



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE RECURSOS NATURALES

**EVALUACIÓN DE LA COBERTURA DE VEGETACIÓN RIBEREÑA LEÑOSA
PRESENTE EN LA LLANURA ALUVIAL DEL RÍO BIOBÍO EN EL GRAN
CONCEPCIÓN EN EL PERÍODO 2016-2023**

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de
Concepción para optar al título profesional de
Ingeniero en Conservación de Recursos Naturales

POR: Cristobal Nicolás Basaur San Martín

Profesor Guía: Rafael García Araya

Marzo, 2024

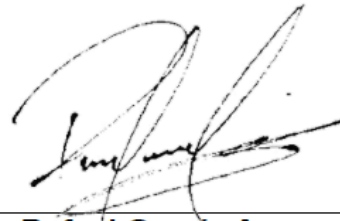
Concepción, Chile

© 2024, Cristóbal Nicolás Basaur San Martín

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento

EVALUACIÓN DE LA COBERTURA DE VEGETACIÓN RIBEREÑA LEÑOSA
PRESENTA EN LA LLANURA ALUVIAL DEL RÍO BIOBÍO EN EL GRAN
CONCEPCIÓN EN EL PERÍODO 2016-2023

Profesor Guía




Rafael Garcia Araya

Colaborador Académico

Ingeniero Forestal, Dr.

Profesor Guía



Rodrigo Fuentes Robles

Colaborador Académico

Ingeniero Forestal, MSc.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por el Proyecto ANID FB210006 a través del Laboratorio de Invasiones Biológicas (LIB) perteneciente al Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB) y la Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. METODOLOGÍA	6
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
IV. CONCLUSIONES	33
V. GLOSARIO	34
VI. BIBLIOGRAFÍA	35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de coberturas de suelo y el rango que representan dentro del índice NDVI.....	12
Tabla 2. Superficie en hectáreas de cada cobertura coberturas presente en el área de estudio.....	19
Tabla 3. Listado de especies leñosas dentro del área de estudio. I= Introducida; N= Nativa; E= Endémica.....	25
Tabla 4. Alturas promedio por especie de los individuos muestreados en ambas riberas del río Biobío. I = Menor a 5m; II = Entre 5 y 10m; III = Sobre 10m.....	31

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

- Figura 1. Mapa ubicación del área de estudio en el Gran Concepción, Región del Biobío, Chile. a) Mapa de Cuenca del Biobío; b) Ubicación del área de estudio dentro del Gran Concepción.....7
- Figura 2. a) Límites del río Biobío propuestos por el catastro uso de suelo (CONAF, 2015). b) Límites del río Biobío por el Plan Regulador Metropolitano de Concepción. c) Superposición de ambos límites.....8
- Figura 3. Mapa ubicación puntos de muestreo de vegetación leñosa en ambas riberas norte (rojo) y sur (azul) del río Biobío.....16
- Figura 4. Ejemplo de transecto con vegetación leñosa ribereña adulta. Muestreo transecto TS10, ribera sur, Villa Spring Hill, San Pedro de la Paz.17
- Figura 5. Cobertura de vegetación ribereña detectada a partir del NDVI para el área de estudio. a) Coberturas año 2016; b) Coberturas año 2023. Zonas blancas corresponden a “ruidos” normalizados.....21
- Figura 6. Diagrama aluvial de los cambios de los distintos tipos de cobertura de vegetación de ribera entre año 2016 y 2023. Se visualizan las coberturas y la transición que presentan en el período de estudio.....22
- Figura 7. Parche de aliso talado ubicado en la ribera norte del Biobío. Ubicado detrás de Liceo Hipólito Salas, Chiguayante.....23
- Figura 8. Aserradero de madera de aliso muy próxima a la parcela TN4, Chiguayante.....24
- Figura 9. Riqueza promedio por transecto de especies nativas y exóticas registradas en cada ribera del río Biobío.....26
- Figura 10. Abundancia de las especies leñosas registradas al interior de los transectos. ACDE= *Acacia dealbata*; ACME= *Acacia melanoxylon*; ALGL= *Alnus glutinosa*; ARCH= *Aristotelia chilensis*; EUGL= *Eucalyptus globulus*; GEMO= *Genista monspessulana*; LUAR= *Lupinus arboreus*; GRSC= *Griselinia scandens*; PIRA= *Pinus radiata*; PLOR= *Platanus orientalis*; PONI= *Populus nigra*; SABA= *Salix babylonica*; SAHU= *Salix humboldtiana*; SAVI= *Salix viminalis*.....28
- Figura 11. Frecuencia de presencia de especies en la totalidad de las parcelas muestreadas. ACDE= *Acacia dealbata*; ACME= *Acacia melanoxylon*; ALGL=

Alnus glutinosa; ARCH= *Aristotelia chilensis*; EUGL= *Eucalyptus globulus*;
GEMO= *Genista monspessulana*; LUAR= *Lupinus arboreus*; GRSC= *Griselinia*
scandens; PIRA= *Pinus radiata*; PLOR= *Platanus orientalis*; PONI= *Populus*
nigra; SABA= *Salix babylonica*; SAHU= *Salix humboldtiana*; SAVI= *Salix*
viminalis.....30

RESUMEN

Históricamente los ecosistemas ribereños han sufrido perturbaciones a causa de la urbanización y la modificación del paisaje. Esto ha ocurrido especialmente en la Región del Biobío a través de la deforestación, sustitución y la habilitación de suelos. Actualmente se ha sumado la problemática de la megasequía que ha enfrentado Chile en las últimas décadas, que ha afectado directamente al río Biobío al ser de régimen pluvial, provocando una baja de caudal, aumento de la acumulación de sedimentos y, en consecuencia, aumento de vegetación. Los objetivos de este estudio buscaron evaluar la nueva vegetación ribereña leñosa del Río Biobío dentro del Gran Concepción. Se determinó su composición y estructura mediante 27 transectos en ambas riberas, como también se estimó el aumento de superficie de vegetación mediante los cambios de cobertura en el período 2016-2023 utilizando imágenes multiespectrales Sentinel-2 e Índices de Vegetación de Diferencia Normalizada interanual. Los resultados indican una estimación de 390,2 ha (60%) de aumento de vegetación ribereña en la zona de estudio entre los años 2016 y 2023. Se identificó un total de 15 especies, 11 introducidas, 2 nativas y 1 endémica. En términos de abundancia, destacan las especies introducidas, *Alnus glutinosa* con un 50% de los individuos muestreados, seguido por *Salix babylonica* con un 14,5% y *Salix humboldtiana* con un 6,8%.

ABSTRACT

Riparian ecosystems have unique characteristics as they are a transitional space, they are dynamic and provide different ecosystem services to society as well as refuge and connectivity for fauna. Historically, these ecosystems have been disturbed by urbanization and landscape modification. This has occurred especially in the Biobío Region through deforestation, substitution, and land development. Currently, the problem of the mega-drought that Chile has faced in recent decades has been added, which has directly affected the Biobío River as it has a pluvial regime, causing a decrease in flow, an increase in sediment accumulation and, consequently, an increase in vegetation. The objectives of this study were to evaluate the new woody riparian vegetation of the Biobío River within the Greater Concepción area. Its composition and structure were determined through 27 transects on both banks, as well as the increase in vegetation surface through cover changes in the period 2016-2023 using Sentinel-2 multispectral images and interannual Normalized Difference Vegetation Indices. The results indicate an estimate of 390,2 ha (60%) of increase in riparian vegetation in the study area between the years 2016 and 2023. A total of 15 species were identified, 11 introduced, 2 native and 1 endemic. In terms of abundance, the introduced species, *Alnus glutinosa*, stand out with 50% of the sampled individuals, followed by *Salix babylonica* with 14,5% and *Salix humboldtiana* with 6,8%

I. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas ribereños corresponden a la interfaz entre los ecosistemas terrestres y acuáticos (Meli et al., 2015). Son sistemas vegetales cercanos a cursos y cuerpos de agua que representan esta transición entre hábitats terrestres y acuáticos en sus diferentes estratos verticales, incluyendo las herbáceas (Weisberg et al., 2013). Esta combinación entre ecosistemas acuáticos, semiacuáticos y terrestres es lo que hace que sean tan dinámicos y únicos, permitiendo diversas funciones ecológicas, tales como el ciclo y retención de nutrientes, control hidrológico y la reducción de contaminantes biológicos (Naiman et al., 2010). Es esencial comprender el medio particular en el que se encuentra cada ecosistema ribereño, ya que dependiendo de sus características pueden también ofrecer funciones de estabilización del suelo, filtro de nutrientes, ser refugio para fauna y crear conectividad en el paisaje (Romero et al., 2014).

La cuenca del río Biobío es la tercera más grande de Chile con una superficie de 24.260 km² (Yevenes et al., 2018) y abarca territorio de tres regiones y múltiples provincias: La región de la Araucanía con la provincia de Malleco y Cautín, la región de Ñuble en las provincias de Diguillín y Punilla y la región del Biobío en las provincias de Arauco, Biobío y Concepción (Subdere, 2023). El río Biobío, del cual toma su nombre la cuenca, tiene una extensión de 380 km y nace en la Cordillera de los Andes, específicamente en la laguna Galletué ubicada en la

provincia Malleco, recorre el valle central y la cordillera de la costa para finalizar con su desembocadura en el Océano Pacífico en la comuna de Hualpén. Posee un régimen hidrológico pluvio-nival (Yevenes et al., 2018) al ser sus principales fuentes de alimentación el agua de lluvia y los deshielos primaverales. Tiene presencia de aguas marinas de alta salinidad hasta aproximadamente 2 km dentro de su desembocadura, siendo bastante menor en comparación con otros estuarios (Bertrán et al., 2001). A lo largo de su extensión posee diversos usos de suelo, tanto industriales, silvoagropecuario y una fuerte presión por expansión urbana. Estos usos varían desde el suministro de agua para el consumo humano, extracción de agua para riego, efluentes de aguas residuales y generación de energía hidroeléctrica (Habit et al., 2013).

Además del contexto geográfico, es importante tener en cuenta los factores que influyen en el caudal del río Biobío. Actualmente, el Biobío experimenta una disminución de su caudal debido a diversos factores, dentro de los cuales se destaca principalmente el cambio climático, cuyas consecuencias implican sequía y escasez hídrica (ONU, 2020). Esto se refleja a nivel nacional con un déficit de precipitaciones entre el 60% y un 80% en la zona centro sur y acumulación de nieve con déficits superiores al 80% (DGA, 2022).

Durante el período 2010-2020, el río Biobío registró una disminución del 25% en su caudal anual medido en la estación “Río Biobío en Desembocadura” en

comparación con el registro más bajo anterior obtenido en la década de 1970, además se registró una disminución del 36% en el caudal durante la temporada invernal (abril-septiembre) en el mismo período (CR2, 2023). Esta situación ha provocado una disminución de sólidos y nutrientes en suspensión favoreciendo la depositación (Yevenes et al., 2018) como también ha reducido el transporte de sedimentos como arenas gruesas, finas y materia orgánica (Bertrán et al., 2001).

Las políticas públicas ejercidas en Chile también juegan un rol importante en la dinámica del caudal con el Código de Aguas, permitiendo la concesión para el uso y goce temporal del recurso hídrico por un período de 30 años a través de los derechos de aprovechamiento de agua. Estos derechos pueden ser consuntivos, es decir, con el consumo total de las aguas sin restitución al medio o no consuntivos, que corresponde al uso del agua con posterior restitución al medio (MOP, 2023). Actualmente se registran 481 concesiones de derechos de aprovechamiento de aguas vigentes en el río Biobío (DGA, 2023).

Al centrarse en el entorno natural e histórico, el río Biobío a lo largo de toda su extensión ha fluido a través de múltiples ecosistemas, formaciones y pisos vegetacionales, siendo algunos de estos el Bosque Resinoso Mediterráneo Templado de *Araucaria Araucana* y *Festuca scrabiusscula* en la Cordillera de los Andes, el Bosque Caducifolio Mediterráneo de *Nothofagus obliqua* y *Persea lingue* en el Valle Central y el Bosque esclerófilo Mediterráneo Costero de *Lithrea*

caustica y *Azara integrifolia* en su desembocadura en el Gran Concepción (Luebert & Pliscoff, 2018).

Las pérdidas de estos ecosistemas naturales provienen de distintas causas, como sucedió durante el período 1979-2000 en la zona centro-sur de Chile, en donde se perdieron 184 mil hectáreas de bosque nativo producto principalmente del aumento de la actividad forestal, la cual aumentó ocho veces durante ese período, la degradación a cobertura tipo matorral y la habilitación de terrenos agrícolas (Aguayo et al., 2009). De igual forma, este aumento de la actividad forestal, consecuencia de los subsidios otorgados por el DL 701, produjo que este aumento de aforestación se expandiera hacia suelos con usos agrícolas y coberturas de bosque nativo y arbustos hasta el año 2011 (Heilmayr et al., 2020). La expansión urbana también es un factor de cambio dentro de los ecosistemas naturales, como lo es el caso de la rápida transformación ocurrida en el Área Metropolitana de Concepción que afectó principalmente zona de humedales y modificó las riberas del río Biobío debido a su mala planificación, que en su efecto aumenta riesgo de inundaciones y deslizamientos (Pauchard et al., 2006).

Un claro ejemplo de las interacciones entre ecosistemas acuáticos y terrestres, propia de los ecosistemas ribereños, se presenta en la llanura aluvial del río Biobío, en donde la invasión de vegetación leñosa en zonas históricamente desprovistas de vegetación es un proceso que viene en aumento y se le atribuye

a la megasequía de la última década (Schoener et al., 2022). Por lo tanto, la vegetación que se forma a partir de los islotes generados por el bajo caudal y la acumulación de sedimentos en el río Biobío también se considera vegetación ribereña.

Dada la importancia y la dinámica de los ecosistemas ribereños y vegetación de ribera, junto con los cambios en la geomorfología fluvial que está experimentando el río Biobío en términos de la acumulación de sedimentos y formación de islotes, en donde la colonización por vegetación es cada año más evidente en su paso por el Gran Concepción previo de su desembocadura al Océano Pacífico, resulta necesario profundizar en la comprensión de esta dinámica. Por lo tanto, el presente estudio tiene como objetivo evaluar estas áreas pobladas con vegetación dentro de la llanura aluvial del río Biobío y los cambios de cobertura vegetal que ocurrieron durante el período 2016-2023. Para ello, se utilizará una estrategia combinada de herramientas satelitales y muestreos de campo, con el fin de estimar la superficie y determinar la estructura y composición de la vegetación ribereña.

II. METODOLOGÍA

2.1 Descripción del área de estudio

El área de estudio se sitúa en el segmento final del río Biobío previo a su desembocadura, ubicado en el Gran Concepción, región del Biobío. Esta sección de río se posiciona entre los 36° 57' y 36° 49' de latitud sur, abarca una superficie de 4073 ha y una extensión de 25 km aproximadamente (Figura 1). Se sitúa entre las comunas Chiguayante, Concepción, San Pedro de la Paz y Hualpén del cono urbano del Gran Concepción. Estas comunas acumulan una población total de 687.437 de habitantes (INE, 2017).

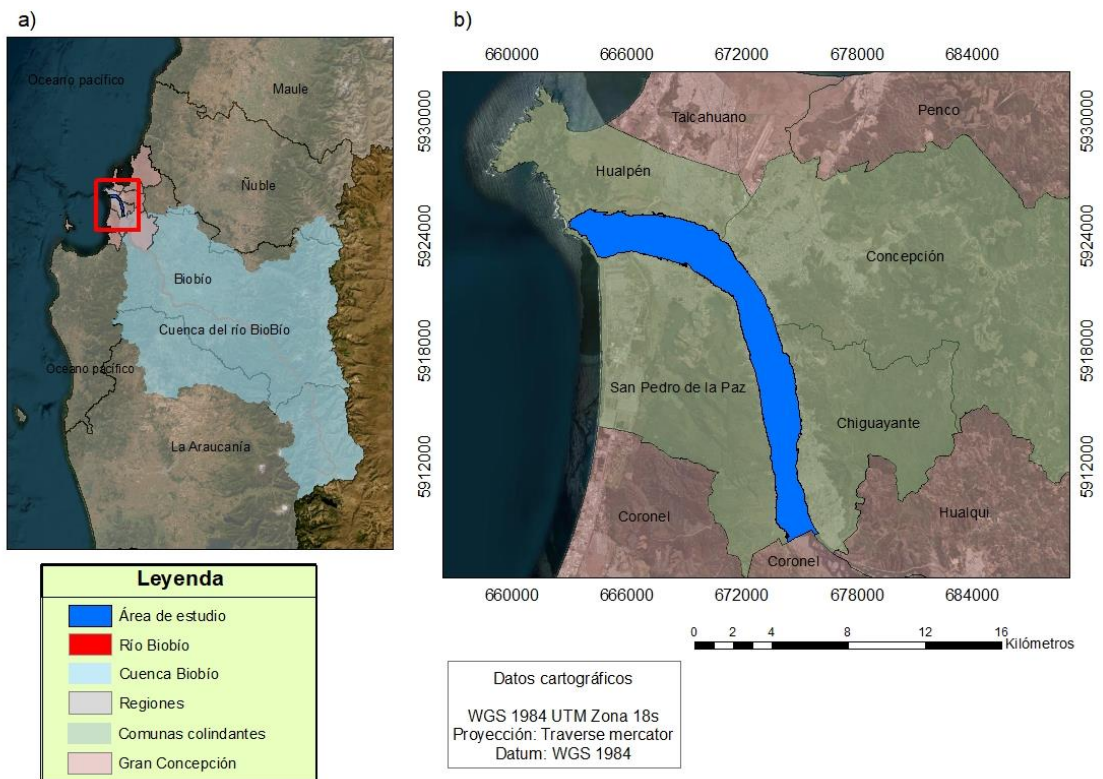


Figura 1. Mapa ubicación del área de estudio en el Gran Concepción, Región del Biobío, Chile. a) Mapa de Cuenca del Biobío; b) Ubicación del área de estudio dentro del Gran Concepción.

El polígono del área de estudio se define a partir de los límites del río Biobío propuestos en el Catastro de uso de suelo y vegetación de la región del Biobío del año 2015 (CONAF, 2015) . Este catastro incluye distintas coberturas de suelo que fueron unificadas al ubicarse todas dentro de la llanura aluvial. Además, se comparó este polígono con los límites establecidos por el Plan Regulador Metropolitano de Concepción (PRMC) que delimita el río dentro de la zonificación

con la zona de drenaje (ZD), esto con el objetivo de verificar los límites administrativos (Figura 2).

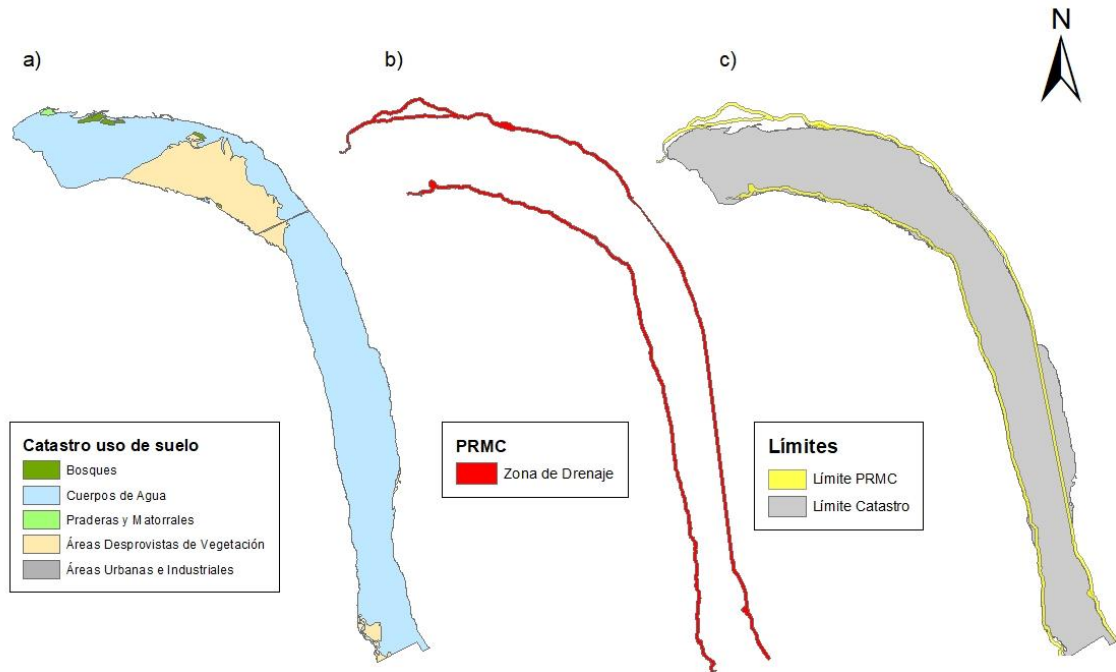


Figura 2. a) Límites del río Biobío propuestos por el catastro uso de suelo (CONAF, 2015). b) Límites del río Biobío por el Plan Regulador Metropolitano de Concepción. c) Superposición de ambos límites.

El área de estudio corresponde al piso vegetacional al Bosque Esclerófilo Mediterráneo Costero de *Lithrea caustica* y *Azara integrifolia* con un nivel de degradación muy elevado. Además, cuenta con influencia de los pisos bioclimáticos Mesomediterráneo inferior subhúmedo y Húmedo inferior hiperoceánico y oceánico (Luebert & Pliscoff, 2018). Al año 2021, la superficie

que representa la vegetación nativa sin la presencia de especies exóticas asilvestradas de este piso vegetacional corresponde al 7,2% de la totalidad de su extensión (CONAF, 2021).

El clima se describe como mediterráneo templado cálido con influencias marítimas, con un contraste bien definido entre invierno y verano. Esta diferencia de contraste estacional se encuentra con una tendencia a la disminución del rango máximo de diferencia entre temperatura máxima y mínima, debido a que en la última década se registró un promedio de 744,11 mm de precipitaciones anuales, siguiendo la tendencia a su disminución desde 1960. Actualmente el Índice de Precipitación Estandarizada se encuentra en “moderadamente seco” (MeteoChile, 2023). Además, las temperaturas registradas en los últimos 30 años en la zona de estudio registran un promedio de 16,5 °C con una variación de 3,4°C en el período octubre-marzo (CR2, 2023).

El suelo de la ribera, en sus terrazas inferior y superior, se caracteriza por estar principalmente compuesto por arena negra con tamaños de partículas finas a gruesas, las cuales son transportadas desde la zona Andina (Peña, 1995).

Este tramo del río Biobío se encuentra inserto dentro de una matriz urbana e industrial, que además posee una combinación de plantación forestal y zonas rurales (Pauchard et al., 2006). En esta sección del río, su caudal es utilizado

directamente para la extracción de aguas para su potabilización y posterior consumo humano, el tratamiento de aguas servidas y extracción de áridos.

2.2. Datos de campo

Para evaluar la superficie y composición de la vegetación ribereña del río Biobío en el Gran Concepción, este estudio adoptó dos enfoques. El primero se basó en el uso de imágenes satelitales para obtener el Índice Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) (Tucker, 1979) y estimar la cobertura de vegetación, mientras que el segundo implicó el levantamiento de información de estructura y composición mediante muestreos de campo de vegetación leñosa.

Para el primer enfoque se utilizaron imágenes multiespectrales pertenecientes al satélite Sentinel-2 del programa Copernicus, debido a la precisión de su resolución espacial y espectral (Soria-Ruiz & Rebeca, 2005). En paralelo, la elección del índice NDVI se basó al considerarse el mejor para la detección de biomasa y densidad de vegetación en comparación con otros índices de reflectancia (Kumar et al., 2018).

Se utilizaron ocho imágenes multiespectrales correspondientes al mes de enero de cada año dentro del período 2016-2023. La resolución espacial de las bandas utilizadas corresponde a 10x10 m corregidas atmosféricamente en su versión

L2A. Esta versión se encontraba disponible para seis de las ocho imágenes, por lo que para los años 2017 y 2018 se corrigió atmosféricamente mediante el procesador Sen2Cor en su versión v2.5.5 de la Agencia Espacial Europea (ESA), transformando las imágenes L1C en su versión L2A.

Para la obtención del índice NDVI se realizó una matemática de bandas utilizando las bandas rojo (Red) e infrarrojo cercano (NIR) correspondientes a la banda cuatro y ocho de imágenes multispectrales Sentinel-2. Esta operación se ejecutó en el *software* Sentinel Application Platform (SNAP) en su versión 9.0.0, aplicando la fórmula:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} = \frac{(Banda 8 - Banda 4)}{(Banda 8 + Banda 4)}$$

El rango de valores del índice fluctúa entre menos uno y uno. Los valores negativos y cercanos a cero corresponden a zonas urbanas y desprovistas de vegetación, mientras que los valores más cercanos al uno representan vegetación cada vez más densa entre más se acerquen al valor máximo. El rango de valores se dividió en cinco categorías de cobertura de vegetación, asignando los valores menores a 0,2 en una categoría sin vegetación y los valores sobre 0,8 como vegetación muy densa (Chuvieco et al., 1999) con intervalos medios de 0,2

(Orlando-Olivares & López-Beltrán, 2019). Esto se realizó mediante la herramienta *Reclassify* del software ArcMap 10.8.0.

Tabla 1. Tabla de clasificación de coberturas de suelo y el rango que representan dentro del índice NDVI.

Cobertura de suelo	Rango
Sin vegetación	$\leq 0,2$
Poca vegetación	0,2 – 0,4
Vegetación media	0,4 – 0,6
Vegetación densa	0,6 – 0,8
Vegetación muy densa	0,8 – 1,0

Sumado a las categorías de vegetación, se agregó una sexta categoría correspondiente a la cobertura de agua, con el fin de diferenciar los cambios entre el río y la categoría “Sin vegetación” dentro del área de estudio. Para este proceso, se calculó el índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI) (McFeeters, 1996) mediante una matemática de bandas entre la banda verde e infrarrojo cercano (banda 3 y 8 respectivamente) en SNAP:

$$NDWI = \frac{(GREEN - NIR)}{(GREEN + NIR)} = \frac{(Banda 3 - Banda 8)}{(Banda 3 + Banda 8)}$$

Al ser normalizado comparte el rango mínimo y máximo entre menos uno y uno, siendo los píxeles con valores positivos correspondientes a agua. Mediante las herramientas *Reclassify* y *Raster calculator* de ArcMap se extrajeron los píxeles y fueron sumados a la capa con las categorías de vegetación obtenidas del índice NDVI.

Los cambios de cobertura dentro del período de estudio se determinaron mediante las categorías de vegetación de cada año. Estos archivos de tipo “raster” se normalizaron en ArcMap para garantizar la correspondencia en el número de filas, columnas y píxeles. Este procedimiento se realizó debido a la presencia de “ruidos” (píxeles blancos sin información) en las imágenes. Posteriormente, los archivos resultantes fueron ingresados al *software* IDRISI Selva en su versión 17.0, donde se utilizó la herramienta *Land Change Modeler* para comparar una cobertura “anterior” y otra “posterior”, obteniendo así de las secciones *Change Analysis* y *Change Maps* gráficas de pérdidas, ganancias y cambios netos por categoría de uso de suelo de las distintas combinaciones de imágenes.

En el segundo enfoque, con el objetivo de caracterizar la composición y estructura de la vegetación leñosa se generaron parcelas de muestreo en forma de transectos. En cada parcela se identificó la composición de especies leñosas

tanto arbustivas como arbóreas, al igual que parámetros estructurales de densidad y altura promedio de individuos por especie. Para definir el diseño de muestreo, se generaron inicialmente en ArcMap 15 puntos cada 2 km a lo largo de cada ribera del río, a los cuales se les aplicó filtro en tres partes: La primera consistió en la superposición de estos sobre las coberturas vegetales del año 2023 en ArcMap, donde se eliminaron aquellos sin coincidencia con áreas de vegetación. Posteriormente, se filtraron por conectividad de caminos para acceso en vehículo utilizando imágenes satelitales en el *software* Google Earth. Finalmente, se realizaron ajustes en terreno en función de su accesibilidad y seguridad para el establecimiento de los transectos. Este proceso resultó en 27 puntos de muestreo (Figura 3), 13 por la ribera norte y 14 por la ribera sur. Cada transecto realizado fue de 50 x 2m seccionados en 5 subparcelas de 10 m.

El muestreo (Figura 4) se realizó durante diciembre de 2023 y principios de enero 2024.

2.3 Análisis de datos

Para el primer enfoque de cambios de cobertura se determinó la superficie de todas las categorías propuestas dentro de cada año, al igual que la dinámica de cambios entre ellas, obteniendo un análisis descriptivo del aumento y disminución

de superficie tanto coberturas con y sin vegetación, como también de cobertura de agua.

En el segundo enfoque se calculó los indicadores de biodiversidad de composición mediante el *software* Rstudio y las librerías *BiodiversityR* y *tidyverse*, con las cuales se obtuvo la abundancia y riqueza de especies. En términos de estructura, se utilizó las alturas promedio por especie para determinar la estructura vertical presente dentro del área de estudio, dividiéndola en tres categorías: Menor a cinco metros (I), entre 5 y 10 metros (II) y sobre 10 metros (III).

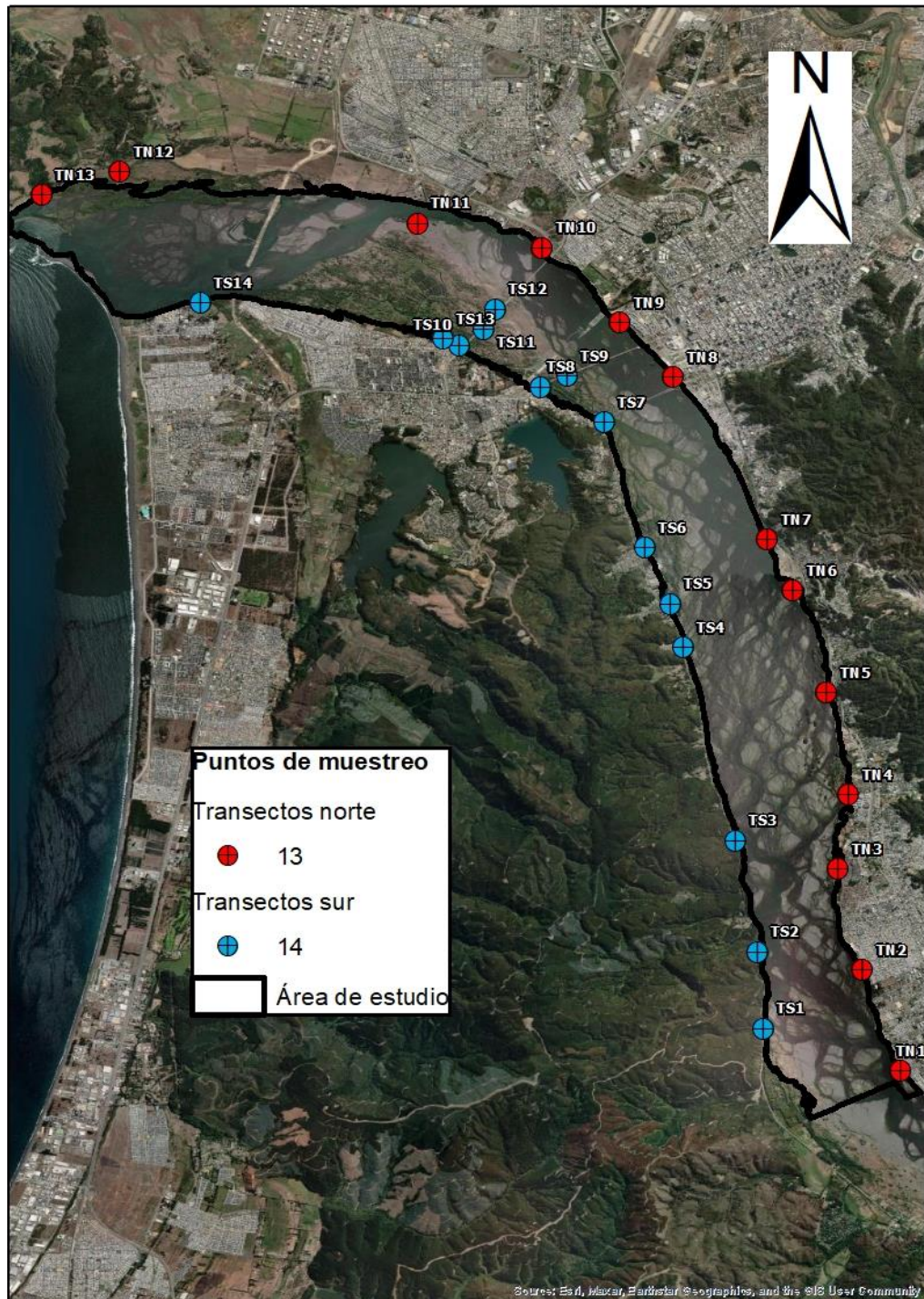


Figura 3. Mapa ubicación puntos de muestreo de vegetación leñosa en ambas riberas norte (rojo) y sur (azul) del río Biobío.



Figura 4. Ejemplo de transecto con vegetación leñosa ribereña adulta. Muestreo transecto TS10, ribera sur, Villa Spring Hill, San Pedro de la Paz.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La dinámica del aumento de vegetación ribereña está directamente relacionada con la disminución del caudal del río Biobío, esto debido a que los bajos niveles del caudal aumentan el tiempo de residencia del agua y, en consecuencia, se concentran las cantidades de soluto (Yevenes et al., 2018) generando bancos de arena. Este fenómeno es producto de un conjunto de procesos tanto naturales como antrópicos, incluyendo la disminución de las precipitaciones y megasequía (Schoener et al., 2022), el aumento de la actividad forestal y actividades agropecuarias a lo largo de la extensión del Biobío (Aguayo et al., 2009), como también la menor regulación del flujo hídrico que producen las plantaciones forestales de especies exóticas (Lara et al., 2003).

3.1 Cobertura de vegetación

El uso de tecnología de teledetección es una forma rápida y económica para evaluar áreas de vegetación, al igual que el uso de NDVI para determinar cobertura y cambios de densidad de vegetación dentro de un período establecido (Hartoyo et al., 2022)

Mediante las categorías de vegetación planteadas en base a rangos del NDVI, se obtiene que en general, la estimación realizada en este estudio sobre la

cobertura de vegetación de ribera resultó en un aumento de 390,2 ha dentro del período en estudio, correspondiente a un 60% más en el año 2023 en comparación con el 2016 (Figura 5, Tabla 2). Además, se presenta una dinámica de transición entre las distintas categorías de coberturas de vegetación relacionadas con la densidad, evidenciando el intercambio que ocurre entre ellas a lo largo del período de estudio, como también el aumento progresivo de la superficie cubierta por vegetación junto a la disminución de la superficie cubierta por agua, además del aumento de superficie sin vegetación (Figura 6, Tabla 2).

Tabla 2. Superficie en hectáreas de cada cobertura presente en el área de estudio.

Cobertura\ Año	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Agua	2297,6	2187,6	2244,1	2044,3	1976,3	1885,9	1796,9	1742,8
Sin vegetación	1191,7	1170,7	1020,8	1137,9	1220,0	1208,1	1233,0	1356,3
Poca vegetación	193,4	288,8	331,1	353,7	319,3	350,2	378,7	302,9
Vegetación media	125,3	155,3	171,5	185,9	206,1	226,8	236,5	213,6
Vegetación densa	115,9	133,9	153,5	164,4	170,4	188,4	208,5	213,0
Vegetación muy densa	149,7	137,4	152,6	187,4	181,4	214,3	219,9	244,9

En el análisis de la dinámica de transición entre coberturas de vegetación por año evidenció que la categoría con mayor ganancia de superficie en el período 2016-

2017 corresponde a “Poca vegetación” con un aumento de 95,4 ha (33%), superficie que provino principalmente de la categoría “Sin vegetación”. Para el año 2018 se repitió la categoría de mayor ganancia, donde “Poca Vegetación” aumentó 42,3 ha (13%) a partir de la pérdida de cobertura “Sin vegetación”. Durante el año 2019 no se registraron mayores ganancias de superficie de vegetación, pero se destaca la ganancia de 117 ha (10%) en la categoría “Sin vegetación” debido a la pérdida de agua registrada dentro del área de estudio. El mayor cambio al año 2020 resultó en 82,1 ha (7%) de aumento de superficie “Sin vegetación”, y al igual que el año anterior, esto se produjo debido a la disminución de cobertura de agua. Durante el período 2021-2022, el aumento de vegetación fue de 58,4, mientras que para el año 2023 aumentó 123,3 ha (9%) la cobertura “Sin vegetación” producto de la pérdida de cobertura de agua y “Poca vegetación”.

La categoría de “Poca vegetación” resulta ser la categoría con mayor cambio dentro del período de estudio, la cual está compuesta principalmente por pastizales, que tienen su mayor crecimiento durante el verano al igual. Además, los pastizales pueden aumentar su crecimiento en relación con la cantidad de nitrógeno disponible en el suelo (Fernández, 2013).

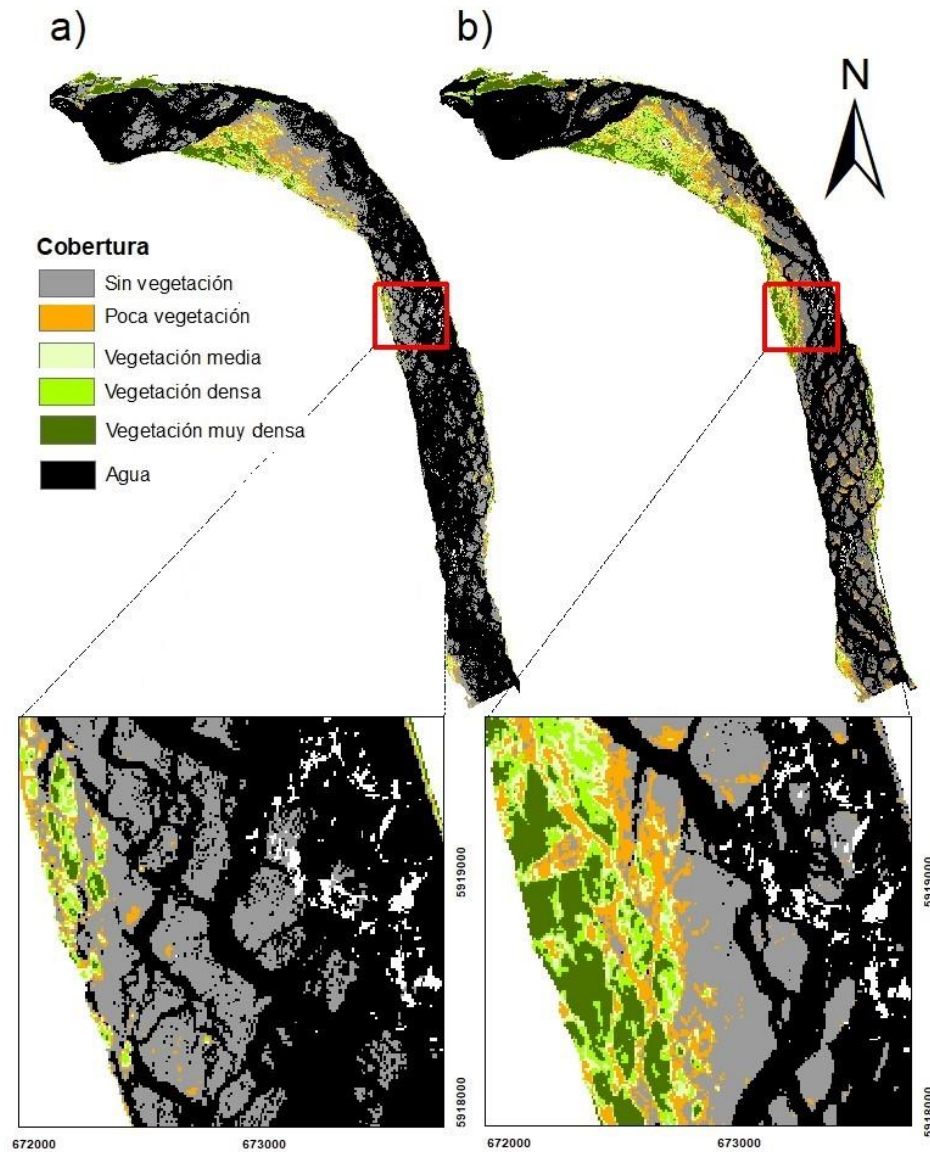


Figura 5. Cobertura de vegetación ribereña detectada a partir del NDVI para el área de estudio. a) Coberturas año 2016; b) Coberturas año 2023. Zonas blancas corresponden a “ruidos” normalizados.

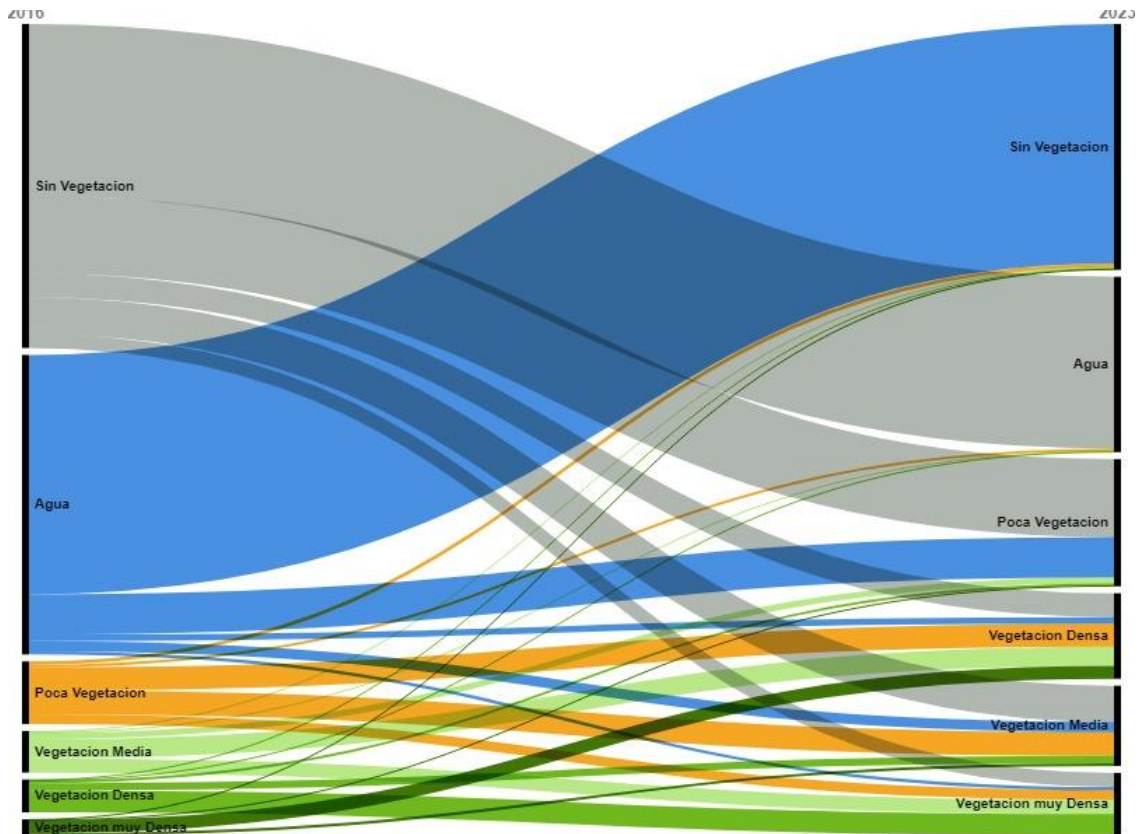


Figura 6. Diagrama aluvial de los cambios de los distintos tipos de cobertura de vegetación de ribera entre año 2016 y 2023. Se visualizan las coberturas y la transición que presentan en el período de estudio.

La vegetación de ribera posee distintas características con las que se relaciona con su entorno tanto biótico como abiótico. Una de estas relaciones es la que tiene con el caudal asociado, donde participa activamente en la dinámica morfológica del río con la biomasa que aporta, influyendo en el banco de arena y los meandros (Perucca et al., 2007), anunciando meandros más pronunciados a medida que disminuya el caudal y aumente la vegetación. En paralelo, el proceso de colonización de la vegetación provee de servicios ecosistémicos a la población

del Gran Concepción, donde se destaca principalmente el servicio cultural de recreación y apreciación al encontrar múltiples senderos informales en 15 de los 27 puntos de muestreo por la ribera, demostrando que hay visitantes en la ribera fuera de los límites establecidos. De la misma forma, se detectaron malas prácticas en la zona ribereña al encontrar vegetación talada, afectando principalmente a individuos de aliso (Figura 7 y 8). También se encontraron caminos de vehículos y huellas de motocicletas en sectores donde el río ha ido retrocediendo.



Figura 7. Parche de aliso (*Alnus glutinosa*) talado ubicado en la ribera norte del Biobío. Transecto TN4 ubicado detrás de Liceo Hipólito Salas, Chiguayante.



Figura 8. Aserradero de madera de aliso muy próxima a la parcela TN4, Chiguayante.

3.2 Muestreo en campo.

Del muestreo realizado en la vegetación leñosa de ribera se registró un total de 1241 individuos. Se identificaron 9 familias, 12 géneros y un total de 15 especies diferentes, de las cuales 11 corresponden a especies introducidas, dos nativas y una endémica. Dentro de las 11 especies introducidas, 8 son consideradas como especies invasoras (Fuentes et al., 2014) (Tabla 3).

Tabla 3. Listado de especies leñosas dentro del área de estudio. I= Introducida; N= Nativa; E= Endémica. Arb = Árbol; A = Arbusto

Nombre común	Especie	Origen	Hábito	Invasora
Aromo chileno	<i>Acacia dealbata</i> Link	I	Arb	Si
Aromo negro	<i>Acacia melanoxylon</i> R.Br	I	Arb	Si
Aliso	<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.	I	Arb	Si
Maqui	<i>Aristotelia chilensis</i> (Molina) Stuntz	N	A/Árb	No
Eucalipto común	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	I	Arb	Si
Retamilla	<i>Genista monspessulana</i> (L.) L.A.S. Johnson	I	A	Si
Chocho	<i>Lupinus arboreus</i> Sims	I	A	Si
Yelmo	<i>Griselinia scandens</i> (Ruiz & Pav.) Taub.	E	A	No
Pino radiata	<i>Pinus radiata</i> D.Don	I	Arb	Si
Plátano oriental	<i>Platanus orientalis</i> L.	I	Arb	No
Álamo negro	<i>Populus nigra</i> L.	I	Arb	No
Zarzamora	<i>Rubus ulmifolius</i> Schott	I	A	Si
Sauce llorón	<i>Salix babylonica</i> L.	I	Arb	No
Sauce chileno	<i>Salix humboldtiana</i> Willd.	N	Arb	No
Sauce mimbre	<i>Salix viminalis</i> L.	I	Arb	No

La riqueza total registrada al interior de los transectos varía entre una a seis especies, mientras que la riqueza a nivel de ribera resulta en 13 especies en la ribera norte y 12 especies por la ribera sur. Se destaca la mayor riqueza de especies exóticas por sobre las nativas en ambas riberas, con un promedio de entre dos y tres especies exóticas en la ribera norte y tres especies exóticas por transecto, mientras que las especies nativas se disminuye a uno en ambas riberas (Figura 9). Estos bajos niveles de riqueza reafirman el alto grado de perturbación que han sufrido los ecosistemas ribereños dentro del Gran Concepción, como también la reducción importante en la diversidad de especies (Gutierrez-Flores & Becerra, 2020).

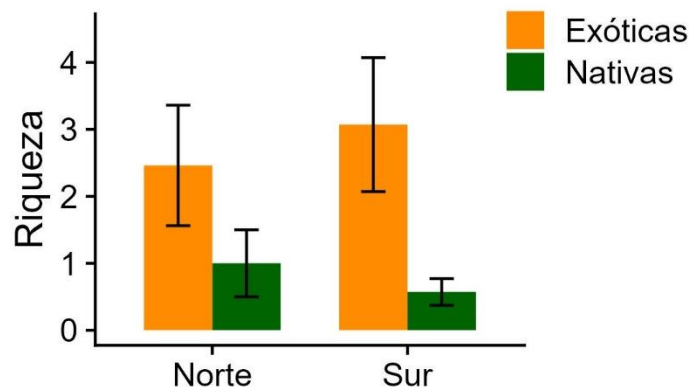


Figura 9. Riqueza promedio por transecto de especies nativas y exóticas registradas en cada ribera del río Biobío.

La especie con mayor abundancia corresponde a *Alnus glutinosa*, representando un 50% de la totalidad de los individuos muestreados (Figura 10). Esta especie se introdujo con fines silviculturales en los años 70 con la intención de producción de madera y recuperar ecosistemas pantanosos debido a su capacidad de crecer en zonas con problemas de drenaje y baja fertilidad, por lo que es común que crezca en orillas de cursos de agua debido a que sus semillas pueden ser dispersadas hasta 60 m por viento y además flotar, tienen la capacidad de germinar hasta 12 meses desde su liberación (González-Ortega et al., 1998). Se comporta como especie pionera al aportar nitrógeno y mantillo al suelo, mejorando la calidad del suelo (Loewe M, 2003). Aún frente a los posibles beneficios de esta especie es considerada como una especie invasora en Chile, ya que genera poblaciones muy densas que impiden el paso de la luz, inhibiendo el crecimiento de especies vegetales nativas (Fuentes et al., 2014).

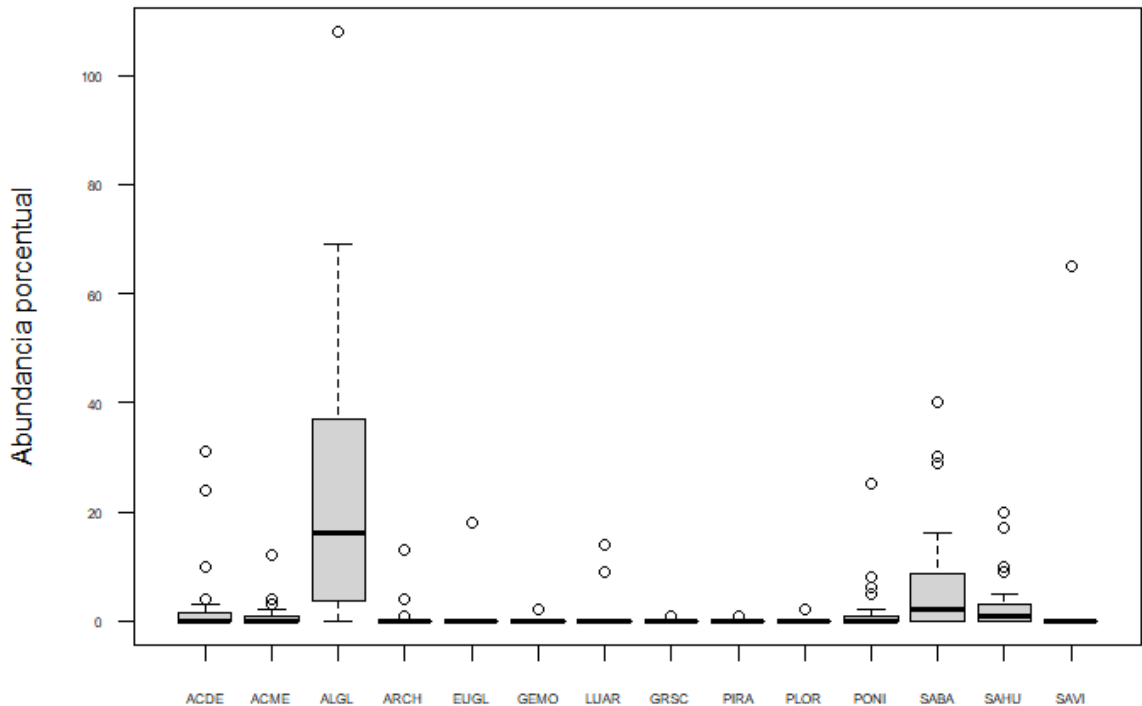


Figura 10. Abundancia porcentual de las especies leñosas registradas al interior de los transectos. ACDE= *Acacia dealbata*; ACME= *Acacia melanoxylon*; ALGL= *Alnus glutinosa*; ARCH= *Aristotelia chilensis*; EUGL= *Eucalyptus globulus*; GEMO= *Genista monspessulana*; LUAR= *Lupinus arboreus*; GRSC= *Griselinia scandens*; PIRA= *Pinus radiata*; PLOR= *Platanus orientalis*; PONI= *Populus nigra*; SABA= *Salix babylonica*; SAHU= *Salix humboldtiana*; SAVI= *Salix viminalis*.

Conocida comúnmente como Sauce Llorón, *Salix babylonica*, resultó ser la segunda especie con mayor abundancia dentro del estudio con un 14,5% de los individuos registrados, seguido por *Salix humboldtiana* con 6,8%. En particular, *Salix babylonica* se considera una especie introducida naturalizada de hoja caduca que produce más evapotranspiración que la siempreverde en condiciones de agua permanente (Le Maitre et al., 2015).

Esta situación de baja participación de especies nativas tanto en riqueza como de abundancia afecta a la biodiversidad del Biobío, influyendo negativamente en la riqueza y abundancia de artrópodos (Greenwood et al., 2004) como también de peces (Habit et al., 2006).

A diferencia de la abundancia descrita anteriormente, la frecuencia de presencia de las especies por parcela nos permite identificar de mejor forma a especies de menor participación en términos de cantidad de individuos, pero que si se encuentran distribuidas dentro del área de estudio. En el caso de la vegetación ribereña dentro del Gran Concepción, se repiten las tres primeras especies más abundantes con las más frecuentes. El Aliso (*Alnus glutinosa*) se posiciona como la especie con mayor aparición y distribución dentro del área de estudio, participando en 20 puntos de muestreo (74%), reafirmando su categoría de especie invasora en nuestro país. Los sauces *Salix babylonica* y *Salix humboldtiana* participan en 16 (59%) y 15 (55%) parcelas. (Figura 11).

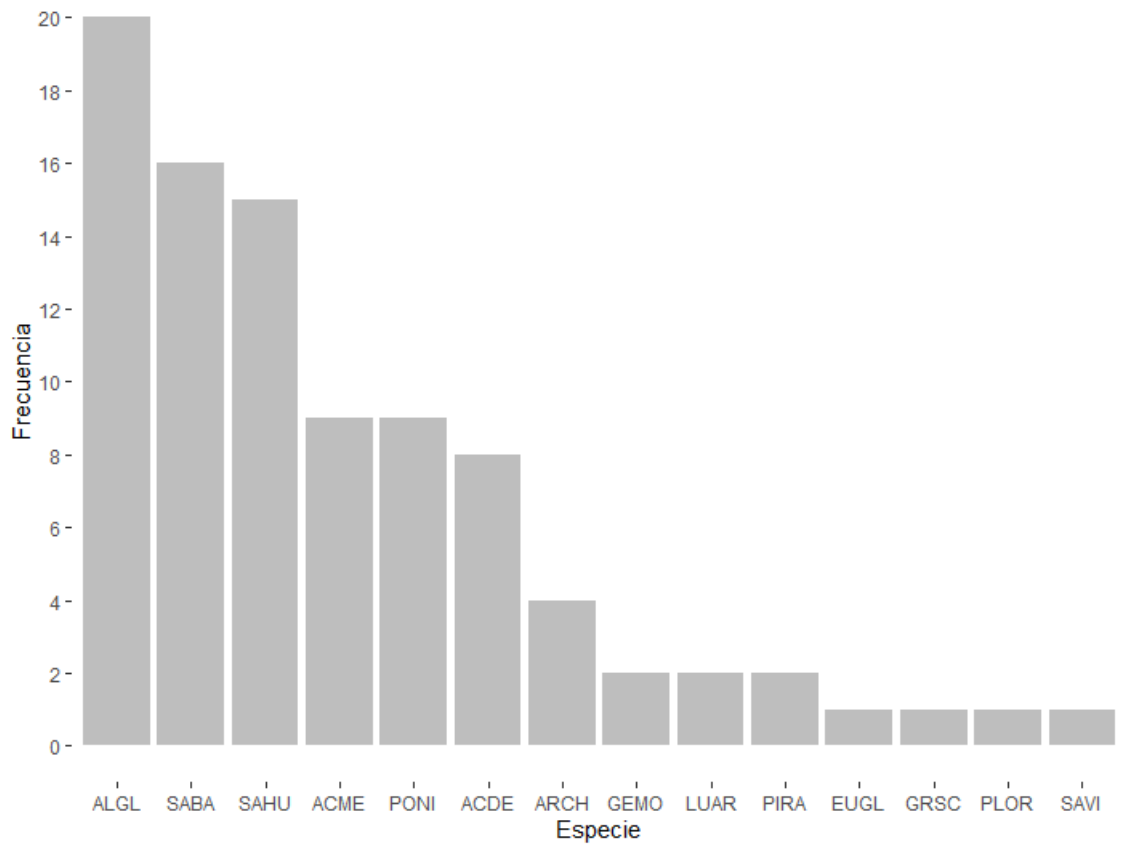


Figura 11. Frecuencia absoluta de presencia de especies en la totalidad de las parcelas muestreadas. ACDE= *Acacia dealbata*; ACME= *Acacia melanoxylon*; ALGL= *Alnus glutinosa*; ARCH= *Aristotelia chilensis*; EUGL= *Eucalyptus globulus*; GEMO= *Genista monspessulana*; LUAR= *Lupinus arboreus*; GRSC= *Griselinia scandens*; PIRA= *Pinus radiata*; PLOR= *Platanus orientalis*; PONI= *Populus nigra*; SABA= *Salix babylonica*; SAHU= *Salix humboldtiana*; SAVI= *Salix viminalis*.

La correlación entre las variables de abundancia y frecuencia obtuvo un valor de 0,76, resultando ser positiva. Que este valor se aleje del uno puede ser explicador explicado por especies como *Salix viminalis* que con 65 individuos sólo se encontró en punto de muestreo (TN3).

Hablando del componente de estructura, la altura promedio obtenida para cada especie, las alturas promedio de siete de las 15 especies (46,6%) muestreadas en este estudio ya se encuentran establecidas con categoría II o III (Tabla 4), donde según la normativa Chilena de Ley de Bosques, donde todo individuo arbóreo superior a cinco metros es considerado árbol, pudiéndose también tratarse de “bosques” la nueva superficies de vegetación al ser dominado por especies con alturas de esta categoría (CONAF, 2008).

Tabla 4. Alturas promedio por especie de los individuos muestreados en ambas riberas del río Biobío.

Especie	Altura promedio
<i>Pinus radiata</i>	12,5
<i>Eucalyptus globulus</i>	11,7
<i>Acacia melanoxylon</i>	10,3
<i>Alnus glutinosa</i>	8,6
<i>Salix humboldtiana</i>	8,4
<i>Acacia dealbata</i>	7,0
<i>Salix babylonica</i>	6,5
<i>Populus nigra</i>	4,8
<i>Platanus orientalis</i>	4,0
<i>Salix viminalis</i>	2,1
<i>Aristotelia chilensis</i>	2,0
<i>Griselinia scandens</i>	2,0
<i>Genista monspessulana</i>	1,8
<i>Rubus ulmifolius</i>	1,5
<i>Lupinus arboreus</i>	1,2

En el contexto actual, existen políticas públicas que incentivan a grandes empresas y pequeños propietarios a la protección y restauración de zonas ribereñas. Sin embargo, la falta de información recolectada directamente en

terreno debido a la particularidad de cada proceso y vegetación de cada cuenca retrasa este proceso de acción (Romero et al., 2014). Esto genera la necesidad de trabajar más en las políticas que incentiven el manejo de los ecosistemas ribereños, enfocándose en la conservación y recuperación de sus funciones y servicios mediante la restauración ecológica, la cual puede llevar a estos ecosistemas degradados a niveles similares de los ecosistemas naturales (Meli et al., 2013). Esta situación puede ser enfrentada mediante el manejo de la vegetación de ribera, donde al ya presentar especies fijadoras de nitrógeno se pueden emplear distintas técnicas de dispersión de semillas y plantación de individuos en arena (Novais et al., 2020).

IV. CONCLUSIONES

El presente estudio es un antecedente relevante para conocer la dinámica de cambio de cobertura de suelo que está ocurriendo dentro de la llanura aluvial del río Biobío en el Gran Concepción. Esta zona se ha encontrado sometida históricamente a una fuerte presión de expansión urbana y desarrollo industrial, por lo que el aumento de más del 60% de vegetación ribereña (principalmente especies exóticas invasoras) en siete años debido a la disminución del cauce. Este aumento de vegetación podría dar dando paso a nuevos usos de la llanura aluvial del Biobío a corto y largo plazo, siendo los de corto plazo el aumento de caminos vehiculares por la ribera, senderos y tala de estos nuevos parches de vegetación, mientras que los usos a largo plazo son desconocidos, pero con una tendencia histórica a la urbanización.

Se recomienda realizar estudios enfocados en la caracterización de las especies en regeneración bajo el dosel de las especies leñosas descritas anteriormente, como también efectos en las interacciones de fauna que potencialmente utilicen esta nueva vegetación como hábitat. Además, incluir estas nuevas zonas de vegetación permanente dentro del Plan Regulador Metropolitano de Concepción e Infraestructura Ecológica de la Región del Biobío, debido a los posibles servicios ecosistémicos que puede proveer a la comunidad.

V. GLOSARIO

Abundancia: El número total de individuos vivos de una especie determinada (Preston, 1948).

Riqueza de especies: El número de especies en una comunidad, en un paisaje o en una región (Colwell, 2009).

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Aguayo, M., Pauchard, A., Azócar, G., & Parra, O. (2009, 01/01). Cambio del uso del suelo en el centro sur de Chile a fines del siglo XX: Entendiendo la dinámica espacial y temporal del paisaje. *Revista chilena de historia natural*, 82(3). <https://doi.org/10.4067/s0716-078x2009000300004>
- Bertrán, C., Arenas, J., & Parra, O. (2001, 06/01). Macrofauna del curso inferior y estuario del río Biobío (Chile): cambios asociados a variabilidad estacional del caudal hídrico. *Revista chilena de historia natural*, 74(2). <https://doi.org/10.4067/s0716-078x2001000200010>
- Chuvieco, E., Deshayes, M., Stach, N., Cocero, D., & Riaño, D. (1999). Short-term fire risk: foliage moisture content estimation from satellite data. In E. Chuvieco (Ed.), *Remote Sensing of Large Wildfires* (pp. 17-38). Springer Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-60164-4>
- Colwell, R. K. (2009). III.1 Biodiversity: Concepts, Patterns, and Measurement. In *The Princeton Guide to Ecology* (pp. 257-263). <https://doi.org/10.1515/9781400833023.257>
- CONAF. (2008). *Ley sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal* (Vol. 20283). <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=274894>
- CONAF. (2015). *Catastro de uso de suelo de la región del Biobío (Corporación Nacional Forestal)*. Retrieved 10 de Enero from <https://ide.minagri.gob.cl/geoweb/2019/11/22/planificacion-catastral/>
- CONAF. (2021). *Monitoreos de cambio de uso de la tierra (Corporación Nacional Forestal)*. Retrieved 8 de Marzo from <https://ide.minagri.gob.cl/geoweb/2019/11/22/planificacion-catastral/>
- CR2. (2023). *Datos de caudales de la estación "Río Biobío en Desembocadura" (Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia)*. Retrieved 12 de Julio from <https://explorador.cr2.cl>

- DGA. (2022). *Plan sequía (Dirección General de Aguas)*. Retrieved 17 de Octubre from <https://www.gob.cl/plansequia/antecedentes/>
- DGA. (2023). *Derechos Históricos. (Dirección General de Aguas)*. Retrieved 20 de Diciembre from https://dga.mop.gob.cl/productosyservicios/derechos_historicos/Paginas/default.aspx
- Fernández-Grecco, R. (2013). Dinámica del crecimiento de una pastura de agropiro alargado de acuerdo con la época de fertilización nitrogenada. *Revista de investigaciones agropecuarias*, 39, 162-168.
- Fuentes, N., Sánchez, P., Pauchard, A., Urrutia, J., Cavieres, L., & Marticorena, A. (2014). *Plantas invasoras del centro-sur de Chile: Una guía de campo*. Laboratorio de Invasiones Biológicas (LIB).
- González-Ortega, M. P., Herrera, D., Loewe-Muñoz, V. F., & Pineda-Bravo, G. E. (1998). *Aliso común. Alnus glutinosa. Monografía*. INFOR. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/4086>
- Greenwood, H., O'Dowd, D. J., & Lake, P. S. (2004, Sep-Nov). Willow (x) invasion of the riparian zone in south-eastern Australia: reduced abundance and altered composition of terrestrial arthropods. *Diversity and Distributions*, 10(5-6), 485-492. <https://doi.org/DOI> 10.1111/j.1366-9516.2004.00104.x
- Gutierrez-Flores, I. R., & Becerra, P. (2020, 11/14). Composición, diversidad y estructura de la vegetación de bosques ribereños en el centro sur de Chile. *Bosque*, 39, 239-253.
- Habit, E., Belk, M., Tuckfield, C., & Parra, O. (2013). Estado de conocimiento de los peces dulceacuicolas de Chile.
- Habit, E., Dyer, B., & Vila, I. (2006, 06/01). Estado de conocimiento de los peces dulceacuicolas de Chile. *Gayana (Concepción)*, 70. <https://doi.org/10.4067/S0717-65382006000100016>

- Hartoyo, A. P. P., Pamoengkas, P., Mudzaky, R. H., Khairunnisa, S., Ramadhi, A., Munawir, A., Komarudin, K., Hidayati, S., & Sunkar, A. (2022, 11/01). Estimation of vegetation cover changes using normalized difference vegetation index (NDVI) in Mount Halimun Salak National Park, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1109(1), 012068. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1109/1/012068>
- Heilmayr, R., Echeverría, C., & Lambin, E. F. (2020, Sep). Impacts of Chilean forest subsidies on forest cover, carbon and biodiversity. *Nature Sustainability*, 3(9), 701-709. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0547-0>
- INE. (2017). *Censo de Población y Vivienda 2017. (Instituto Nacional de Estadística)*. Retrieved 16 de Julio from <http://resultados.censo2017.cl/Region?R=R08>
- Kumar, V., Sharma, A., Bhardwaj, R., & Thukral, A. K. (2018, 2018/11/01/). Comparison of different reflectance indices for vegetation analysis using Landsat-TM data. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 12, 70-77. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.10.013>
- Lara, A., Soto, D., Armesto, J. J., Donoso, P., Wernli, C., Nahuelhual, L., & Squeo, F. (2003). *Componentes científicos clave para una política nacional sobre usos, servicios y conservación de los bosques nativos Chilenos*.
- Le Maitre, D. C., Gush, M. B., & Dzikiti, S. (2015, May 1). Impacts of invading alien plant species on water flows at stand and catchment scales. *AoB plants*, 7. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plv043>
- Loewe M, V. (2003). *Aliso italiano, Aliso negro, Aliso rojo, Fresno y Avellano chileno, nuevas alternativas para producir madera de alto valor*.
- Luebert, F., & Pliscoff, P. (2018). *Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile* (2da ed.). Editorial Universitaria.
- McFeeters, S. K. (1996, May 10). The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425-1432. <https://doi.org/Doi> 10.1080/01431169608948714

- Meli, P., Benayas, J., Carabias, J., Ruiz, L., & Martínez-Ramos, M. (2013). Restauración de los ecosistemas ribereños y sus servicios ecosistémicos: meta-análisis global y un estudio de caso en Chiapas, México. In (pp. 39-58).
- Meli, P., Ruiz, L., & Carabias, J. (2015). La vegetación riparia. In (pp. 115-128).
- MeteoChile. (2023). *Índice de Precipitación Anual (Dirección Meteorológica de Chile)*. Retrieved 17 de Julio de 2023 from <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/historico/indiceClimaticoTendencia/360019/119>
- MOP. (2023). *Derechos de aprovechamiento de aguas superficiales (Ministerio de Obras Públicas)*. Retrieved 8 de Diciembre from [https://www.mop.gob.cl/tramitesmop/derechos-de-aprovechamiento-de-aguas-superficiales/#:~:text=El%20derecho%20no%20consuntivo%20posibilita,actividad%20\(por%20ejemplo%3A%20riego%2C](https://www.mop.gob.cl/tramitesmop/derechos-de-aprovechamiento-de-aguas-superficiales/#:~:text=El%20derecho%20no%20consuntivo%20posibilita,actividad%20(por%20ejemplo%3A%20riego%2C)
- Naiman, R. J., Decamps, H., & McClain, M. E. (2010). *Riparia : Ecology, Conservation, and Management of Streamside Communities* (1st ed.). Elsevier Science. <http://ebookcentral.proquest.com/lib/soas-ebooks/detail.action?docID=286739>
- Novais, J. M. P., Ramos, F. T., Dores, E. F. G. D., & Maia, J. C. D. (2020, Jan-Mar). Impact of different revegetation techniques on soil and plant attributes in a riparian zone. *Caatinga*, 33(1), 151-159. <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n117rc>
- ONU. (2020). *¿Qué es el cambio climático? (Organización de las Naciones Unidas)*. <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change>
- Orlando-Olivares, B., & López-Beltrán, M. A. (2019, 06/17). Índice de vegetación de diferencia normalizada aplicado al territorio indígena agrícola de Kashaama, Venezuela. *UNED Research Journal*, 11(2), 112-121. <https://doi.org/10.22458/urj.v11i2.2299>

- Pauchard, A., Aguayo, M., Peña, E., & Urrutia, R. (2006, 01/31). Multiple effects of urbanization on the biodiversity of developing countries: The case of a fast-growing metropolitan area (Concepción, Chile). *Biological Conservation*, 127(3), 272-281.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.05.015>
- Peña, F. (1995, 10/18). Geomorfología de la ribera norte del río Biobío en su curso inferior. Limitaciones y potencialidades del área. *Revista de Geografía Norte Grande*(22), 27-33.
<https://ojs.uc.cl/index.php/RGNG/article/view/41755>
- Perucca, E., Camporeale, C., & Ridolfi, L. (2007, Mar 20). Significance of the riparian vegetation dynamics on meandering river morphodynamics. *WATER RESOURCES RESEARCH*, 43(3), W03430-03431.
<https://doi.org/Artn> W03430
10.1029/2006wr005234
- Preston, F. W. (1948, 1948/07/01). The commonness, and rarity, of species. *Ecology*, 29(3), 254-283. <https://doi.org/10.2307/1930989>
- Romero, F. I., Cozano, M. A., Gangas, R. A., & Naulin, P. I. (2014, 12/01). Zonas ribereñas: protección, restauración y contexto legal en Chile. *Bosque*, 35(1), 1-2. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002014000100001>
- Schoener, G., Muñoz, E., Arumí, J. L., & Stone, M. C. (2022, Dec). Impacts of climate change induced sea level rise, flow increase and vegetation encroachment on flood hazard in the Biobio river, Chile. *Water*, 14(24).
<https://doi.org/ARTN> 4098
10.3390/w14244098
- Soria-Ruiz, J., & Rebeca, G. (2005, 01/01). Relación entre los índices de vegetación obtenidos de los sensores AVHRR del satélite NOAA y TM del Landsat. *Ciencia Ergo Sum*, 12.
- Subdere. (2023). *División Política Administrativa 2023*.
<https://www.geoportal.cl/geoportal/catalog/36391/División%20Política%20Administrativa%202023>

- Tucker, C. J. (1979, 1979/05/01/). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127-150. <https://doi.org/Doi> 10.1016/0034-4257(79)90013-0
- Weisberg, P. J., Mortenson, S. G., & Dilts, T. E. (2013, Jan). Gallery forest or herbaceous wetland? The need for multi-target perspectives in riparian restoration planning. *Restoration Ecology*, 21(1), 12-16. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2012.00907.x>
- Yevenes, M. A., Figueroa, R., & Parra, O. (2018, May). Seasonal drought effects on the water quality of the Biobio River, Central Chile. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(14), 13844-13856. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1415-6>