1,82	0,96
15	<i>Nitzschia amphibia</i>	2,63	0,0	0,0	1,64	0,87	1,43	0,86	0,0	0,30	0	0,61	0,0	1,15	0,89	2,89	0,0
16	<i>Cocconeis placentula</i>	2,49	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	06,06	3,58	3,77	2,88	1,84	3,60	2,30	3,42	2,28	1,28
17	<i>Gomphonema angustivalva</i>	1,10	0,0	0,0	0,89	0,29	1,74	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,68	4,26	0,0
18	<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>vaucheriae</i>	0,55	0,89	0,0	0,74	0,73	1,74	0,0	0,0	0,30	0,0	0,0	0,0	1,72	0,30	0,30	0,96
19	<i>Gomphonema minutum</i>	0,55	0,29	0,0	0,89	0,0	0,0	1,73	0,46	0,90	0,0	0,92	0,0	4,60	3,42	0,91	0,0
20	<i>Navicula radiosa</i>	0,83	0,89	2,33	0,0	0,0	0,0	1,58	0,31	0,30	0,0	0,0	0,45	1,15	1,19	2,13	0,96
21	<i>Aulacoseira granulata</i>	2,08	2,39	18,98	1,49	0,29	1,90	0,0	0,0	0,0	0,0	0,92	0,90	0,0	1,49	1,22	0,96
22	<i>Nitzschia inconspicua</i>	2,35	1,34	0,0	2,09	1,60	0,31	0,29	0,92	0,0	0,0	0,0	0,90	0,86	1,49	0,0	0,0

Anexo 1: (Continuación): Taxa y sus abundancias relativas por sitios de muestreo en cada uno de los escenarios estudiados.

TAXA		Pre Incendio/bajo caudal			Pre Incendio/alto caudal			Post Incendio/bajo caudal					Post Incendio/alto caudal				
		Curtiduría	Pichaman	Constitución	Curtiduría	Pichaman	Constitución	Curtiduría	PGB	Pichaman	Huingan	Constitución	Curtiduría	PGB	Pichaman	Huingan	Constitución
23	<i>Gomphoneis herculeanum</i>	0,83	0,0	0,0	0,0	2,33	0,63	0,28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	1,24	0,74	5,06	1,19	2,48	1,43	2,60	1,71	1,35	0,91	1,38	8,85	6,90	12,35	9,57	1,92
25	<i>Pianothidium lanceolatum</i>	0,55	0,29	0,0	0,0	0,58	0,15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
26	<i>Gomphonema pseudoaugur</i>	0,27	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
27	<i>Nitzschia agnita</i>	0,55	0,29	0,0	0,29	0,0	0,0	0,57	0,0	0,0	0,30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
28	<i>Nitzschia palea</i>	0,27	0,29	0,0	0,0	1,16	0,0	0,0	0,31	1,20	0,60	0,0	0,0	0,0	0,30	0,0	0,32
29	<i>Diatoma vulgare</i>	1,52	2,84	2,53	1,49	0,87	1,43	3,46	2,95	1,50	1,67	1,69	1,50	7,47	1,93	2,13	1,6
30	<i>Amphora inariensis</i>	0,83	2,39	2,53	0,0	0,0	0,31	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
31	<i>Achnanthydium minutissimum</i>	6,65	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,25	0,0	0,0
32	<i>Navicula sp. 1</i>	0,55	0,0	2,53	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
33	<i>Fragilaria pulchella</i>	0,55	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
34	<i>Navicula tripunctata</i>	1,24	2,39	2,53	1,64	1,31	0,95	0,28	0,31	0,0	0,0	0,0	2,70	1,15	0,30	0,30	0,0
35	<i>Stephanodiscus kuetzingi</i>	0,27	0,59	0,0	1,19	1,16	0,63	0,0	0,31	0,30	0,0	0,30	4,20	7,47	9,08	5,78	3,36
36	<i>Nitzschia amplexans</i>	0,83	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
37	<i>Reimeria sinuata</i>	1,10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
38	<i>Cocconeis placentula</i>	3,32	2,69	0,0	0,0	1,46	1,15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
39	<i>Gomphonema pumilum</i>	0,83	1,04	0,0	0,0	1,46	0,0	0,72	0,0	0,0	0,60	0,92	0,90	4,02	0,0	0,0	0,0
40	<i>Navicula lanceolata</i>	0,83	0,29	2,53	32,38	19,88	24,48	0,0	0,0	0,30	0,0	0,0	1,35	0,0	0,0	0,0	0,0
41	<i>Diatoma ehrenbergii</i>	0,55	0,29	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,95	5,17	2,38	6,23	0,32
42	<i>Nitzschia lacum</i>	1,10	0,0	0,0	2,84	0,87	0,47	0,0	2,49	0,30	0,60	0,30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
43	<i>Gomphonema rombicum</i>	0,83	0,0	0,0	0,59	0,29	0,31	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,96

Anexo 1: (Continuación): Taxa y sus abundancias relativas por sitios de muestreo en cada uno de los escenarios estudiados.

TAXA		Pre Incendio/bajo caudal			Pre Incendio/alto caudal			Post Incendio/bajo caudal					Post Incendio/alto caudal				
		Curtiduría	Pichaman	Constitución	Curtiduría	Pichaman	Constitución	Curtiduría	PGB	Pichaman	Huingan	Constitución	Curtiduría	PGB	Pichaman	Huingan	Constitución
63	NAVICULA J.B.M. Bory de St. Vincent	0,0	0,0	0,0	0,74	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
65	Fragilaria pararumpens	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
66	Planotidium rostratum	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,72	0,31	0,30	0,60	0,30	0,30	0,0	0,0	0,0	0,32
67	Navicula antonii	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,57	0,93	0,90	0,30	0,0	0,0	0,29	0,0	0,0	0,0
68	Gomphonema capitatum	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
69	Stausirella leptosauron	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,57	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
70	Stausira construens	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,57	0,0	0,60	0,0	0,0	0,30	0,0	0,0	0,0	0,0
71	Cyclotella ocellata	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,28	0,93	0,0	0,30	0,30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
72	Nitzschia agnita	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,57	0,0	0,0	0,30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
73	Achnanthes alpestris	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
74	Nitzschia tabellaria	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,30	0,0	0,30	0,30	0,0	0,0	0,0	0,0
75	Gyrosigma obtusatum	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
76	Epithemia adnata	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,30	0,0	0,0	0,0	0,0
77	Rhopalodia gibba	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,57	0,0	0,0	0,0
78	Gomphonema olivaceum	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,74	3,75	0,0
79	Nitzschia linearis	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,60	0,0	0,0
80	Achnanthes ablongella	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,32
81	Nitzschia diversa	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,30	0,0
82	Achnantheidium exigua	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,88

Anexo 2: Datos ambientales periodo post incendio, régimen de bajo caudal.

VARIABLES/SITIOS	CORTIDURIA*	PGB	PICHAMAN*	HUINGAN	CONSTITUCIÓN*
FTOT	0,09	0,05	0,05	0,05	0,05
OrtoP	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
NTOT	1,13	0,8	0,63	0,73	0,77
Nitratos	3,895	1,928	1,26	2,009	1,193
SST	3,3	4,5	6	6,5	6,8
pH	5,95	6,55	6,91	7,85	7,9
OD	7,29	8,09	8,75	8,03	7,43
Temperatura	20	20,5	20,2	21,1	22,5
Hierro	0,014	0,019	0,024	0,021	0,034
Manganeso	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
Sulfato	20,35	16,23	18,83	19,21	12,64
Conductividad	228,5	212,2	202,7	210,4	219,6
Bosques	15,3	8,3	8,3	25	27,2
Praderas y Matorrales	15,3	0	33,3	16,6	0
Cuerpos de agua	30,7	41,6	41,6	50	63,6
T. Agrícolas	38,5	25	0,2	0	9,2
Sin vegetación	0	25	16,6	0	0

Anexo 3: Datos ambientales periodo post incendio, régimen de alto caudal.

VARIABLES/SITIOS	CORTIDURIA*	PGB	PICHAMAN*	HUINGAN	CONSTITUCIÓN*
FTOT	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
OrtoP	0,07	0,07	0,05	0,08	0,09
NTOT	0,84	0,51	0,55	0,64	0,48
Nitratos	2,626	1,624	1,455	1,846	1,043
SST	7	7	6	9,4	12,2
pH	6,26	6,26	6,67	6,21	6,17
OD	9,29	9,89	9,54	8,63	9,21
Temperatura	21	20,4	22,1	18,8	20,2
Hierro	0,04	0,071	0,069	0,053	0,058
Manganeso	0,012	0,007	0,0005	0,0005	0,019
Sulfato	14,1	14,01	13,84	13,67	14,02
Conductividad	81,2	76,5	75,5	77,6	74,9
Bosques	15,4	8,3	0	0	0
Praderas y Matorrales	15,4	0	0	0	0
Cuerpos de agua	30,7	42	0	0	0
T. Agrícolas	38,4	25	0	0	0
Sin vegetación	0	25	0	0	0
Áreas quemadas	0	0	100	100	100

Anexo 4: Datos ambientales periodo pre incendio, régimen de bajo caudal

VARIABLES/SITIOS	CORTIDURIA	PICHAMAN	CONSTITUCIÓN
FTOT	0,11	0,05	0,06
OrtoP	0,1	0,02	0,02
NTOT	1,57	1,16	0,68
Nitratos	3,77	2,717	1,704
SST	7,9	2,3	3,4
pH	7,8	7,99	8,27
OD	7,82	8,83	9,07
Temperatura	16,5	17	17,8
Hierro	0,007	0,014	0,0015
Sulfato	20,34	17,93	244,36
Conductividad	214	196	5370

Anexo 5: Datos ambientales periodo pre incendio, régimen de alto caudal

VARIABLES/SITIOS	CORTIDURIA	PICHAMAN	CONSTITUCIÓN
FTOT	0,05	0,04	0,03
OrtoP	0,02	0,02	0,02
NTOT	0,7	0,54	0,46
Nitratos	1,72	1,12	1,44
SST	2,7	3,4	3,9
pH	7,03	7,13	7,4
OD	7,93	8,48	7,77
Temperatura	13,3	13,3	16,3
Hierro	0,026	0,008	0,021
Sulfato	12,18	12,43	12,48
Conductividad	77	66,6	849

Anexo 6: Valores de significancia y proporción de varianza explicada por cada variable en el modelo CCA para el periodo post incendio con régimen de bajo caudal.

VARIABLES	Valor p	Proporción varianza explicada por variable
FTOT	0,1167	0,384
OrtoP	-	-
NTOT	0,075.	0,368
Nitratos	0,0583.	0,37
SST	0,0083**	0,377
pH	0,0083**	0,356
OD	0,3167	0,279
Temperatura	0,2167	0,306
Hierro	0,1333	0,332
Manganeso	-	-
Sulfato	0,275	0,271
Conductividad	0,1333	0,315
Bosques	0,725	0,233
Praderas y Matorrales	0,8833	0,209
Cuerpos de agua	0,0165*	0,361
T. Agrícolas	0,2083	0,276
Sin vegetación	0,5833	0,236

*Indica un alto valor de significancia, . indica valor cercano a la significancia.

Anexo 7: Valores de significancia y proporción de varianza explicada por cada variable en el modelo CCA para el periodo post incendio con régimen de caudal.

VARIABLES	Valor p	Proporción varianza explicada por variable
FTOT	-	-
OrtoP	0,4333	0,257
NTOT	0,75	0,227
Nitratos	0,358	0,266
SST	0,125	0,286
pH	0,6417	0,234
OD	0,7917	0,219
Temperatura	0,725	0,223
Hierro	0,9333	0,202
Manganeso	0,041*	0,297
Sulfato	0,225	0,277
Conductividad	0,4333	0,247
Bosques	0,0416*	0,288
Praderas y Matorrales	0,333	0,245
Cuerpos de agua	0,0916.	0,282
T. Agrícolas	0,0416*	0,286
Sin vegetación	1	0,209
Áreas quemadas	0,075.	0,284

*Indica un alto valor de significancia, . indica valor cercano a la significancia.

Anexo 8: Riqueza de especies en ambos periodos y regímenes de caudal.

SITIOS/RÉGIMEN	Pre Incendio		Post Incendio	
	BAJO CAUDAL	ALTO CAUDAL	BAJO CAUDAL	ALTO CAUDAL
CORTIDURIA	46	33	37	37
PGB	-	-	28	33
PICHAMAN	37	42	33	33
HUINGAN	-	-	25	31
CONSTITUCIÓN	21	41	34	29

Anexo 9: Diversidad de especies en ambos periodos y regímenes de caudal.

SITIOS/RÉGIMEN	Pre Incendio		Post Incendio	
	BAJO CAUDAL	ALTO CAUDAL	BAJO CAUDAL	ALTO CAUDAL
CORTIDURIA	3,30	2,56	2,62	1,45
PGB	-	-	2,32	2,84
PICHAMAN	2,82	2,78	2,31	3,35
HUINGAN	-	-	1,83	2,85
CONSTITUCIÓN	2,76	2,66	2,09	1,7