



UNIVERSIDAD DE CHILE
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Escuela de Pregrado
Carrera de Geografía

ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL DE LA ZONA RIBEREÑA DEL ESTERO
PUANGUE, EN UN TRAMO DE LA CUENCA MEDIA EN LA COMUNA DE
CURACAVÍ CON ÉNFASIS EN LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.

“Memoria para optar al título de Geógrafa”

ALEXANDRA MARDONES SOTO

“Profesor Guía: Rodrigo Vargas Rona”

SANTIAGO - CHILE
2024.

Para aquellos que estuvieron
en el proceso, gracias.

Resumen

Desde tiempos antiguos las comunidades se han desarrollado alrededor de cursos y cuerpos de agua debido a los diversos servicios ecosistémicos que estos ofrecen. Sin embargo, estos ecosistemas fluviales, especialmente en sus zonas ribereñas, han sido significativamente afectados por las intervenciones y los grandes cambios urbanos ocurridos en Chile, lo que ha llevado finalmente que dichos ecosistemas se encuentren con una degradación y una alteración muy severas. Por ello se hace énfasis en la importancia de proteger y restaurar las zonas ribereñas.

La presente memoria tiene como objetivo analizar el estado actual de la sección urbana y periurbana de la zona ribereña del estero Puangue, ubicada en un tramo de la cuenca media en la comuna de Curacaví, con énfasis en la restauración ecológica.

Palabras clave: Zona ribereña – Degradación de ecosistemas - Restauración ecológica- Curacaví.

Índice de Contenido

CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN	7
1.1 Introducción	7
1.2 Planteamiento del problema	8
1.3 Estado del asunto.....	10
1.3.1 Restauración Ecológica	10
1.3.2 Degradación de ecosistemas.....	12
1.3.3 Paisaje.....	13
1.3.4 Zona ribereña.....	13
1.4 Área de estudio.....	14
1.4.1 Caracterización de sistema de cuencas y red hídrica.....	15
1.4.2 Caracterización físico - natural.....	15
1.4.3 Caracterización sociodemográfica	17
1.5 Objetivos	18
1.5.1 Objetivo General.....	18
1.5.2 Objetivos Específicos	18
CAPÍTULO 2: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	18
2.1 Métodos para analizar los cambios en la zona ribereña del Estero Puangue	18
2.1.1 Índice de Vegetación normalizado (NDVI).....	18
2.1.2 Análisis de precipitaciones.....	19
2.1.3 Análisis del estado de laderas.....	20
2.1.4 Análisis temporal del paisaje	20
2.2 Métodos para identificar las principales causas que afectan en el estado actual del área de estudio.	22
2.2.1 Índice de calidad de bosque de ribera: QBR.....	22
2.2.2 Índice de Hábitat Fluvial (IHF).....	23
2.2.3 Encuestas.....	24
2.3 Formulación de propuesta de restauración ecológica.....	25
CAPÍTULO 3: RESULTADOS	26
3.1 Cambios en la zona ribereña del estero Puangue en el área de estudio entre 1993 - 2023	26
3.1.1. Índice de Vegetación Normalizado (NDVI)	26
3.1.2. Análisis de precipitaciones.....	27
3.1.3. Análisis de ladera.....	29
3.1.4. Métricas de paisaje	29
3.2 Identificación de los principales factores que inciden en el grado de degradación actual	32

3.2.1 Índice de Calidad de Ribera (QBR).....	32
3.2.2. Índice de Hábitat Fluvial (IHF).....	34
3.2.3. Encuesta.....	35
3.3 Propuesta de restauración ecológica en la zona ribereña en la sección urbana y periurbana del Estero Puangue de la comuna de Curacaví.....	38
3.3.1. Zona de protección de ribera del Estero Puangue.	38
3.3.2. Reforestación con vegetación nativa y endémica	40
3.3.3. Control de especies invasoras.....	42
3.3.4. Prácticas de agricultura sustentable y extracción de áridos.....	45
3.3.5. Señalética informativa y educacional	46
3.3.6. Jornadas de limpieza comunitaria	47
3.3.7. Medidas de control de erosión.....	48
3.3.8. Fitorremediación para aguas contaminadas	50
CAPÍTULO 4: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	53
4.1 Discusión.....	53
4.2 Conclusiones	57
BIBLIOGRAFÍA	58
ANEXOS	73

Índice de Figuras

Figura 1: Aproximaciones para la recuperación de hábitat o ecosistemas	11
Figura 2: Modelo conceptual de la degradación y restauración de un ecosistema.....	12
Figura 3: Franja ribereña de un río	14
Figura 4: Área de estudio	17
Figura 5: Sección del estero Puangue a trabajar.....	24
Figura 6: Cartografía del índice NDVI en la comuna de Curacaví de los años 1993 y 2023	27
Figura 7: Gráfico de las precipitaciones anuales del periodo de 1993 a 2023	28
Figura 8: Cartografía de pendientes presentes en la comuna de Curacaví.....	29
Figura 9: Estado de los tramos de muestreos en base al índice QBR.....	34
Figura 10: Estado de los tramos de muestreos en base al IHF	35
Figura 11: Resultados sobre preguntas de conocimiento de la encuesta.....	35
Figura 12: Percepción de los encuestados respecto a la degradación del Estero Puangue.....	36
Figura 13: Factores que causan degradación en el Estero Puangue según la percepción de los habitantes de Curacaví	37
Figura 14: Causas de degradación aguas arriba del estero Puangue	37
Figura 15: Medidas de restauración que se deberían aplicar para mejorar la zona ribereña del Estero Puangue según los encuestados.....	38
Figura 16: Esquema del reglamento de Suelo, Agua y Humedales (Ley 20.283) que señala el establecimiento de protección para distintos cuerpos de agua	40
Figura 17: Esquema del método Miyawaki.....	42
Figura 18: Ejemplo letrero informativo de acceso	46
Figura 19: Ejemplo de señalización educativa	47
Figura 20: Ejemplo de señalización en barandas	47
Figura 21: Esquema tratamiento lineal con fajinas de ramas	49
Figura 22: Esquema tratamiento de cubierta con esteras de especies varias.....	49
Figura 23: Esquema canal de desviación o de difusión de aguas.....	50
Figura 24: Ventas y desventajas de la Fitorremediación.....	52
Figura 25: Cartografía de las principales medidas de restauración ecológicas propuestas	53

Índice de Tablas

Tabla 1: Rango de pendientes según el tipo de umbral geomorfológico	20
Tabla 2: Rangos de calidad según el índice QBR	22
Tabla 3: Puntuación de cada bloque del índice IHF.....	23
Tabla 4: Rangos de calidad según el índice IHF	23
Tabla 5: Registro histórico de los Decretos de Escasez Hídrica promulgados que incluyen a la comuna de Curacaví.....	28
Tabla 6: Métricas del paisaje a nivel de clase aplicada en la comuna de Curacaví de 1993.....	30
Tabla 7: Métricas del paisaje a nivel de clase aplicada en la comuna de Curacaví de 2023	31
Tabla 8: Métricas a nivel de paisaje aplicada en la comuna de Curacaví	31
Tabla 9: Puntajes obtenidos por el índice QBR	32
Tabla 10: Puntajes obtenidos por el índice de hábitat fluvial (IHF).....	34

CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN

1.1 Introducción

Los cursos de agua de cualquier parte del mundo tienen en sus orillas una zona de transición entre los ecosistemas terrestres y acuáticos, más conocida como zona ribereña o ripariana. En esta zona hay vegetación que se encuentra adaptada a las fluctuaciones del nivel del agua en periodos secos y de lluvias (Vázquez, Martínez & García-Franco, s/f), además, realizan diversas funciones importantes como ecosistemas propios, siendo la principal, la de preservar a los mismos a través del desarrollo de procesos hidroecológicos tales como la mantención de los cursos fluviales y del hábitat de todas las formas de vida que allí habitan y/o se desarrollan. Algunas de las múltiples funciones que desarrollan estos ecosistemas, se derivan de una serie de servicios ecosistémicos que son beneficiosos para el bienestar social, por ejemplo, los servicios de producción (materia prima, recursos medicinales, ornamentales, etc.), de regulación (hídrica, microclimática, etc.), hábitat (alimento, refugio, agua, etc.), entre otros (Carrasco et al., 2014).

Por lo anterior, al ser zonas que brindan bienestar social, desde tiempos remotos las comunidades humanas se han desarrollado en los márgenes de los cauces, ríos, arroyos y canales, provocando así una gran presión sobre estos sistemas de los cuales dependen las personas, lo que produce una disminución en la diversidad tanto a nivel de abundancia como en composición. Es por ello, que muchos de los cursos de agua presentan dicha zona en un estado de degradación o lisa y llanamente ya no la tienen, ya que han sido sometidas a intensas intervenciones antrópicas (Romero et al., 2014).

En Chile desde hace tiempo muchas comunidades humanas se han desarrollado en zonas aledañas o cercanas a los ríos, uno de los ejemplos más notorios en la Región Metropolitana es la ciudad de Santiago fundada en el valle del río Mapocho. Este río ha sido constantemente intervenido, canalizado y contaminado, por lo que se ha convertido en un ecosistema altamente degradado lo que ha generado un distanciamiento de la población (Núñez, 2022). Lo anterior ha sido una de las razones por las que se ha comenzado a tomar con mayor importancia el estado y calidad de las riberas, tal como se constata en la actualidad en Chile, donde la conservación y restauración de riberas se ha integrado en las agendas de investigación y desarrollo en distintas cuencas, como, por ejemplo, en los planes maestros de los bordes de los ríos Mapocho y Maipo, a través del proyecto GEF Montaña (por sus siglas en inglés, Global Environment Facility). Otro ejemplo es la iniciativa liderada por la organización Frente de Río, que busca promover la biodiversidad y recuperación de ribera del río Mapocho en la comuna de Talagante (Zañartu, 2024).

El área de estudio se encuentra en la cuenca media del estero Puangue, en la comuna de Curacaví, Región Metropolitana. El estero nace en las cabeceras de la cuenca de la Cordillera de La Costa en la zona de Colliguay, región de Valparaíso, luego sigue su curso por el norte y centro de la comuna de Curacaví, pasando por sus zonas urbana y

periurbana. En pleno desarrollo de la zona media de la cuenca el estero Puangue atraviesa la comuna de María Pinto para finalmente, en su curso inferior desembocar en el río Maipo, en el límite de las comunas de Melipilla y San Antonio. El estero atraviesa cuatro comunas con una longitud de 122 km aproximadamente, por lo que ha estado propenso a las intervenciones antrópicas y a otros cambios que han afectado a sus riberas. La comuna de Curacaví no presenta mucha investigación e información al respecto, por lo que se busca aportar en dicho conocimiento.

En esta memoria, se abordan los cambios que ha tenido la zona ribereña del estero Puangue, en un sector de la comuna de Curacaví en los últimos años. En específico, se analizará el estado actual de un tramo de la ribera en la zona media de la cuenca, con el fin de generar información ecológica relevante sobre las condiciones del ecosistema. Adicionalmente, se proponen medidas de recuperación y restauración que ayuden a mejorar la calidad de las riberas. Esta investigación se divide en cuatro capítulos. El primero desarrolla el planteamiento del problema, el segundo corresponde al planteamiento metodológico, el tercero alude a la exposición de los resultados y el último aborda los acápites de discusión y conclusión.

1.2 Planteamiento del problema

En los últimos años el recurso hídrico ha presentado un gran déficit para la humanidad, debido a que el consumo se ha incrementado a ritmos insostenibles (Santibáñez, 2018), a causa del aumento de población, desarrollo económico y patrones de consumo (Greenpeace, 2019).

El cambio climático presenta múltiples consecuencias que afectan directa e indirectamente a esta falta de disponibilidad hídrica. Es por ello, que es relevante destacar que el cambio climático no solo es un aumento de temperatura a nivel mundial, sino que también, al existir modificaciones en patrones climáticos, como por ejemplo, las precipitaciones líquidas y sólidas, el nivel del mar, entre otros, genera un aumento en la probabilidad de ocurrencia de fenómenos tales como sequías intensas, déficit de agua, incendios forestales, aumento del nivel del mar, inundaciones, deshielos de los polos y glaciares, tormentas de gran magnitud y disminución de la biodiversidad (Naciones Unidas, 2023), que terminan afectando de diversas formas a las personas y a los territorios.

Algunos de los fenómenos anteriores se encuentran ligados con la degradación de los ecosistemas. Al enfocarse en los cuerpos de agua dulce, es importante resaltar que, en todo el mundo, los ríos, lagos y humedales se han visto cada vez más afectados por grandes represas, sobreexplotación hídrica, contaminación, pérdida de hábitat, extracción de áridos, introducción de especies invasoras, entre otros (Lovgren, 2021), que generan una alteración en dichos ambientes, y, por ende, una disminución en cantidad y calidad del recurso hídrico.

Las zonas ribereñas tienen una estrecha relación con los ríos, lagos y cuerpos de agua en general (Romero et al., 2014), ya que se desarrollan en la zona contigua a los ecosistemas acuáticos donde ayudan a mantener la integridad ecológica de éstos (Rzedowski 1994, Norris 2001, Ceccon 2003 en Carrasco et al. 2014). Además, estas zonas permiten procesar mayor cantidad de materia orgánica, capturar más nitrógeno, facilitar el procesamiento de contaminantes, mejorar la cantidad y calidad del agua, regular la temperatura y la luz que ingresa a los sistemas acuáticos, etc. (Scarsbrook et al. 2001, Sirombra y Mesa 2010 en Romero et al. 2014).

Actualmente, las áreas ribereñas están dentro de los ecosistemas más amenazados a nivel global, lo cual se evidencia a través de la degradación y/o pérdida de la cobertura vegetal, teniendo como consecuencia la degradación de los cuerpos de agua y de las funciones que cumplen, por ello, se destaca que son sitios prioritarios para la restauración, ya que constituyen áreas de conservación de la diversidad biológica, de funciones ambientales y de provisión de servicios ecosistémicos (Carrasco et al., 2014).

En Chile, las pérdidas y degradación de los ecosistemas ha sido un proceso diferenciado según las regiones y los tipos de ecosistemas. Los ecosistemas terrestres, se encuentran con grandes procesos de cambio, ya sea por crecimiento demográfico, actividades productivas u otros desarrollos que generan alguna alteración en el paisaje natural, por ejemplo, los bosques nativos del país, específicamente, los bosques templados valdiviano, localizados al sur del país, se encuentran con las tasas más altas de deforestación en el período de 1970 a 1990, sin embargo, el proceso de deforestación ha continuado, por lo que, la pérdida y degradación de dicho ecosistema es muy severa (Langman, 2019). Sobre los ecosistemas dulceacuícolas, su deterioro se debe principalmente a la contaminación por diversos residuos, sin embargo, existen otras causas tales como construcción de infraestructura hidroeléctrica, tala de bosques y matorrales en las zonas de cuencas hidrográficas, canalización del agua para uso de riego y agua potable, turismo y actividades productivas, etc. (Manzur, 2005). Cabe destacar que los ecosistemas prioritarios para la conservación y reparación del ciclo hídrico en la zona central del país son los bosques esclerófilos y andinos (en las cabeceras de las cuencas), los bosques costeros y la vegetación ripariana o ribereña (Fundación Chile, 2022).

En la cuenca del río Maipo, las zonas ribereñas han disminuido en los sectores medios y rurales de la cuenca debido a la expansión agrícola, la cual ha afectado a más de 2.000 hectáreas de matorral esclerófilo de la cuenca (Fundación Chile, 2022), así como en los sectores cercanos a centros poblados, situación que llega a su extremo cuando el río Mapocho atraviesa la ciudad de Santiago.

El área de estudio se encuentra en la comuna de Curacaví. El Estero Puangue se identifica actualmente como humedal urbano reconocido por el Ministerio del Medio Ambiente (MMA) desde junio de 2022 según lo dispuesto en la Ley N° 21.202 (Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2022). Según lo expuesto por la Ilustre Municipalidad de Curacaví (2021), en el folio N°1-22 se solicitó la propuesta como humedal urbano dados

los servicios ecosistémicos que brinda, donde se destaca el rol cultural y patrimonial del estero Puangue, el que ha sido históricamente un lugar de esparcimiento y recreación para la comunidad, debido a la presencia de agua estacional la cual le otorgaba una condición de balneario. Por otra parte, en él se reconocen distintas problemáticas como la contaminación, destrucción de hábitats, explotación agrícola y de áridos, parcelaciones, entre otras (Corporación Ecológica Estero Puangue Protegido, s/f), que contribuyen a la degradación del ecosistema. Por lo anterior, es que se propuso como objeto de investigación, debido a que es un espacio con un gran potencial para reunir diversos servicios ecosistémicos tales como la acumulación del suministro hídrico, protección de los suelos, regulación del flujo para el control de inundaciones, contribución al mantenimiento la diversidad biológica, presencia de vegetación que contribuye a atenuar los efectos del viento y por último al reconocimiento de un entorno que contribuye a la identificación territorial, del cual pueden surgir distintos servicios ya sean recreativos, científicos, artísticos, entre otros.

1.3 Estado del asunto

1.3.1 Restauración Ecológica

Este concepto tiene distintas aproximaciones de diversos autores, sin embargo, una de las definiciones más reconocidas a nivel internacional es lo expuesto por la Sociedad para la Restauración Ecológica (SER) que define la restauración ecológica como una actividad intencional que inicia o acelera la recuperación de ecosistemas con respecto a su salud, integridad y sostenibilidad. Por añadidura, se entiende que el ecosistema sujeto a restauración ha sido degradado, dañado, transformado o totalmente destruido.

Es importante resaltar que la ecología de la restauración se puede definir como el estudio de la restauración, es decir, se refiere a la investigación científica sobre los métodos de restauración (Cairns & Heckman, 1996; Primack & Massardo, 2001), por ende, no debe ser entendida como sinónimo del concepto de restauración ecológica.

Para enfrentar la recuperación de hábitat o ecosistemas se distinguen cuatro aproximaciones (Cairns 1986; Bradshaw 1990; Cairns y Heckman 1996 en Primack y Massardo 2001), (véase la figura 1) siendo las siguientes:

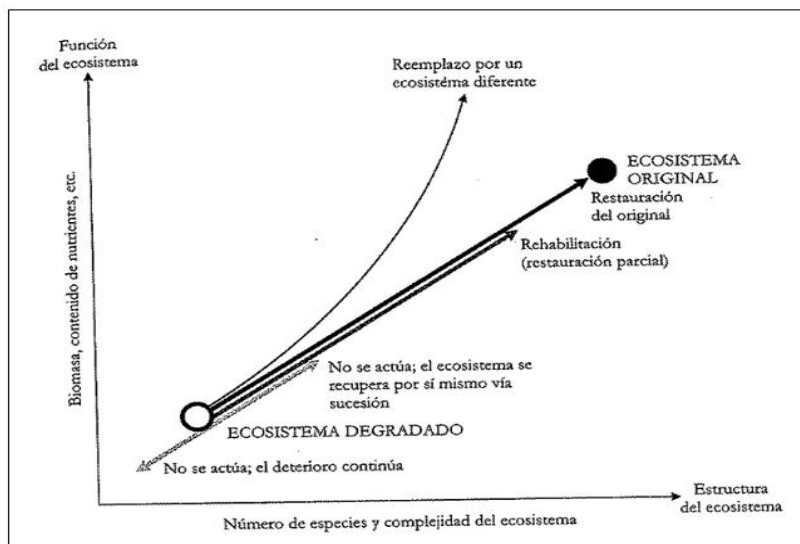
1. Ausencia de acción: debido a una restauración demasiado costosa, intentos previos fallidos, o porque la experiencia ha demostrado que el sistema se recupera solo.
2. Reemplazo: de un ecosistema degradado por uno productivo, por ejemplo, el área de un bosque degradado por una pradera productiva. Este algunas veces es llamado “creación de hábitat” porque establece una comunidad biológica distinta a la original y restaura ciertas funciones ecológicas.
3. Rehabilitación: busca su reparación, no su “recreación”, y al menos la recuperación de especies originales y de ciertas funciones del ecosistema. Se

centra en las especies dominantes, y retrasa su acción sobre especies menos comunes y raras, que son parte de un programa completo de restauración. Se entiende como una restauración parcial.

4. **Restauración:** o también llamado reconstrucción, considera la estructura comunitaria, la composición de especies y el restablecimiento de procesos ecológicos a través de un activo programa de modificación del sitio y de reintroducción de las especies originales.

Primack & Massardo (2001) mencionan que las medidas de mitigación más habituales son las aproximaciones de reemplazo y rehabilitación, lo que debe corregirse si se quiere ejercer reales prácticas de restauración.

Figura 1: *Aproximaciones para la recuperación de hábitat o ecosistemas*

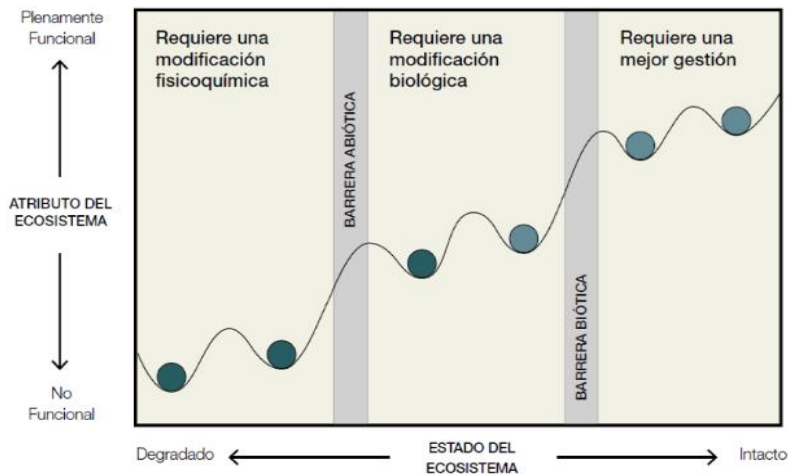


Fuente: Cairns, 1986; Bradshaw, 1990; Cairns y Heckman, 1996 en Primack y Massardo, 2001.

Existen distintos métodos de restauración ecológica, los más comunes son el de regeneración natural asistida, o también conocido como restauración pasiva, y el de restauración activa (Bustamante, Armesto, Bannister, González, Echeverría & Smith, 2018).

En la figura 2 se observan los umbrales o también llamadas barreras específicas (abiótica y biótica) entre algunos estados del ecosistema que impiden el retorno a una condición histórica menos degradada. Una vez que se identifican estas barreras es necesario realizar tratamientos específicos para superarlas. El punto de partida básico consiste en eliminar los factores que causan degradación con el fin de evitar que los sistemas crucen los umbrales críticos de degradación, es por ello, que el tipo de intervención requerida dependerá del tipo y extensión del daño del ecosistema (Bustamante et al., 2018). Las esferas azules de la siguiente figura representan diferentes estados del ecosistema donde la resiliencia de cada estado del sistema está representada por el ancho y profundidad de la curva (Ministerio de Medio Ambiente [MMA], s/f).

Figura 2: Modelo conceptual de la degradación y restauración de un ecosistema



Fuente: Adaptado de Whisenant, 1999 & Hobbs y Harris, 2001 en Bustamante et al., 2018.

Según la literatura, la restauración es necesaria cuando los ecosistemas no pueden recuperarse por sí mismos. Por ello, las actividades de restauración que se apliquen dependen del grado de degradación en que se encuentre el ecosistema. Además, se propone que la restauración es aconsejable cuando el proceso normal de recuperación del ecosistema sería demasiado lento o este no ocurriría, debido al traspaso de algún límite ecológico (Finegan, 1993; Machlis, 1993 en Forest Stewardship Council (FSC), 2014).

En Chile, últimamente las actividades de restauración en los ecosistemas terrestres han tenido cierta actividad: el 2014 se creó la Red Nacional de Restauración Ecológica, y posteriormente el 2017 a raíz de los incendios, se constituyó el Comité Nacional de Restauración, coordinado por el MMA y por representantes gubernamentales, ONG, comunidades, Universidades y empresas (Marquet et al., 2019). Adicionalmente, existen algunos documentos que son manuales, guías o planes piloto de restauración ecológica, como, por ejemplo, la guía para la restauración de los ecosistemas andinos de Santiago por Pérez Quezada & Bown (2015), que resume los resultados de un estudio realizado en los pisos vegetacionales del bosque esclerófilo andino de la región Metropolitana.

1.3.2 Degradación de ecosistemas

Un ecosistema degradado es aquel que ha sufrido pérdidas significativas de sus características históricas, ya sean estructurales o composicionales, o que ha modificado sus procesos ecológicos inherentes que regulan su desarrollo y dinámica (Bustamante et al., 2018). Según Atilio de la Orden (2020) la degradación del ecosistema es un problema ambiental que disminuye la capacidad de los ecosistemas para mantener su equilibrio, y que dicha degradación ocurre en diferentes formas, y se manifiesta en una disminución de la biodiversidad y de los bienes y servicios que pueden ofrecer. Una forma de degradación es la del suelo, que, según la Carta Mundial de los Suelos elaborada por la Conferencia Mundial de la FAO en 1982, se define como la pérdida total o parcial de su

productividad cualitativa o cuantitativa o en ambas formas, debido a procesos como la erosión, salinización, inundación, desertificación, contaminantes, entre otros.

Cabe destacar que la degradación de un ecosistema, por lo general no se produce de manera espontánea y brusca, sino que más bien va ocurriendo de forma gradual desde su estado de equilibrio natural o estable a un estado de degradación máxima (García, 1989), no obstante, existen eventos de origen antrópico que provocan perturbaciones y degradación a los ecosistemas repentinamente, generalmente asociados a contaminación.

1.3.3 Paisaje

El paisaje tiene múltiples definiciones que han ido evolucionando a través del tiempo. Una de ellas se refiere a éste como una superficie de terreno heterogénea, compuesta por un conjunto de ecosistemas en interacción que se repiten de forma similar (Forman & Godron, 1986 en Muñoz-Pedrerros, 2004). No obstante, en su conceptualización más general, este se define como una porción de territorio con características propias, las que son el resultado de la interrelación de procesos naturales y antrópicos a lo largo del tiempo (Mazzoni, 2014). A su vez, esta definición se complementa con lo que se menciona en el Convenio Europeo del Paisaje (2000) donde se entiende que el paisaje es el resultado visible de la interacción de elementos y factores naturales y/o humanos a lo largo del tiempo, donde los elementos naturales incluyen componentes abióticos (relieve, clima, hidrografía, etc.) y bióticos (vegetación, fauna, etc.) que interactúan con elementos antrópicos (población, infraestructura, usos de suelos, etc.) (Centro Nacional de Información Geográfica, s/f).

El análisis de la heterogeneidad del paisaje depende de la escala, tanto espacial como temporal, la cual se expresa a través de mapas de paisajes y fichas explicativas. Además, informa sobre la distribución espacial del paisaje y sus características, y hace posible valorar la calidad y fragilidad de las distintas unidades. Se entiende por unidad de paisaje (UP) al nivel de menor generalización y se define como una combinación de elementos que genera, a una determinada escala, una fisonomía particular, una organización morfológica diferenciada y diferenciable, que hace a una parte del territorio distinta a otra (Mazzoni, 2014).

En Chile hay varios estudios sobre análisis de paisaje, un ejemplo es el De La Barrera, Reyes-Paecke & Mesa (2011), quienes realizan un análisis de paisaje para una evaluación ecológica de alternativas de relocalización de una ciudad tras la erupción del volcán de Chaitén.

1.3.4 Zona ribereña

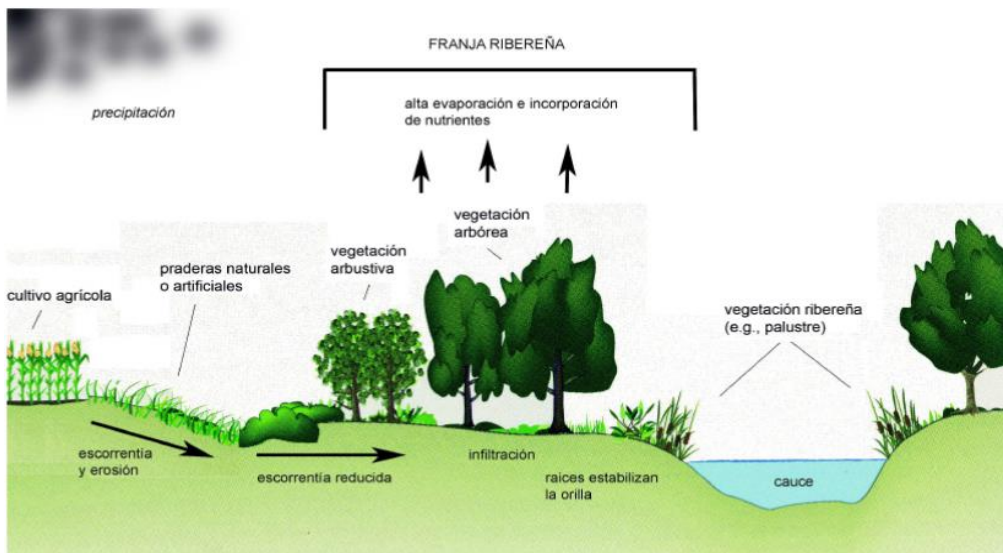
Las zonas ribereñas o riparianas son una franja que se ubica en la zona contigua a los ríos, lagos y embalses, entre otros (Möller, 2011). Estos son sectores de transición y de interacción entre los medios terrestres y acuáticos, es un área que se caracteriza por una flora y fauna cuya composición está fuertemente determinada por la intensidad luminosa,

el contenido de agua líquida y gaseosa, y la granulometría del suelo. Estas zonas de transición poseen un “poder tampón”, es decir, tienen la capacidad de absorber y almacenar elementos manteniendo el equilibrio ecosistémico, por ejemplo, una franja de vegetación de ribera de 16 metros de ancho retiene en promedio el 50% del nitrógeno y el 95% del fósforo (Granados-Sánchez et al., 2006).

Estas zonas juegan un papel relevante ya que retienen el nitrógeno y fósforo transportados por la escorrentía, crean corredores vegetales a lo largo de los ríos facilitando la interconexión entre parches, permiten restaurar la calidad de las aguas superficiales, brindan sombra a la vegetación de ribera con lo que regulan la temperatura de las aguas y estabilizan el contenido de oxígeno disuelto, estabilizan las orillas, reducen los riesgos de erosión, ofrecen un hábitat a diversas especies y proporcionan detritos vegetales (ramas y hojas muertas) a la fauna acuática, entre otros (Anderson et al. 1978 en Granados-Sánchez et al. 2006).

Cabe destacar que las principales funciones ecológicas que cumplen se pueden agrupar en tres categorías: hidrología y dinámica de sedimentos; biogeoquímica y ciclo de nutrientes y, hábitat y mantención de tramas tróficas (Möller, 2011). A continuación, en la figura 3 se muestra una ilustración de la zona ribereña de un río.

Figura 3: Franja ribereña de un río



Fuente: Ilustración de González del Tánagos & García de Jalón (2007) modificada en Möller (2011).

1.4 Área de estudio

El área de estudio se ubica en la comuna de Curacaví, provincia de Melipilla, Región Metropolitana. Se encuentra entre los 71°00' y 71°15' Longitud Oeste y 33°12' y 33°33' Latitud Sur. Esta comuna tiene una superficie de 693 km². Limita con las comunas de María Pinto, Lampa, Melipilla, Pudahuel, Maipú, Padre Hurtado, Casablanca y Quilpué (Ilustre Municipalidad de Curacaví, 2016).

El área específica a trabajar es un tramo ribereño situado en el curso medio del Estero Puangue, el cual es el curso de agua más importante la red hidrográfica de la comuna.

1.4.1 Caracterización de sistema de cuencas y red hídrica

El sistema de cuencas se compone por cuencas, subcuencas y subsubcuencas. El área de estudio se inserta en la cuenca del Río Maipo, específicamente, en la subcuenca del Río Maipo Bajo, donde ambas son de tipo exorreica, es decir, sus aguas llegan al mar (Tapia, 2014).

Las subsubcuencas que conforman la comuna son las siguientes: 1) Parte del Estero Puangue antes Estero Carén, 2) Estero Puangue entre antes Estero Carén y antes Estero Zapata, 3) Estero Puangue entre antes Estero Zapata y Estero Sin Nombre, 4) Estero Puangue entre Estero Sin Nombre y bajo junta Estero Améstica (Dirección General de Aguas, 2024).

El estero Puangue es el principal cauce de la comuna y es un tributario del río Maipo en su curso inferior. El estero atraviesa las comunas de Quilpué, Curacaví, María Pinto y Melipilla. La comuna de Curacaví se localiza en el segmento medio y en la parte superior del estero Puangue. Tiene su origen en la Cordillera de la Costa, presenta un régimen pluvial (Ilustre Municipalidad de Curacaví, 2016).

El estero Puangue recibe aportes de otros esteros que drenan directamente, como, por ejemplo, Cuyuncavi, Carén y Zapata (véase figura 4). Adicionalmente, hay distintas quebradas que tributan a los cursos fluviales anteriores. Por otra parte, el estero Puangue recibe los retornos de riego de los canales Las Mercedes (7.732 hectáreas) y Mallarauco (6.275 hectáreas) (Ilustre Municipalidad de Curacaví, 2016). Así como las descargas de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas de Curacaví (Servicio de Evaluación Ambiental, 2003).

Respecto al caudal medio anual del estero Puangue en Curacaví no hay información disponible. No obstante, según una ordenanza de la DGA que detalla el caudal ecológico de este estero, basado en datos de la estación “Puangue en Ruta 78”, se ha determinado que el caudal medio anual es de 12,9 m³/s y el caudal ecológico es de 2,57 m³/s (DGA, 2019).

1.4.2 Caracterización físico - natural

La comuna de Curacaví se ubica en el ámbito de la Cordillera de la Costa, específicamente en el valle del estero Puangue extendiéndose en una dirección Norte-Sur, al poniente del cordón montañoso que limita el valle principal del río Maipo, en una longitud aproximada de 55 kilómetros. En lo geológico la cuenca tiene presencia de rocas andesíticas de la edad Jurásica que incluye principalmente Tonalitas y Granodioritas de anfíbolita (Jlt) y hornblenda (Jp), las cuales aparecen en el extremo norte de la subcuenca y se encuentran

atravesadas por un macizo de roca intrusiva granodiorítica del Cretácico (Kdgt, Kp, Kdp) que es característica de la Cordillera de la Costa (Ilustre Municipalidad de Curacaví, 2016).

Los suelos de Curacaví se caracterizan por poseer uno del tipo alfisol. Es un suelo derivado de sedimentos graníticos aluvio coluviales, profundo y muy estratificado, de posición de piedmont. De textura areno francosa a franco arenosa en superficie. Presenta abundante grava y clastos angulares de hasta 10 cm de diámetro. El drenaje es bueno, permeabilidad moderada y escurrimiento superficial rápido. También tiene suelos arcillosos, con escasa materia orgánica, sobre los que se forman pantanos. Son pocos productivos y se los usa como campos de pastoreo (Ilustre Municipalidad de Curacaví, 2016).

El clima de la comuna es cálido y templado. Según la clasificación de Köppen-Geiger es Csb, es decir, Mediterráneo de verano fresco. La temperatura media anual en Curacaví se encuentra a 16,1°C y las precipitaciones anuales son de 417 mm (Ilustre Municipalidad de Curacaví, 2016). La comuna es parte del denominado “hotspot chileno” “*Chilean winter rainfall-Valdivian forests*” (Lluvias invernales chilenas-bosques Valdivianos). Este punto incorpora el bosque esclerófilo y matorrales del área mediterránea de Chile central. Durante los últimos 15 años esta zona ha sufrido los efectos del cambio climático, reflejado en la sequía, ya que han disminuido las precipitaciones y caudales. En concordancia con lo anterior el Ministerio de Obras Públicas ha emitido decretos de escasez hídrica (Ilustre Municipalidad de Curacaví, 2021).

En la comuna de Curacaví sobre la flora y la vegetación, se puede mencionar que hay una alta predominancia de especies nativas que son características del bosque esclerófilo (93%), de las cuales el 73,3% corresponden a especies endémicas. Lo anterior demuestra la gran relevancia en términos de riqueza florística (MMA - ONU Medio Ambiente, 2020). En relación con la formación vegetacional, las comunidades más representativas son el bosque y matorral esclerófilo, el espinal y el matorral espinoso (Ilustre Municipalidad de Curacaví, 2016). Agregando a lo anterior, Curacaví presenta cuatro tipos de pisos vegetacionales siendo estos el Bosque esclerófilo mediterráneo costero de *Cryptocarya alba* - *Peumus Boldus* (Peumo y Boldo), el Bosque esclerófilo mediterráneo costero de *Lithraea caustica* - *Cryptocarya alba* (Litre y Peumo), el Bosque caducifolio mediterráneo costero de *Nothofagus macrocarpa* - *Ribes punctatum* (Roble y Zarzaparrilla) y el Matorral bajo mediterráneo costero de *Chuquiraga oppositifolia* - *Mulinum spinosum* (Hierba blanca y Neneo o Hierba negra). Los pisos que se encuentran directamente relacionados con el Estero Puangue son los dos primeros antes mencionados (Ilustre Municipalidad de Curacaví, 2021). Cabe resaltar que el bosque caducifolio mediterráneo costero, en la comuna de Curacaví se encuentra presente en la divisoria de agua de Altos de Chicauma donde se extiende por el norte hasta el Cerro el Roble. Si bien, es un ecosistema que se ubica en las regiones de Valparaíso, Metropolitana y O'Higgins, crece entre los 900 y 1.900 m.s.n.m., por lo que en la comuna se encuentra

exclusivamente en zonas altas, tal y como se puede ver en el mapa base expuesto en el SIMBIO, donde se muestra un mapa referencial sobre su distribución (MMA, s/f).

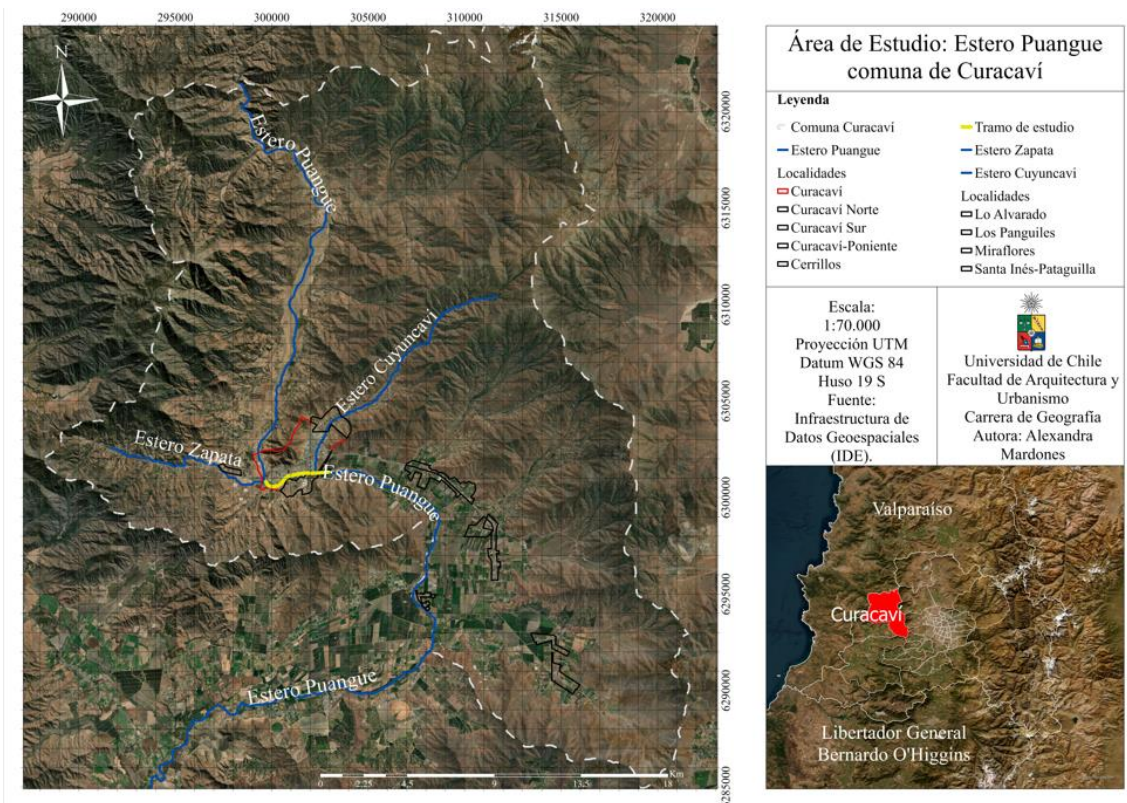
Sobre la fauna presente en la comuna se pueden encontrar vertebrados terrestres, destacando aves, mamíferos y reptiles. Especies endémicas tales como Turca (*Pteroptochos megapodius*), Cururo (*Spalacopus cyanus*) y perdiz (*Nothoprocta perdicaria*), pueden ser vistas en la comuna (Municipalidad de Curacaví, s/f).

1.4.3 Caracterización sociodemográfica

En el censo de 2017 la población en la comuna de Curacaví es de 32.579 habitantes, de los cuales 16.222 son hombres y 16.357 son mujeres. Se estima una proyección de población para el año 2020 de 36.430 personas (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile [BCN], 2020).

Al año 2019, la comuna de Curacaví contaba con 2.323 empresas, de las cuales predomina el tamaño de micro, con 1.530 microempresas, un 66% del total. El rubro económico al año 2019 que más sobresale es el comercio al por mayor y al por menor, reparación de vehículos automotores y motocicletas con un registro de 752 empresas en la comuna. Le siguen las actividades de agricultura, ganadería, silvicultura y pesca con 376 empresas, entre otras actividades (CIREN, 2022).

Figura 4: Área de estudio



Fuente: Elaboración propia, 2024 en base IDE 2023 y Censo 2017.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Analizar el estado actual de la zona ribereña del Estero Puangue en un tramo de la cuenca media de este, perteneciente a la zona urbana y periurbana de Curacaví, con énfasis en la restauración ecológica.

1.5.2 Objetivos Específicos

1. Analizar los cambios que ha tenido la zona ribereña del Estero Puangue en el área de estudio entre 1993 - 2023.
2. Identificar el estado, calidad y las principales causas de degradación que afectan actualmente la zona ribereña del área de estudio perteneciente al ecosistema del Estero Puangue.
3. Formular una propuesta de restauración ecológica en la zona ribereña del Estero Puangue, perteneciente a la sección urbana y periurbana de Curacaví

CAPÍTULO 2: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

2.1 Métodos para analizar los cambios en la zona ribereña del Estero Puangue

2.1.1 Índice de Vegetación normalizado (NDVI)

Uno de los métodos utilizados corresponde al Índice de Vegetación Normalizado (NDVI) que busca identificar los cambios específicamente en la vegetación ribereña. Para su ejecución se utilizaron imágenes satelitales obtenidas de la página web Earth Explorer-USGS, considerando un periodo de treinta años. De acuerdo con la información satelital disponible se consideró que la frecuencia de 5 años es óptima para realizar una comparación. Por ello, se obtuvieron siete imágenes del satélite Landsat (5, 7 y 8) correspondientes a los años 1993 - 1998 - 2003 - 2008 - 2013 - 2018 - 2023, las cuales fueron analizadas en el software ArcGIS Pro. Cabe destacar que el periodo seleccionado para evaluar las imágenes correspondió al verano, específicamente, los meses de enero y febrero.

El índice de vegetación normalizado permite generar una imagen que muestra el verdor (biomasa). Es uno de los índices más conocidos debido a la sencillez del cálculo, además, posee un rango de variación fijo (-1 y +1) permitiendo establecer umbrales y comparar imágenes (Muñoz, 2013). El índice aprovecha el contraste de las características de dos bandas de un dataset ráster multiespectral, siendo estas la banda roja y la banda cercana al infrarrojo (Esri, s/f).

La ecuación que utiliza el índice corresponde a:

$$\text{NDVI: } ((\text{IR} - \text{R}) / (\text{IR} + \text{R}))$$

IR: Valores de pixel de la banda infrarroja

R: Valores de pixel de la banda roja

Los valores del NDVI están entre -1,0 y 1,0 que representan el verdor, donde los valores negativos corresponden principalmente a nubes, agua y nieve, mientras que los valores cercanos a cero corresponden a rocas y terreno desnudo. Los valores sobre cero indican vegetación, mientras más cercano a 1 mayor es la vegetación. Este índice además de utilizarse en el seguimiento de la vegetación se ocupa para hacer seguimiento de sequías, supervisar y predecir la producción agrícola, ayuda en la predicción de las zonas con riesgo de incendios y cartografiar la desertificación (Esri, s/f).

Se obtuvo un resultado aplicado a toda la imagen satelital que cubre gran parte de la Región Metropolitana (lo anterior debido a las dimensiones de la imagen). Por lo tanto, se realizó un geoproceto denominado “Extract by mask”, el cual es utilizado para cortar capas de archivo de tipo ráster, en él se cortó el NDVI (de cada año) con el límite administrativo comunal de Curacaví. Obteniendo como resultado final una imagen más precisa debido a que el indicador sólo considera los valores que se encuentran dentro de la comuna. Esta zona intersecta con el área de interés que se encuentra en un tramo de la cuenca media. Posteriormente se realizaron las cartografías pertinentes.

2.1.2 Análisis de precipitaciones

Para el análisis de precipitaciones del área de estudio, se consideró la estación más cercana a la zona ubicada en la comuna de Curacaví. Se utilizaron los datos de la página web de la Dirección General de Aguas (DGA) de la sección de “Estadísticas Estaciones DGA”. Se obtuvo información del periodo 1993 a 2021, de las precipitaciones mensuales de la estación meteorológica Los Panguiles, comuna de Curacaví, coordenadas 33°26'20''S y 71°01'31''O, aproximadamente a 11 km del centro urbano de Curacaví. Adicionalmente, para los años 2022 y 2023 los datos fueron obtenidos a través del explorador climático del CR2 de la misma estación meteorológica mencionada con anterioridad, no obstante, no se pudieron descargar desde la página oficial. Por lo que se unieron ambas bases de datos en formato Excel, para procesarse y realizar los cálculos de precipitación anual, precipitaciones máxima y mínima y precipitación media anual de 1993-2023, entre otros, para posteriormente generar un gráfico.

Adicionalmente, se complementa el análisis con información de los decretos de escasez hídrica registrados en la comuna Curacaví. La información se obtuvo a través de la página de la Dirección General de Aguas, específicamente, en la sección de decretos de declaración zona de escasez vigentes donde se consiguió la planilla de decretos de escasez hídrica desde 2008 - 2023. Posteriormente, el archivo en formato Excel se procesó a través de filtros, generando una tabla de datos con los registros históricos de la comuna.

2.1.3 Análisis del estado de laderas

Se realizó un análisis del estado de las laderas del área de estudio con el fin de obtener información sobre la zona de influencia que se extiende más allá de la ribera del Estero Puangue. Además, se trabajó con las pendientes, ya que estas se relacionan directamente con la erosión, el drenaje y estabilidad del suelo (CONAF, s/f), para lo que se utilizó un modelo digital de elevación, en específico, un DEM Alos Palsar de la región Metropolitana, obtenido a través de la página web Infraestructura de Datos Geoespaciales (IDE) del año 2016, el cual posee un píxel de 12.5 metros.

Lo anterior se procesó a través del software ArcGIS Pro donde se realizó el cálculo de pendiente mediante geoprocursos, las que se clasificaron en base a la tabla de pendientes y umbrales geomorfológicos propuesto por Araya - Vergara & Börgel (1972), Young (1977) y Ferrando (1992) en Becerra (2020), para identificar las zonas que son susceptibles a la erosión.

Tabla 1: Rango de pendientes según el tipo de umbral geomorfológico

Pendiente (°)	Pendiente (%)	Tipo de pendiente	Umbral Geomorfológico
0 - 2	0 - 3,49	Horizontal	Erosión nula o leve
2.1 - 5	3,49 - 8,75	Suave	Erosión débil, difusa, inicio de requereros y solifluxión fría
5.1 - 10	8,75 - 17,63	Moderada	Erosión moderada a fuerte, inicio de erosión lineal
10.1 - 20	17,63 - 36,4	Fuerte	Erosión intensa, cárcavas incipientes
20.1 - 30	36,4 - 57,74	Moderadamente escarpada	Cárcavas frecuentes, movimientos en masa, reptación
30.1 - 45	57,74 - 100	Muy escarpada	Coluvamiento, solifluxión intensa
>45	> 100	Acantilada	Desprendimientos, derrumbes y corredores de derrubios

Fuente: Araya - Vergara & Börgel (1972), Young (1977) y Ferrando (1992) en Becerra (2020).

2.1.4 Análisis temporal del paisaje

Con el fin de analizar los cambios que ha tenido el área de estudio se realizó un análisis temporal del paisaje, para observar los cambios externos al estero Puangue y analizar su influencia. Para este análisis se utilizaron las métricas de paisaje que son una metodología cuantitativa que permite comparar entre diferentes composiciones espaciales y diferentes momentos temporales. Según McGarigal y Marks, 1995; Botequilha y otros, 2006 en Vila et al, 2006, estos métodos son aplicables a tres niveles:

- A. Nivel de fragmento (Patch level), los cálculos se aplican a cada fragmento individualmente. El nivel es el adecuado, por ejemplo, para determinar cuál es el fragmento de mayor superficie entre todos los representados.
- B. Nivel de clase (Class level), los cálculos se aplican a cada conjunto de fragmentos de la misma clase, es decir, aquellos con el mismo valor o que representan el mismo tipo de uso de suelo, hábitat, etc.
- C. Nivel de paisaje (Landscape level), los cálculos se aplican al conjunto del paisaje, es decir, a todos los fragmentos y clases a la vez. El resultado informa el grado de heterogeneidad o de homogeneidad del conjunto del área que se ha cuantificado.

Se utilizaron métricas a nivel de clase y paisaje, debido a que el área de estudio es muy reducida y se busca analizar los cambios externos. En anexo 1 se encuentra una tabla que menciona el nivel al que pertenecen, el nombre, la sigla, descripción y rango. Se seleccionó cada métrica en base a lo expuesto por McGarigal (2015), Correa Ayram et al. (2014) y Vita et al. (2006), los cuales definen y explican el uso de las métricas escogidas. Cabe resaltar que estas métricas se agrupan en otras clasificaciones que se pueden observar en el texto de McGarigal (2015). Para esta investigación se utilizaron métricas de área y borde (CA/TA, PLAND y LPI), métricas de agregación (ENN, COHESION y NP) y métricas de diversidad (SHDI y SIDI).

Antes de aplicar las métricas, se realizó un reconocimiento de los usos y cobertura de suelo. Esta información se obtuvo del Sistema de Información Territorial (SIT) CONAF, del que se bajó un archivo en formato shapefile denominado “Cubiertas Catastro Usos de suelo y vegetación” de la Región Metropolitana del año 2013. Sin embargo, antes de procesar la información se generó una tipología sobre usos y cobertura de suelo del área de estudio, basado en Sandoval (2009), obteniendo una tabla que se encuentra adjunta en anexo 2.

Posteriormente, el archivo shapefile se procesó en el Software Qgis versión 3.28.12, y a partir de la información, específicamente, de la categoría de “subusos” de la tabla de atributos, se agruparon según la tipología antes mencionada (véase anexo 2).

Para observar los cambios se trabajó solo con los años 1993 y 2023. Por lo tanto, se adaptaron las delimitaciones de los polígonos del archivo de “Cubiertas Catastro Usos de suelo y vegetación” anteriormente mencionado para cada año.

Para 1993 se utilizó como base para la delimitación visual, la imagen satelital Landsat 5 que posee una resolución de 30 metros. Adicionalmente, se utilizó como guía el programa Google Earth Pro para ordenadores ya que este permite visualizar el área de estudio en distintos años. Es relevante mencionar que ambos métodos no poseen la resolución necesaria para que la delimitación sea detallada, por lo tanto, se utilizó distintas combinaciones de bandas de la imagen satelital, ya que esto permite analizar elementos específicos del terreno según las combinaciones que se realicen. Algunas combinaciones realizadas son el NDVI, color natural, infrarrojo, falso color, entre otros. En cambio, para el 2023 la delimitación se realizó en base al basemap de Google que se encuentra disponible en Qgis debido a que tiene la resolución suficiente para realizar una delimitación de polígonos detallada, además, corresponde al año más actual (se comparó con la imagen satelital del 2023 que se trabajó para el NDVI).

Luego de realizar la delimitación de las coberturas para ambos años, se aplicaron geoprosos para corregir la geometría de los polígonos y unificar la información, para después pasar el archivo a formato ráster donde este fue exportado como archivo “Erdas Imagine Images (.img)”. Para finalizar, se utilizó el programa Fragstats versión 4.2. donde se abrieron los archivos en formato “.img” y se calcularon las métricas antes

mencionadas en anexo 1, donde se obtuvo resultados en tablas de datos. Para ordenar la información el resultado de estas tablas fue pasado al software Excel.

2.2 Métodos para identificar las principales causas que afectan en el estado actual del área de estudio.

2.2.1 Índice de calidad de bosque de ribera: QBR

El índice QBR tiene la finalidad de evaluar el estado y calidad de la vegetación ribereña. Este integra aspectos biológicos y morfológicos del lecho del río y de su zona inundable, los cuales son utilizados para evaluar la calidad ambiental de las riberas. Dicho índice se compone de cuatro bloques independientes: 1) el grado de cubierta vegetal de las riberas; 2) la estructura vertical de la vegetación; 3) la calidad y la diversidad de la cubierta vegetal; 4) el grado de naturalidad del canal fluvial. Cada bloque recibe una puntuación entre 0 y 25, donde la suma de estos bloques da la puntuación final obteniendo el nivel de calidad del área de estudio (Agencia Catalana del Agua, 2006).

Tabla 2: Rangos de calidad según el índice QBR

NIVEL DE CALIDAD	QBR
Bosque de ribera sin alteraciones, calidad muy buena, estado natural	≥ 95
Bosque ligeramente perturbado, calidad buena	75-90
Inicio de alteración importante, calidad intermedia	55-70
Alteración fuerte, mala calidad	30-50
Degradación extrema, calidad pésima	≤ 25

Fuente: Prat, Rieradevall & Fortuño, 2012.

El índice presenta aplicaciones, una para ríos mediterráneos no efímeros (ríos permanentes y semipermanentes) y otra para ríos efímeros (véase anexo 3 y 4). Entiéndase por ríos efímeros a cursos fluviales donde sólo circula agua superficialmente de manera esporádica en episodios de tormenta (una media inferior a 100 días al año) (Agencia Catalana del Agua, 2006).

En base a lo anterior, es relevante especificar que para el área de estudio se utilizaron las dos aplicaciones. Como se puede ver en la figura 5, el punto de inicio corresponde al punto rojo ubicado al lado oeste de la cartografía, es decir, hacia la parte urbana de la comuna, desde este punto hay tres tramos de muestreos que fueron evaluados bajo la hoja de campo de ríos efímeros, mientras que el último tramo fue evaluado con la hoja de campo para ríos no efímeros. Este último tramo de muestreo se diferencia al resto debido a la presencia de agua gran parte del año, ya que recibe los aportes de caudales superficiales, como el canal Las Mercedes y la planta de tratamiento de aguas servidas de Curacaví.

2.2.2 Índice de Hábitat Fluvial (IHF)

Este índice se aplicó con el propósito de valorar la capacidad física del hábitat para albergar una fauna determinada. Se compone de siete bloques independientes: 1) inclusión en rápidos - sedimentación en pozas; 2) frecuencia de rápidos; 3) composición del sustrato; 4) regímenes de velocidad/profundidad; 5) porcentaje de sombra en el cauce; 6) elementos de heterogeneidad; 7) cobertura de vegetación acuática. La puntuación de cada bloque no puede ser superior a lo que muestra en la tabla 3, ya que cuando se realice la suma de los bloques para la puntuación final, esta no puede ser superior a los 100 puntos. Los rangos del índice IHF se pueden observar en la tabla 4, y la hoja de campo de este índice se encuentra en anexo 5.

Tabla 3: Puntuación de cada bloque del índice IHF

Bloque	Puntuación
Inclusión en rápidos – sedimentación en pozas	10
Frecuencia de rápidos	10
Composición del sustrato	20
Regímenes de velocidad / profundidad	10
Porcentaje de sombra en el cauce	10
Elementos de heterogeneidad	10
Cobertura de vegetación acuática	30

Fuente: Agencia Catalana del Agua, 2006

Tabla 4: Rangos de calidad según el índice IHF

NIVEL DE CALIDAD	IHF
Hábitat bien construido. Excelente para el desarrollo de las comunidades de macroinvertebrados. Se pueden aplicar los índices biológicos sin restricciones.	>60
Hábitat que puede soportar una buena comunidad de macroinvertebrados, pero en la que, por causas naturales o antrópicas, algunos elementos no están bien representados. Los índices biológicos no deberían ser bajos, pero no se descarta algún efecto en ellos.	40-60
Hábitat empobrecido. Posibilidad de obtener valores bajos de los índices biológicos por problemas con el hábitat y no con la calidad del agua. La interpretación de los datos biológicos debe hacerse con precaución.	<40

Fuente: Prat et al., 2012.

Cabe destacar que para la aplicación de los dos índices anteriores se escogió una sección del Estero que pasa por los sectores urbano y periurbano de Curacaví. Esta área tiene una longitud de 3.600 metros, la cual fue dividida en cuatro tramos, donde cada tramo de muestreo tiene una longitud de 100 metros. La distancia entre cada tramo fue de 1.000 metros. Se realizó una visita a terreno el día 02 de octubre del año 2023 donde se levantó la información de los índices de calidad de ribera (QBR) y el de hábitat fluvial (IHF).

El área y los tramos de muestreos se observan en la figura 5:

Figura 5: Sección del estero Puangue a trabajar



Fuente: Elaboración propia, 2024.

2.2.3 Encuestas

Con el fin de conocer la percepción que tiene la población de Curacaví sobre el Estero Puangue y su estado actual, específicamente sobre el tramo que pasa por la parte urbana y periurbana de la comuna, es que se desarrolla una encuesta (anexo 6) de once preguntas, donde ocho son cerradas y tres son abiertas. Las primeras tres preguntas son demográficas, mientras que el resto corresponden a la investigación como tal.

Cabe resaltar, que la aplicación de las encuestas se realizó en su mayoría a través del Formulario de Google, por lo que la mayor cantidad de respuestas fueron obtenidas de manera virtual, sin embargo, se realizó un terreno el 20 de noviembre de 2023 donde se aplicó la encuesta a diferentes personas de la comuna, con el propósito de evaluar la comprensión de la encuesta por parte de los encuestados.

Los criterios de selección para la muestra son los siguientes: que sea residente de la comuna de Curacaví y que sea mayor de 18 años. Se utilizó como referencia la cantidad de población censada en el año 2017, sin embargo, a la población total de la comuna (32.579 habitantes) se le restó la población no objetivo, es decir, todos los menores de 18 años. Por lo tanto, la encuesta se aplicó a la población objetivo (personas de 18 años o más), la cual corresponde a 24.484 habitantes.

La técnica de muestreo utilizada es de tipo probabilística, la cual se caracteriza por permitir conocer la probabilidad de que cada individuo del estudio tiene que ser incluido en la muestra a través de una selección aleatoria (Otzen & Manterola, 2017). Existen varias técnicas de muestreo probabilístico, sin embargo, para esta investigación se utilizó el muestreo de tipo aleatorio simple, el cual garantiza que todos los individuos de la población objetivo tengan la misma probabilidad de ser seleccionados al azar.

El tamaño muestral de las encuestas se calculó con un nivel de confianza del 90%, un error de estimación del 10% y con una probabilidad de ocurrencia del evento de un 50%.

Fórmula del tamaño de la muestra:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra buscado

N = Tamaño de la Población

Z = Parámetro estadístico que depende del nivel de confianza (NC)

e = Error de estimación máximo aceptado

p = Probabilidad de que ocurra el evento

q = (1-p) = Probabilidad de que no ocurra el evento

Fuente: Bomba, 2020.

A través de los cálculos anteriores, se obtuvo que la muestra para esta investigación tiene un mínimo de 68 personas. Una vez aplicada la encuesta se procedió a graficar los resultados en Hoja de Cálculo de Google, ya que se trabajó en conjunto con el Formulario de Google, dado que este crea un acceso directo a una base de datos donde se guardan automáticamente los resultados.

El 20 de noviembre de 2023 se realizó una visita a terreno donde se aplicó la encuesta de manera presencial con el fin de percibir cómo los encuestados respondían a este método. Ese mismo día se abrió el formulario para responder la encuesta de manera virtual, encontrándose disponible en línea por dos meses, cerrando oficialmente el 20 de enero de 2024.

2.3 Formulación de propuesta de restauración ecológica

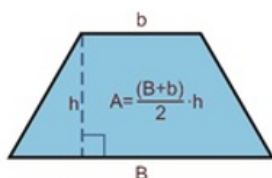
Con el objetivo de generar la propuesta de restauración, se realizó una revisión bibliográfica de diversos documentos, tales como artículos, manuales, protocolos, entre otros. Lo anterior, se realizó específicamente sobre medidas de restauración en zonas ribereñas y la comuna de Curacaví. Además, se utilizó la información recopilada del objetivo específico anterior, en concreto se usó como base las medidas de restauración señaladas en una de las preguntas de la encuesta antes mencionada. Las medidas son las siguientes: Establecimiento de una zona de protección de la ribera del estero Puangue, reforestación con vegetación nativa y endémica, control de especies invasoras, prácticas

de agricultura sustentable y extracción de áridos, señaléticas informativas y educacional, jornadas de limpieza comunitaria, medidas de control de erosión, fitorremediación para aguas contaminadas.

A partir de estas medidas se investigó específicamente para cada método, obteniendo una propuesta de restauración para el área de estudio.

Para determinar la zona de protección de la ribera del área de estudio se aplicó la fórmula del área de un trapecio para calcular la sección transversal. Esta es una fórmula que entrega una exactitud aproximada a la sección del cauce, no obstante, dadas las dimensiones del curso de agua del Puangue que tiene una categoría de estero y lo prescrito en el Reglamento de Suelos Aguas y Humedales, de la Ley 20.283 de recuperación del bosque nativo y fomento forestal, se consideró apropiada de utilizar. Se realizaron cinco cálculos en cinco puntos del área de estudio, basados en mediciones estimadas obtenidas a través de Google Earth, utilizando la herramienta de regla para medir y el perfil de elevación para estimar la profundidad de la columna de agua. Los resultados de las mediciones se promediaron con el fin de obtener un valor representativo del área de sección transversal del área de estudio.

Fórmula aplicada:



Donde:

- A: Área de sección transversal
- B: Segmento superior de la base del trapecio
- b: Segmento inferior de la base del trapecio
- h: Profundidad

Fuente: Carrión et al., 2015.

CAPÍTULO 3: RESULTADOS

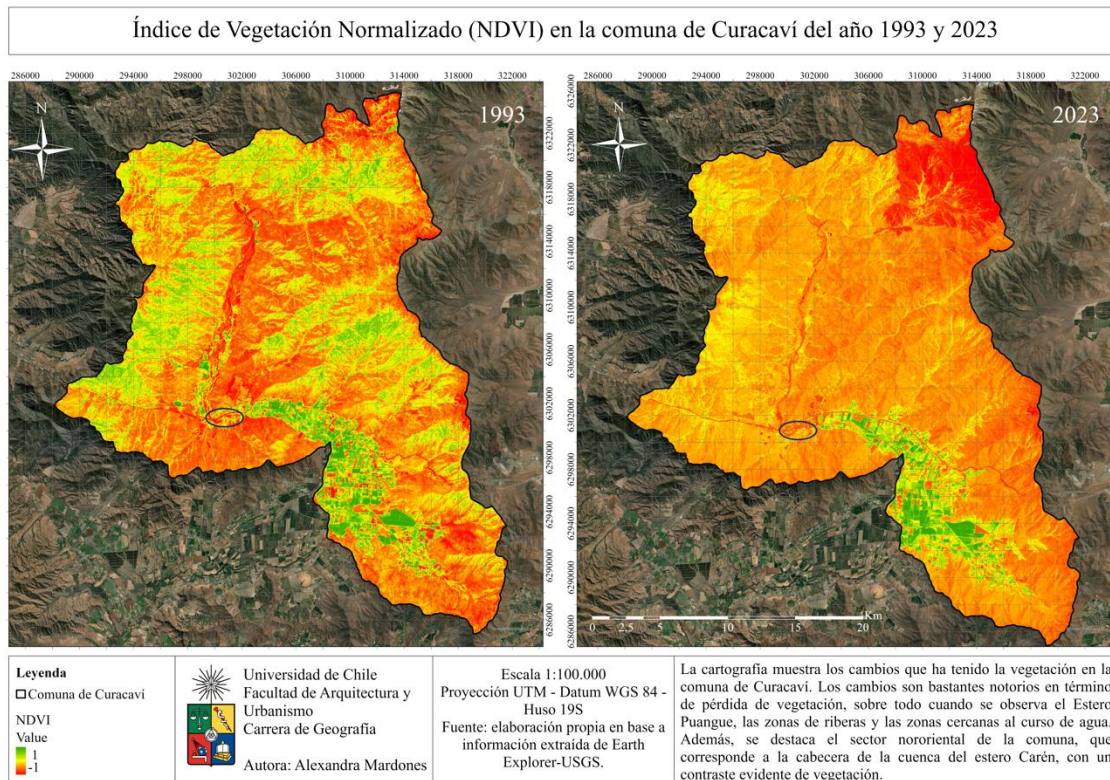
3.1 Cambios en la zona ribereña del estero Puangue en el área de estudio entre 1993 - 2023

3.1.1. Índice de Vegetación Normalizado (NDVI)

La figura 6 corresponde a una comparación de la vegetación entre el año 1993 y 2023. A grandes rasgos se observa una pérdida de vegetación en gran parte de la comuna de Curacaví, especialmente, en la zona nororiente de la comuna.

Respecto a la zona ribereña del área de estudio que en la figura 6 se destaca a través de una línea de color azul oscuro con forma ovalada, los cambios ya sea para el año 1993 como para el 2023 son similares, debido que en ambos años resaltan valores negativos y cercanos a cero. Como se mencionó anteriormente los valores negativos corresponden a agua, en este caso el estero Puangue, y los valores cercanos a cero son presencia de rocas y terrenos desnudos.

Figura 6: Cartografía del índice NDVI en la comuna de Curacaví de los años 1993 y 2023



Fuente: Elaboración propia, 2024.

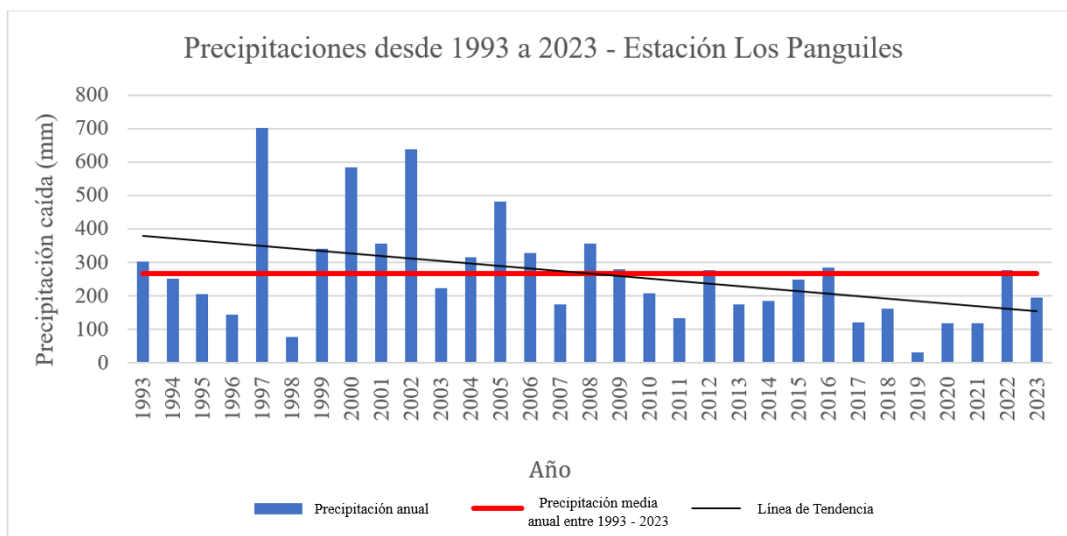
En anexos 7, 8, 9, 10 y 11, se encuentran las demás cartografías del índice de vegetación normalizado, donde se muestran los cambios de vegetación correspondiente a los años 1998 - 2003 - 2008 - 2013 - 2018. En general el área de estudio presenta resultados similares a los mencionados con anterioridad, lo cual se resume en que no hay presencia vegetación ribereña en el área.

3.1.2. Análisis de precipitaciones

El área de estudio es una zona pequeña en superficie por lo que la información de precipitaciones disponibles sólo se encontró a nivel comunal (Estación Los Panguiles). En la figura 7 se observan las precipitaciones anuales registradas desde 1993 hasta el 2023. Las variaciones van desde una mínima de 30,4 mm hasta una máxima de 700,7mm anuales, con una desviación estándar de 157,5 mm. La precipitación media anual es de 267,15 mm y la mediana es de 247,1 mm. Se resalta que son pocos los años que se encuentran por sobre la media de precipitación anual, entre ellos los más destacables corresponden a 1997, 2000, 2002 y 2005, si bien hay más años que están por sobre la media, los mencionados con anterioridad están por sobre los 480 mm anuales. A su vez, los años con menor precipitación anual corresponden a los que se encuentran bajo a la media, resaltando el año de 2019, siendo el año más seco de la serie. Por último, la tendencia de las precipitaciones muestra una disminución durante el periodo, ya que desde el 2009 en adelante prácticamente ningún año sobrepasa la media anual de

precipitaciones, a excepción de 2016 y 2022, sin embargo, en dichos años el rebasamiento fue mínimo.

Figura 7: Gráfico de las precipitaciones anuales del periodo de 1993 a 2023



Fuente: Elaboración propia, 2024 en base a datos obtenidos por la DGA.

Es importante destacar que esta disminución de precipitaciones se encuentra estrechamente relacionada con la sequía presente en el territorio chileno desde hace 14 años sin contar el año actual (MMA, 2022), que a su vez se vincula con las declaratorias de escasez hídrica, que han sido promulgadas en la comuna. En la tabla 5 se puede apreciar con exactitud las fechas de inicio y de caducidad del decreto de escasez, ya sea para el nivel comunal o provincial.

La tabla 5 muestra que desde el año 2016 hasta la actualidad la comuna ha sido objeto de declaratorias de escasez hídrica de manera constante, siendo en total 8 años seguidos de decretos con duraciones de 6 meses, más el último decreto de septiembre de 2022 tiene una duración de un año, debido a la modificación del Código de Aguas de abril 2022.

Tabla 5: Registro histórico de los Decretos de Escasez Hídrica promulgados que incluyen a la comuna de Curacaví

Fecha del Decreto	Fecha de Caducidad	Escala (Cuenca, Provincia, Comuna)
20 de enero 2012	20 de julio 2012	Provincia Melipilla
11 de noviembre 2016	11 de mayo 2017	Comuna Curacaví y otras
25 de octubre 2017	25 de abril 2018	Comuna Curacaví y otras
26 de abril 2018	26 de octubre 2018	Provincia de Melipilla
30 de enero 2019	30 de julio 2019	Provincia de Melipilla
31 de diciembre 2019	30 de junio 2020	Comuna Curacaví y otras
01 de julio 2020	01 de enero 2021	Comuna Curacaví y otras
04 de enero 2021	04 de julio 2021	Comuna Curacaví y otras
05 de julio 2021	05 de enero 2022	Comuna Curacaví y otras
05 de enero 2022	06 de julio 2022	Comuna Curacaví y otras
20 de septiembre 2022	20 de septiembre 2023	Comuna Curacaví y otras

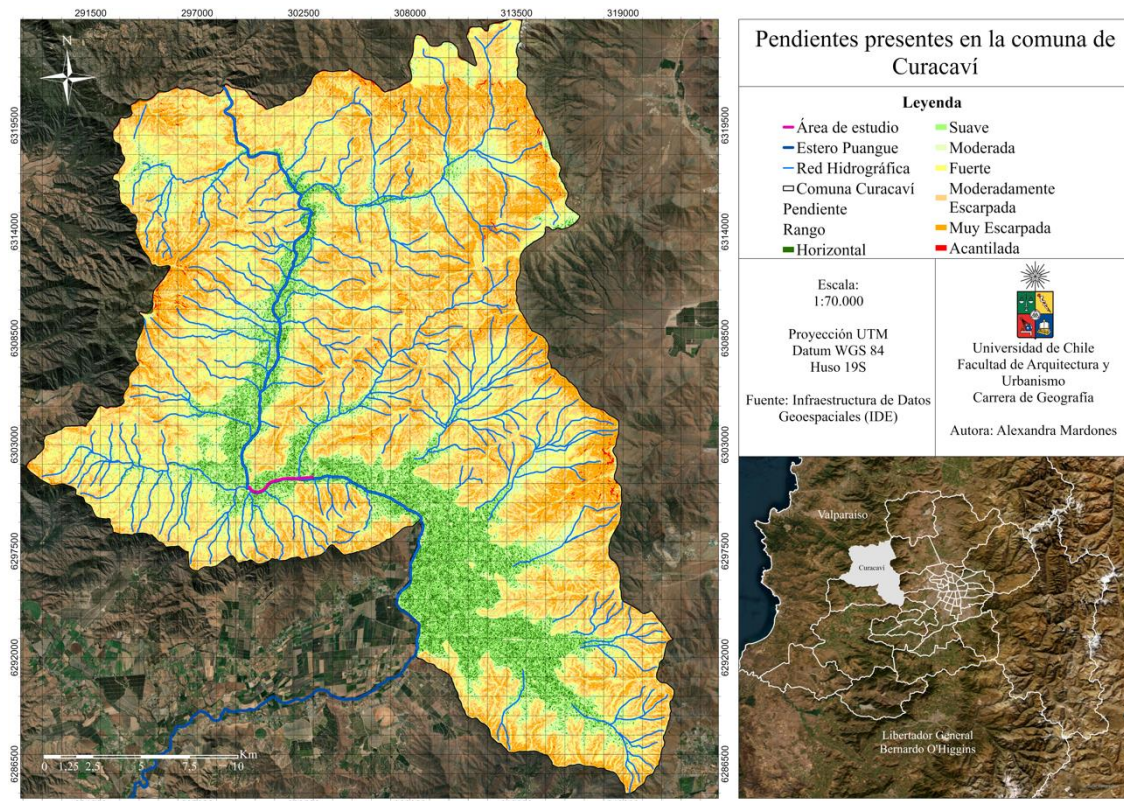
Fuente: Elaboración propia, 2024 en base a información obtenida por la Dirección General de Aguas, 2023.

3.1.3. Análisis de ladera

En la figura 8 se muestran las pendientes clasificadas según el tipo de umbral geomorfológico (véase tabla 1). A partir de esta cartografía se resalta que en el área de estudio predominan las pendientes de los rango horizontal, suave y moderada, que en su mayoría son zonas donde la erosión por pendiente es nula, débil o moderada a fuerte. No obstante, no se obtuvieron datos específicos sobre la erosión del sector. Cabe destacar que, si se considera erosión por factores tales como, por ejemplo, erosión hídrica o antrópica los niveles de erosión podrían variar, por lo tanto, los umbrales geomorfológicos de acuerdo a los tipos de pendientes que presenta el tramo no necesariamente son iguales a los de otros sectores del estero Puangue.

Por otra parte, la red hidrográfica de la comuna en su mayoría drena directamente hacia el estero Puangue, exceptuando el sector sureste de la comuna, donde drena de manera indirecta, precisamente debido a que la superficie de suelo que predomina a los pies de las quebradas tiene una gran área con presencia de pendiente baja, para luego pasar al curso fluvial del estero. Además, en este sector hay asentamientos y otras actividades humanas emplazadas que generan una interfaz diferente.

Figura 8: Cartografía de pendientes presentes en la comuna de Curacaví



Fuente: Elaboración propia, 2024.

3.1.4. Métricas de paisaje

Los resultados sobre los cambios que han ocurrido en la cuenca media, específicamente, en la comuna de Curacaví entre 1993 y 2023, se presentan a través de las tablas 6 y 7 que

muestran los resultados de las métricas de paisaje a nivel de clase aplicadas. Se puede apreciar que las coberturas de suelo que predominan en la comuna en ambos años son vegetación densa y vegetación dispersa, lo cual se evidencia en la categoría de “área total” y “número de parches”. La diferencia que resalta entre ambos años es que la vegetación dispersa de 2023 disminuyó en superficie y aumentaron las superficies de otras coberturas, tales como área rural y zonas de uso agrícola. No obstante, según el índice del Parche más Grande (LPI por sus siglas en inglés) el polígono más grande de cobertura que se encuentra en la comuna pertenece a la vegetación dispersa, predominando en ambos años.

Tabla 6: Métricas del paisaje a nivel de clase aplicada en la comuna de Curacaví de 1993

Cobertura del suelo	Sigla	Área Total (CA/TA) Ha	Número de Parches (NP)	Índice del Parche más Grande (LPI) %	Porcentaje del Paisaje (PLAND) %	Distancia euclidiana media del vecino más próximo (ENN_MN) Mts	Índice de Cohesión del Parche (COHESION)
Afloramiento Rocoso	AR	1616	3	2,21	2,33	18016	96,57
Vegetación Densa	VD	28828	198	13,10	41,60	327	98,17
Vegetación Dispersa	VDS	27109	149	21,43	39,12	344	98,85
Cuerpos y cursos de agua	CCA	875	52	0,71	1,26	622	88,41
Infraestructura de Transporte	IT	262	80	0,07	0,38	664	44,74
Zona de uso Agrícola	ZA	6452	15	8,48	9,31	548	98,32
Área Rural	ARU	3752	42	1,84	5,41	433	92,66
Zona de uso Forestal	ZF	7	1	0,01	0,01	N/A	50,25
Zona de uso Industrial	ZI	132	13	0,05	0,19	1559	65,53
Área Urbana Consolidada	AUC	270	1	0,39	0,39	N/A	92,55

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Según el PLAND el paisaje de Curacaví el año 1993 se compone principalmente de vegetación densa (41,6%) y dispersa (39,1%). Ninguna de las otras coberturas sobrepasa el 10%, por lo que son coberturas denominadas como raras según los rangos de esta métrica, sobre todo la zona de uso forestal, que del total de la superficie del paisaje representa un 0,01%. Para el año 2023 siguen predominando las mismas coberturas, pero disminuyen en porcentaje: vegetación densa predomina con un 40,7% y vegetación dispersa con un 36,6%. Otra cobertura que aumento sobrepasando el umbral del 10% fue la zona de uso agrícola con 11,1%.

La distancia euclidiana media del vecino más próximo se evaluó bajo la perspectiva de ver la distancia promedio entre los fragmentos de la misma clase, para analizar las categorías que se encuentran con mayor grado de aislamiento. Si se observa la tabla 6 para 1993 las coberturas “zona de uso forestal” y “área urbana consolidada” se clasifican como “N/A”, lo que significa que se encuentran completamente aisladas ya que solo existe un solo parche de este tipo. Para el año 2023 (véase tabla 7), el único que se encuentra clasificado como “N/A” sigue siendo “área urbana consolidada”, lo cual tiene sentido ya que este espacio es el centro de Curacaví donde se concentran la mayoría de los servicios e infraestructura de la comuna. El resto de las coberturas no tienen grandes distancias por lo que se puede decir que no se encuentran aisladas en comparación con las antes mencionadas, sin embargo, la cobertura que tiene la distancia media más alta (18.016 metros) corresponde a “afloramiento rocoso” el cual es igual para ambos años.

En cuanto al índice de cohesión en general la mayoría de las coberturas ya sea naturales o antrópicas presentan altos valores en ambos años, considerando que el rango de este índice va de 0 a 100 (véase tabla 6 y 7). No obstante, en 1993 las coberturas “infraestructura de transporte” (44,7%), “zona de uso forestal” (50,2%) y “zona de uso industrial” (65,3%) registraron los valores más bajos del índice. Mientras que, para el año 2023, los valores más bajos correspondieron a “infraestructura de transporte” (44,5%) y “zona de uso industrial” (66,1%). Lo anterior es un indicador de que no se encuentran muy conectados físicamente y la proporción de esta clase es menor en el paisaje en comparación a otras coberturas.

Tabla 7: Métricas del paisaje a nivel de clase aplicada en la comuna de Curacaví de 2023

Cobertura del suelo	Sigla	Área Total (CA/TA) Ha	Número de Parches (NP)	Índice del Parche más Grande (LPI) %	Porcentaje del Paisaje (PLAND) %	Distancia euclidiana media del vecino más próximo (ENN_MN) Mts	Índice de Cohesión del Parche (COHESION)
Afloramiento Rocoso	AR	1616	3	2,21	2,33	18016	96,57
Vegetación Densa	VD	28247	211	9,34	40,76	325	97,79
Vegetación Dispersa	VDS	25401	173	16,19	36,65	343	98,24
Cuerpos y cursos de agua	CCA	862	54	0,71	1,24	665	88,19
Infraestructura de Transporte	IT	264	81	0,07	0,38	659	44,54
Zona de uso Agrícola	ZA	7690	43	8,89	11,10	624	97,77
Área Rural	ARU	4678	55	1,84	6,75	443	93,04
Zona de uso Forestal	ZF	115	2	0,16	0,17	16722	86,66
Zona de uso Industrial	ZI	135	13	0,05	0,20	1552	66,16
Área Urbana Consolidada	AUC	296	1	0,43	0,43	N/A	92,90

Fuente: Elaboración propia, 2024.

En la tabla 8 se observa los resultados de los índices de diversidad de Shannon y de Simpson. El primero valora la heterogeneidad a través de los fragmentos. Si bien los resultados entre 1993 y 2023 son similares, hay una pequeña diferencia que significa que en el paisaje de 2023 hay más fragmentos que en el año 1993, por lo que hay un poco más de heterogeneidad en el paisaje. Mientras que, el segundo índice se mueve entre los rangos de 0 a 1: mientras más cercano a 1 significa mayor diversidad paisajística, por lo tanto, 2023 también predomina ligeramente en diversidad y heterogeneidad sobre 1993.

Tabla 8: Métricas a nivel de paisaje aplicada en la comuna de Curacaví

Año	Índice de Diversidad de Shannon (SHDI)	Índice de Diversidad de Simpson (SIDI)
1993	1,31	0,66
2023	1,37	0,68

Fuente: Elaboración propia, 2024.

En resumen, los cambios a nivel macro área no han sido tan notorios en algunas coberturas de suelo, sin embargo, se puede destacar que ha existido mayor actividad en 2023 en comparación a 1993, ya que han disminuido los porcentajes de vegetación (densa y dispersa) y han aumentado las zonas de pueblos y otras actividades, principalmente la agrícola. Ahora bien, en el área de estudio no se evidenciaron cambios ya que en ambos años la cobertura de cuerpos y cursos de agua arrojó resultados similares.

3.2 Identificación de los principales factores que inciden en el grado de degradación actual

3.2.1 Índice de Calidad de Ribera (QBR)

Los resultados obtenidos del índice de calidad de ribera (QBR) se muestran en la tabla 9. Se exponen los puntajes alcanzados por el índice en los tramos de muestreos (en la tabla denominados como T.M.). El primer tramo de muestreo obtuvo uno de los puntajes más bajos. Los tramos de muestreo dos y tres registraron los puntajes más altos, mientras que el tramo de muestreo cuatro obtuvo 0. Según el rango de calidad del QBR (véase tabla 2) todos los tramos de muestreo, y, por ende, la sección en su totalidad se encuentra con un nivel de degradación extrema y con calidad pésima, ya que la puntuación final de todos los tramos de muestreos es menor a 25.

Tabla 9: Puntajes obtenidos por el índice QBR

Categorías	T.M. 1	T.M. 2	T.M. 3	T.M. 4
Grado de cobertura de la zona ribereña	5	5	0	0
Estructura de la cobertura	0	0	0	0
Calidad de la cobertura	-5	10	15	10
Grado de naturalidad del canal fluvial	5	5	5	-10
Puntuación final	5	20	20	0

Fuente: Elaboración propia, 2024

En general, según lo observado en terreno los cuatro tramos de muestreos en sus riberas no tienen muchas diferencias, ya que desde un inicio la ribera es casi inexistente y no se logra percibir con facilidad. Además, la alteración del cauce es notoria, ya que en todo el recorrido es evidente el encauzamiento del río. El último tramo de muestreo es el único que presenta puntaje negativo en el ítem de “grado de naturalidad del canal fluvial”, esto debido a que en este punto existe estructura sólida dentro del lecho del río, específicamente, obras de defensa longitudinal del tipo enrocados. Cabe destacar que en todo el área de estudio se observa la presencia de infraestructura vial a ambos lados del estero Puangue: la ruta 68 se encuentra a un lado, mientras que el camino Lo Águila se sitúa en el otro, incluso hay caminos que atraviesan el estero Puangue. Por otra parte, desde el tramo de muestreo uno al tres la vegetación que se encuentra dentro del curso fluvial corresponde a vegetación terrestre, siendo la misma que se encuentra en los alrededores.

Se destaca que durante el terreno exploratorio realizado el 16 de agosto de 2023, en los tramos de muestreos del uno al tres solo había presencia de pozas, sin embargo, en el terreno de la aplicación de los índices (02 de octubre de 2023) se encontró un curso fluvial con agua fluyendo continuamente, debido a las precipitaciones caídas antes del 18 de

septiembre, lo que fue corroborado por el testimonio de un trabajador municipal de Curacaví.

En específico, el primer tramo de muestreo fue un área donde el curso fluvial era somero y lento, con aguas cristalinas. Además, se encontraba la presencia de vegetación a ras de suelo en distintos puntos, así como también, especies nativas e introducidas, sin embargo, había mayor presencia tanto en cantidad como diversidad de especies introducidas. Algunas de las especies identificadas son *Eschscholzia californica* (Amapola de California), *Eucalyptus globulus*, *Ricinus communis* (Higuerilla), la nativa *Vachellia caven* (espino) en su estado juvenil. A nivel de suelo se encontró gravas, gravillas y arena.

En el segundo tramo de muestreo, se encontró un panorama similar al anterior. No obstante, la diferencia radicó en que se encontraron especies juveniles, pero de mayor tamaño y cantidad. Sin embargo, en la tabla 9 se observa que esta zona tiene mayor puntaje en comparación al primer tramo, lo que se debe al ítem de “calidad de cobertura”, ya que en este tramo se encontraron mayor cantidad de especies nativas y menos especies introducidas. En este caso se identificaron en su mayoría ejemplares de *Baccharis linearis* (Romerillo), *Acacia caven* (Espino) y *Baccharis salicifolia* (Chilca), junto con la presencia de *Eucalyptus globulus* en la ladera alta.

El tramo de muestreo tres, presenta características similares a los dos tramos anteriores, sin embargo, hay una gran pérdida de vegetación en la zona, en una ladera más que en otra. En esta área ya no se encuentra tanto material como gravas, pero si se encuentra mucha más presencia de arena y partículas más pequeñas, como limo.

En el tramo de muestreo cuatro el paisaje cambia. Primero, se destaca que parte del tramo se encuentra limitado por un cerco que atraviesa el estero. Se intentó acceder, no obstante, por dicha limitación y tiempo no fue posible. Por lo tanto, se cambió el tramo de estudio en unos metros.

En este tramo no se evidencia ribera, ya que el río se encuentra completamente encauzado por grandes bloques de rocas, conocidos como enrocados de defensa fluvial. Por ende, la ribera se encuentra completamente modificada e intervenida. Sin embargo, se observó presencia de vegetación en este tramo, como se ilustra en la figura 9. Algunas de las especies identificadas en este tramo son *Quillaja saponaria* (Quillay), *Salix humboldtiana* (Sauce chileno) y *Acacia dealbata* (Aromo). Además, se constató una mayor profundidad del agua en comparación con los otros tramos.

Figura 9: Estado de los tramos de muestreos en base al índice QBR



Fuente: Elaboración propia, 2024.

3.2.2. Índice de Hábitat Fluvial (IHF)

En la tabla 10 se muestra la puntuación final de cada tramo de muestreo. Según los rangos de calidad del IHF (véase tabla 4) los primeros dos tramos de muestreos se encuentran en un rango menor a 40, por lo que se clasifica como hábitat empobrecido. Los valores son bajos debido a problemas con el hábitat y no con la calidad de agua. Mientras que los tramos de muestreo tres y cuatro se encuentran en el rango 40 – 60, por lo que se clasifican como hábitat que puede soportar una buena comunidad de macroinvertebrados, sin embargo, hay causas naturales y/o antrópicas que interfieren para que algunos elementos no se encuentren representados. Ningún tramo en estudio obtuvo el rango >60, que representa un hábitat fluvial bien construido.

La disminución de las precipitaciones es un de las causas naturales observadas que interfieren en la calidad del hábitat, que afecta al ciclo hídrico del estero, causando que haya tramos donde el flujo de agua se ve disminuido y, por lo tanto, se vean afectados los organismos de dichos tramos. Así mismo, se observaron factores antrópicas que obstaculizan un buen mantenimiento del hábitat como la contaminación, en específico, la disposición de basura, si bien no se observó en grandes cantidades, si hubo partes del estero donde había neumáticos, plástico, algunos muebles, entre otros.

Tabla 10: Puntajes obtenidos por el índice de hábitat fluvial (IHF)

Categorías	T.M. 1	T.M. 2	T.M. 3	T.M. 4
Inclusión en rápidos – sedimentación en pozas	10	10	10	10
Frecuencia de rápidos	4	4	4	4
Composición del substrato	17	17	17	20
Regímenes de velocidad/ profundidad	4	4	4	6
Porcentaje de sombra en el cauce	3	3	3	3
Elementos de heterogeneidad	0	0	2	2
Cobertura de vegetación acuática	0	0	0	5
Puntuación final	38	38	40	50

Fuente: Elaboración propia, 2024.

En la tabla 10 se visualiza que la calidad del hábitat mejora a medida que se avanza en el área de estudio. El tramo de muestreo cuatro obtuvo la mejor calidad. Esto se debe a que la mayor parte del año mantiene un nivel significativo de agua, debido a los aportes del canal Las Mercedes y de un efluente proveniente de la planta de tratamiento de aguas de Curacaví. En cambio, los otros tramos se caracterizan por tener un recurso hídrico efímero.

Esto último se relaciona directamente con la categoría de “cobertura de vegetación acuática” del índice, ya que como se mencionó anteriormente en los tramos de muestreo del uno al tres la vegetación que se encontró en el lecho del río fue de tipo terrestre, ya que es la misma que se encontró en la zona alta de las riberas del estero. En cambio, en el tramo de muestreo cuatro hubo presencia de vegetación acuática, no obstante, al ser un lugar muy intervenido por la acción humana, la cantidad y diversidad de especies fue limitada.

Figura 10: Estado de los tramos de muestreos en base al IHF

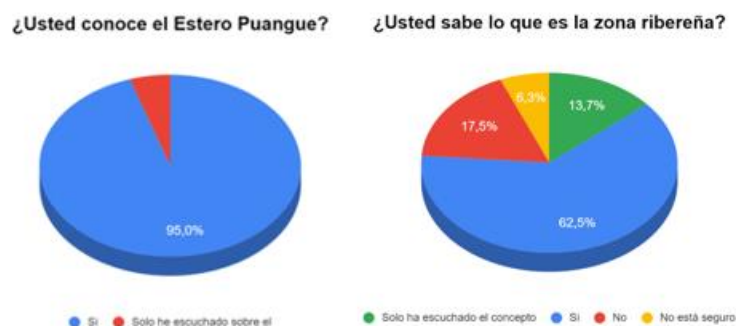


Fuente: Elaboración propia, 2024.

3.2.3. Encuesta

A través de la encuesta, la cual fue respondida por 80 habitantes de Curacaví, se obtuvo que el 95% de los encuestados conoce el estero, mientras que el 5% solo ha escuchado sobre él. Sin embargo, cuando se les preguntó sobre la zona ribereña (véase figura 11), solo el 62,5% conocía sobre este término, mientras que, un 17,5% no lo conocía y un 6,3% no estuvo seguro.

Figura 11: Resultados sobre preguntas de conocimiento de la encuesta



Fuente: Elaboración propia, 2024.

En la figura 12 se observa que el 98,8% de los encuestados consideró que el Estero Puangue se encuentra degradado, de los que un 58,8% consideró que el estero se encuentra completamente degradado, mientras que, un 38,8% cree que se encuentra bastante degradado, y un 2,4% considera que el estero está regularmente degradado, por lo que un 100% de los encuestados asignó degradación y un 97,6% un alto nivel de degradación. Cabe destacar que esta respuesta interpreta el grado del tramo urbano y periurbano del estero, por lo tanto, la degradación en otros tramos puede variar.

Figura 12: Percepción de los encuestados respecto a la degradación del Estero Puangue

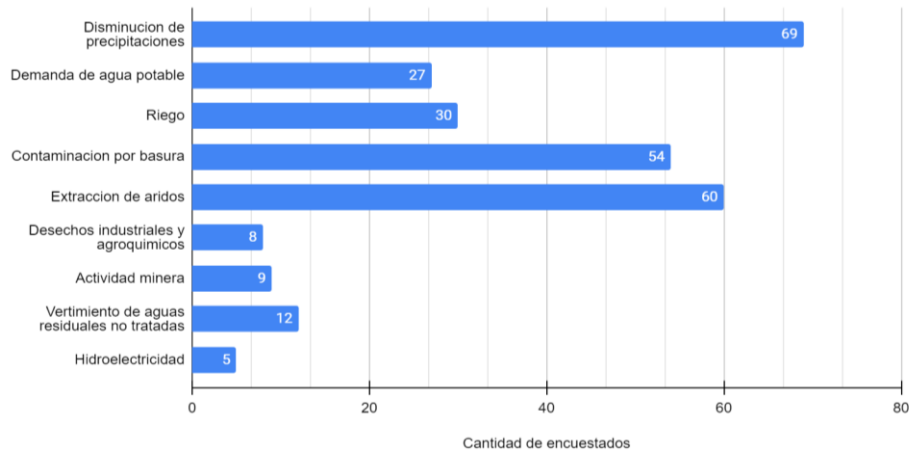


Fuente: Elaboración propia, 2024.

Según la Fundación Ngenko (2022) algunos de los factores que se vinculan a la degradación de los ríos están relacionados con las crecientes demandas de agua potable, riego, extracción de áridos, vertimiento de aguas residuales no tratadas, desechos industriales y agroquímicos, actividades mineras, hidroeléctricas, entre otros. En la comuna de Curacaví están presentes la gran mayoría de estos factores, por lo tanto, esta información se utilizó como base para la pregunta de la figura 13.

Los principales tres factores que degradan el Estero Puangue, según la figura 13 son: la disminución de las precipitaciones, la extracción de áridos y la contaminación por basura, mientras que, los factores menos influyentes según los encuestados son la hidroelectricidad, los desechos industriales y agroquímicos, y la actividad minera. Cabe destacar que los encuestados tuvieron la opción de seleccionar uno o más de un factor.

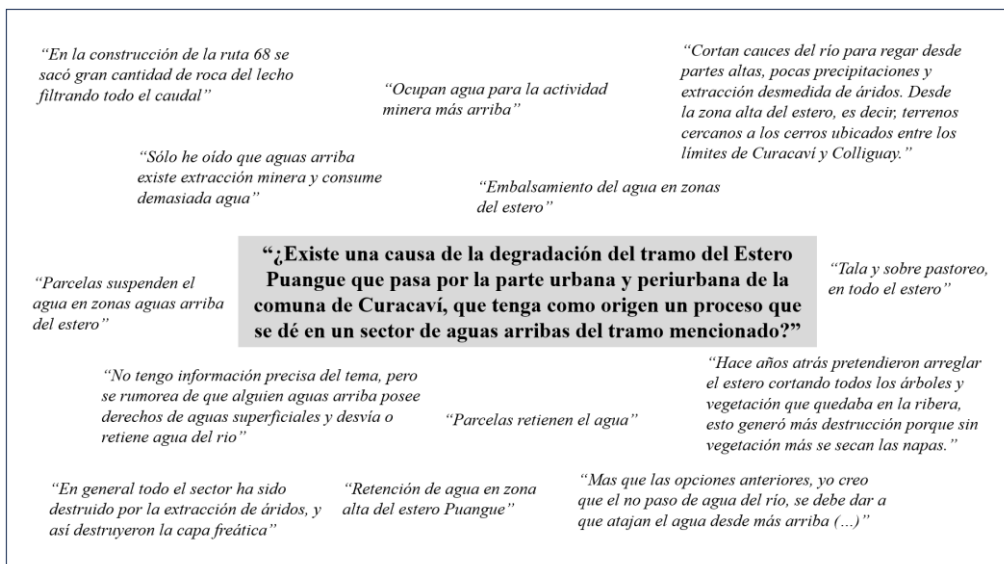
Figura 13: Factores que causan degradación en el Estero Puangue según la percepción de los habitantes de Curacaví



Fuente: Elaboración propia, 2024.

A modo de complemento de la pregunta anterior, se consultó a los encuestados: “¿Existe una causa de la degradación del tramo del Estero Puangue que pasa por la parte urbana y periurbana de la comuna de Curacaví, que tenga como origen un proceso que se dé en un sector de aguas arriba del tramo mencionado?”. Esta pregunta fue opcional, por lo que no todos los encuestados la contestaron: hubo 34 personas que la dejaron en blanco, 14 personas mencionaron que desconocen acerca del tema y 32 personas respondieron. En la figura 14 se observan algunas de las respuestas proporcionadas por los encuestados, que fueron agrupadas dado que hubo repeticiones o alusión a los mismos factores. Según los encuestados las causas de degradación que ocurren aguas arriba del Estero Puangue aluden principalmente a la retención del agua, a la extracción de áridos y a la deforestación.

Figura 14: Causas de degradación aguas arriba del estero Puangue

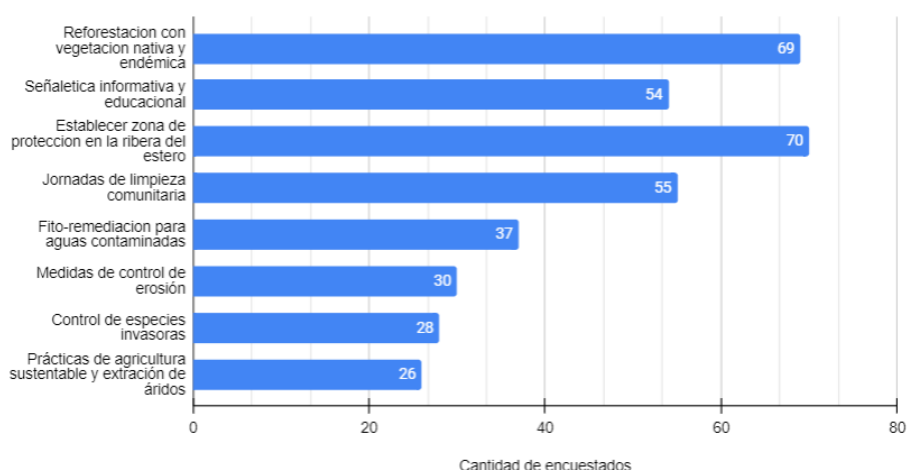


Fuente: Elaboración propia, 2024.

A la pregunta de si implementarían medidas para restaurar y mejorar la calidad de la zona ribereña, hubo un 100% de respuestas afirmativas.

Por último, a los encuestados se les preguntó sobre las medidas de restauración que se deberían aplicar en el estero, donde tuvieron la opción de seleccionar más de una medida. Las medidas que más se destacaron son: establecer como zona de protección la ribera del estero Puangue, reforestación con vegetación nativa y endémica, jornadas de limpieza comunitaria, y señalética informativa y educacional. Además, se destacaron medidas de fito-remediación para aguas contaminadas, medidas de control de erosión, control de especies invasoras y prácticas de agricultura sustentable y extracción de áridos.

Figura 15: Medidas de restauración que se deberían aplicar para mejorar la zona ribereña del Estero Puangue según los encuestados



Fuente: Elaboración propia, 2024.

3.3 Propuesta de restauración ecológica en la zona ribereña en la sección urbana y periurbana del Estero Puangue de la comuna de Curacaví.

A partir de los resultados de los objetivos anteriores, se evidencia que la zona ribereña del área de estudio, en general se encuentra en un estado de degradación extrema y con pésima calidad, en base a lo obtenido por el índice de calidad de ribera y el de hábitat fluvial. Por lo anterior, es que se proponen diferentes medidas de restauración, con el fin de mejorar la calidad de estos ecosistemas.

A continuación, se describen las prácticas seleccionadas de restauración ecológica en las zonas ribereñas para el área de estudio:

3.3.1. Zona de protección de ribera del Estero Puangue.

Es relevante mencionar que el Estero Puangue de la comuna de Curacaví fue declarado humedal urbano por el MMA en junio del 2022. No obstante, en julio del 2023 el Tribunal Ambiental ordenó realizar nuevamente el procedimiento para establecer los límites de

protección, es decir, el polígono que delimita el área (Tribunal Ambiental, 2023). Por lo que, actualmente este procedimiento se encuentra en proceso.

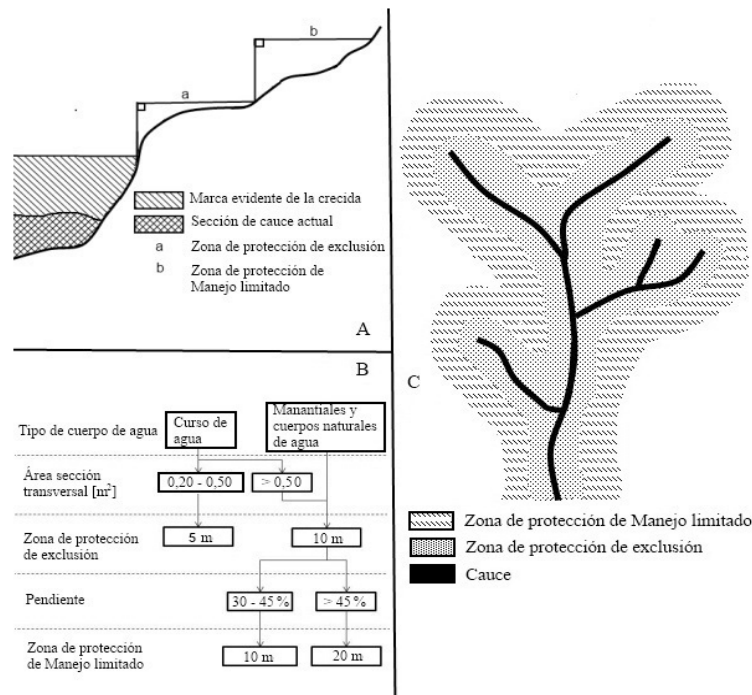
Basado en los resultados anteriores, se puede indicar que el tramo seleccionado para la memoria se encuentra con un alto grado de degradación, por ende, lo ideal para este ecosistema es obtener la mayor franja de protección posible, ya que a mayor ancho de la zona de manejo de cauce (ZMC) mayor es la protección dada a las funciones de la zona ripariana, sin embargo, el aumento del ancho y mayores restricciones compiten con las consideraciones económicas (Gayoso & Gayoso, 2003).

Por lo anterior, y en base a una revisión extensiva de documentos legales que regularizan la protección de riberas, se consideró pertinente destacar la Ley de Bosques del año 1931 donde se establece en el artículo 5 la prohibición de la corta de árboles y arbustos nativos situados a menos de 400 m sobre los manantiales que nazcan en los cerros y los situados a menos de 200 m de sus orillas desde el punto en que la vertiente tenga origen hasta aquel que llegue al plano (Ministerio de Tierras y Colonización, 1931). Según Gayoso & Gayoso (2003), esta regulación genérica más que estar orientada a la protección del cauce está más bien dirigida al bosque nativo en general, además, al tener un carácter conservacionista y no considerar las diferencias topográficas, relieves, suelos, variables climáticas, tipo e importancia de los cauces ha hecho prácticamente inaplicable la normativa.

Entre la normativa vigente se destaca el Reglamento de Suelos, Aguas y Humedales de la Ley 20.283, de recuperación del bosque nativo y fomento forestal, publicado en febrero del 2011, puesto que en él se establecen zonas de protección dependiendo de los cuerpos de agua, y además se mencionan dos zonas de protección, una de protección exclusiva y otra de protección de manejo limitado. En la figura 16 se muestra un esquema sobre las áreas a proteger.

El estero Puangue se clasifica como curso de agua y su área de protección se estima de acuerdo con su sección transversal. A partir de los cinco cálculos realizados se determinó un promedio de área de sección transversal, la cual es de aproximadamente 137 m², lo que resulta en una zona de protección de exclusión de 10 metros. Sin embargo, debido a que el área de estudio no presenta pendientes mayores al 30%, no es posible establecer una zona de protección de manejo limitado. Por lo tanto, la protección mínima para el tramo urbano y periurbano del estero Puangue según el esquema del Reglamento de Suelos, Agua y Humedales corresponde a 10 metros por lado. En anexo 12 se muestra ejemplo de cálculo de área de sección transversal.

Figura 16: Esquema del reglamento de Suelo, Agua y Humedales (Ley 20.283) que señala el establecimiento de protección para distintos cuerpos de agua



Fuente: Romero et al., 2014.

Según la guía de buenas prácticas ambientales para humedales costeros de Chile, se determina un área de amortiguación que debe permanecer libre de desarrollo y perturbaciones. Esta zona se establece con un mínimo de 36 metros de protección alrededor del humedal, lo cual beneficia a las especies que habitan el humedal. Para humedales de menor tamaño, específicamente aquellos con una superficie inferior a 0,4 ha, se recomienda aplicar una razón de 3:1; por ejemplo, una poza de 0,3 ha debería tener un área de amortiguación de 1 hectárea. Adicionalmente, considerando las necesidades específicas de algunas especies, estas zonas de amortiguación pueden alcanzar hasta los 300 metros de ancho (MMA-ONU Medio Ambiente, 2021).

3.3.2. Reforestación con vegetación nativa y endémica

Para este método de restauración se utilizan especies de carácter nativa y endémicas, ya que estas forman parte de la distribución natural del ecosistema, así mismo, se busca evitar el uso de especie introducidas, debido a que estas pueden desencadenar problemas ecológicos, tales como la pérdida de biodiversidad, el incremento de enfermedades, disminución de alimentos, agua y nutrientes para las especies nativas. Se destaca que las especies introducidas pueden comportarse como invasoras y disminuir o evitar el establecimiento de especies nativas, no obstante, es importante conocer bien la distribución de las especies seleccionadas, ya que el comportamiento invasor no solo se encuentra limitado a las especies exóticas, dado que hay algunas especies nativas que pueden demostrar comportamiento invasor cuando se introducen en otras regiones ecológicas distinta a su área de distribución original (Vanegas, 2016). Las especies seleccionadas se encuentran en una tabla en anexo 13. Cabe destacar que esta selección

de especies es una propuesta inicial para establecer una base del proyecto. Posteriormente se podrán incorporar otras especies, algunas pertenecientes a un estadio de sucesión más tardío u otras que presentan más dificultades para su establecimiento, dada sus características en la adaptación a los proyectos de forestación (Vargas, 2021).

En dicha tabla, se incluyen especies arbóreas, arbustivas y acuáticas, dado que los ecosistemas ribereños se encuentran conformados por diferentes estratos verticales y horizontales, y por los ámbitos terrestre y acuático. Por un lado, la vegetación que se encuentra en los estratos verticales va desde la superficie del agua hasta la parte superior de un dosel arbóreo, donde se hallan diferentes especies vegetales que se estructuran según sus dimensiones. Por otro lado, cuando se menciona que la vegetación se estructura horizontalmente, en este caso se refiere a la cantidad de agua que requiere cada especie vegetal, ya que mientras más cercano al curso de agua habrá mayor disponibilidad hídrica, por lo tanto, la humedad del suelo va variando según la distancia en la que se encuentre del curso fluvial (Granados-Sánchez et al., 2006). En este caso, el hábito vegetal que se encuentra en el mismo estero o más cercano a este corresponde a las plantas acuáticas, después, el arbustivo y posteriormente el arbóreo.

La selección de especies busca contribuir a la regeneración vegetal de la zona ribereña. Antes de insertarlas en el ecosistema es apropiado realizar estudios más específicos sobre el suelo y las condiciones climáticas del lugar. Los criterios de selección utilizados fueron: adaptación a eventos climáticos extremos, tales como sequía prolongada, altas temperaturas y exposición solar, bajo consumo hídrico, adaptación al suelo del sector y distribución geográfica original.

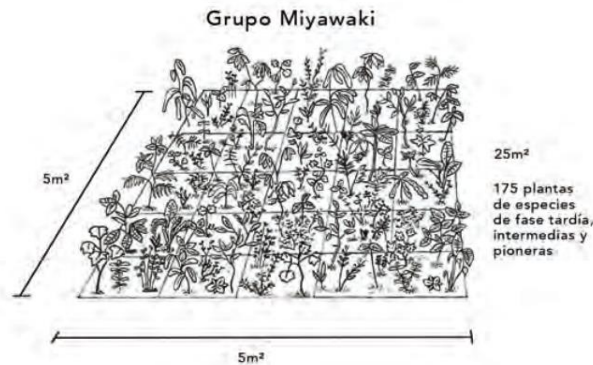
Por otro lado, se debe considerar los procesos pre y post forestación, tales como la adquisición de semillas, preparación del terreno, transporte y manipulación de las plantas, monitoreo de las especies (Seremi del Medio Ambiente Región del Biobío, 2020). Además del mantenimiento, con énfasis en los primeros años, lo que se denomina período de establecimiento de las plantas (Vargas, 2021).

En los métodos de plantación para reforestar la zona ribereña del estero Puangue, se consideró la plantación en grupos de alta densidad (grupos de Anderson - Miyawaki), ya que, se busca una recuperación rápida de la vegetación. La plantación de alta densidad emplea de 5 a 7 ejemplares por metro cuadrado, de diferentes especies y etapas sucesionales. Los núcleos se pueden establecer cada 5 o 10 metros entre uno y otro, donde las dimensiones del núcleo pueden variar de 1 a 5 metros cuadrados. Debido a la densidad de la plantación se puede recuperar un bosque diez veces más rápido que de la forma tradicional (Ramírez-Soto et al., 2022). No obstante, previamente a la plantación se requiere acondicionar muy bien el suelo (Vargas, 2021). Específicamente, el método Miyawaki es una técnica de restauración ecológica que a partir de la Vegetación Natural Potencial (VNP) de un espacio pretende recrear un paisaje teniendo como referencia la vegetación antes existente de la intervención humana. Esta técnica presenta múltiples ventajas, entre las que se destaca el rápido crecimiento de las especies y la conformación

de refugios que albergan biodiversidades nativas y distintas formas de vida, entre otras. Sin embargo, presenta algunas particularidades que se deben considerar antes de su aplicación, la más relevante corresponde a la adaptación del método al lugar, es decir, no solo conocer la especie vegetal sino cómo se distribuye y relaciona en entorno (Valdés en Yajure, 2021).

En la figura 17, se muestra un esquema del método.

Figura 17: Esquema del método Miyawaki



Fuente: Ramírez-Soto et al., 2022.

Por último, resaltar que se utiliza el mismo método para las plantas acuáticas, sin embargo, como las especies seleccionadas se encuentran arraigadas al suelo, la plantación debe realizarse en los períodos que baje el nivel del agua del estero Puangue. No obstante, no se debe plantar durante el periodo de verano, tanto por las condiciones hidrometeorológicas propias de esa estación como por la disminución del agua para riego. El mejor periodo para plantar puede variar según la especie, no obstante, el más apropiado corresponde a los meses de otoño. Se recomienda aprovechar los inviernos secos y tener cuidado con las heladas.

3.3.3. Control de especies invasoras

Fuentes et al. (2014) menciona que, para un eficiente manejo de las invasiones se requiere conocer la biología de la especie invasora (por ejemplo, tiempo de reproducción, ciclo de vida, etc.), las características de los ecosistemas invadidos o que se encuentran en riesgo de serlo, la cuantificación temporal del área afectada y el rol del hombre en su dispersión en el territorio. Adicionalmente, se indica que cualquier plan de manejo debe considerar la percepción social sobre la especie invasora, los ecosistemas amenazados y las potenciales acciones de manejo.

Según Quiroz et al. (2009) para el manejo de las invasiones se requiere de al menos cuatro etapas: prevención, detección temprana, erradicación y control. En primer lugar, la prevención es una estrategia que busca evitar que la especie introducida llegue a establecerse en un área determinada, para ello, se proponen medidas tales como, evitar el transporte casual de semillas en vehículos (desde bicicletas a camiones); evitar el

transporte de plantas, semillas o suelo de una región a otra; minimizar la perturbación del suelo en actividades al aire libre (por ejemplo, remover el suelo y hacer una fogata en lugares no habitados), entre otras. En segundo lugar, la detección temprana consiste en supervisar las especies que no sean de origen nativo y tomar acciones inmediatas de erradicación o control. Cabe resaltar que hay áreas que poseen un alto riesgo de presentar especies invasoras, entre ellas se encuentran las orillas de caminos y senderos, áreas dedicadas a la recreación (camping, centros de visitantes, o cualquier lugar que suela reunir una gran cantidad de personas), sitios perturbados (recientemente quemados, altamente pastoreados, sitios de construcciones, etc.), sitios con poca cobertura arbórea y áreas cercanas a plantaciones de especies introducidas.

Capdevila et al. (2006), clasifican los métodos de control en tres grandes grupos: control físico, químico y biológico.

- ❖ Control físico: Considera diferentes métodos de control subdivididos en cuatro categorías: vegetales, vertebrados terrestres, vertebrados acuáticos e invertebrados. En el control físico de vegetales se utilizan métodos de arranque, desbroce y tala, así como también, acolchado y fuego controlado. Para el control físico de vertebrados terrestres generalmente se utilizan métodos de captura como lo sería el trampeo, este mismo método también se utiliza para el control físico de vertebrados acuáticos, además, de la pesca eléctrica. Por último, en el control físico de invertebrados se utiliza un método de control directo y manual de los invertebrados. Todos los métodos anteriores presentan algunas características negativas, tales como, alto costo económico, eliminación de especies nativas, entre otras, por lo que deben aplicarse con mucha acuciosidad.

- ❖ Control químico: Los métodos propuestos deben ser aplicados cuando no exista alternativa y extremando las precauciones (usando dosis mínimas, centrando la aplicación en áreas infectadas o en la especie en concreto, etc.), debido a que existen tratamientos químicos que tienen la capacidad de matar prácticamente a cualquier ser vivo. Se subdivide en control químico de vegetales, de invertebrados y de vertebrados. El primero, presenta como método los fitocidas que son sustancias que actúan por inhibición total o parcial en el desarrollo de los vegetales. Para el control químico de invertebrados se utiliza el empleo de biocidas, que son sustancias o mezclas de compuestos con propiedades insecticidas o minerales, mientras que para el control químico de vertebrados se utiliza como método el envenenamiento, si bien está prohibido de forma general para cualquier especie, existen excepciones, específicamente, lo relacionado con el control de roedores ya sea por razones sanitarias o para evitar daños en cosechas. No obstante, este método ha tenido consecuencias nefastas en el medio ambiente debido a la transmisión del producto dentro de la cadena trófica. De la Maza & Bonacic (2013) menciona un método de captura en animales silvestres a través de la captura mediante sustancias anestésicas, esta medida no es dañina con

el medio ambiente, pero se debe aplicar con extrema precaución y por personal experto, para asegurar la vida de los animales.

- ❖ Control biológico: Como método se considera el uso de enemigos naturales (depredadores, parásitos, etc.), sustancias de origen biológico o la alteración de procesos biológicos. Se encuentran subcategorías, tales como herbívoros, depredadores, parasitoides, parásitos, agentes productores de toxinas, hipovirulencia, uso de feromonas, esterilización y producción de organismos resistentes. Un ejemplo de este control, son los herbívoros que se han empleado para controlar el avance o para erradicar especies exóticas invasoras. Otro ejemplo, es el control mediante los parasitoides, los cuales son parásitos de otros invertebrados y que habitualmente producen la muerte del huésped, no obstante, se diferencia del método de parásitos, ya que este incluye todas las formas de vida que dependen del huésped, pero que no necesariamente lo matan, sino más bien tienden a debilitar a la especie que se busca controlar. Por último, el método de uso de feromonas ya sea de agregación, alarma, dispersión, marcaje o sexuales, se utilizan como sustancias emitidas por un organismo con el fin de provocar una reacción o comportamiento particular en individuos de la misma especie.

En el caso del área de estudio es posible encontrar especies exóticas en zonas cercanas al lecho del río, tales como *Eschscholzia californica* (Amapola de California o dedal de oro), *Eucalyptus globulus* y *Ricinus communis* (Higuerilla). Por ende, es posible aplicar algunas de las prácticas antes mencionadas de control o erradicación según lo que indiquen los estudios apropiados, ya que se busca que el ecosistema ribereño sea lo más similar posible a lo que era antes de su intervención.

Cabe resaltar que Fuentes et. al (2014) y Quiroz et al. (2009) muestran un catálogo de especies que son consideradas invasoras en la zona centro-sur de Chile, donde se presentan especies arbóreas, arbustivas, herbáceas y gramíneas. Adicionalmente, se destaca el catálogo de especies exóticas asilvestradas/ naturalizadas en Chile, el cual muestra plantas vasculares terrestres y acuáticas, plantas no vasculares (briofitas): musgos y hepáticas, algas, hongos, vertebrados terrestres (mamíferos, aves, anfibios y reptiles), insectos y peces (PNUD, 2017), con la finalidad de considerar en las etapas de detección temprana y de monitoreo.

Por último, es necesario contar con un sistema que evalúe el riesgo de introducción de especies, que sea capaz de discriminar si es posible que se convierta en invasora, y cuál es el potencial de serlo. No obstante, para lo anterior se requiere de gran cantidad y calidad de información relacionada con la biología, ecología, distribución, historia en usos de cultivos, preferencias climáticas, entre otras variables. El sistema de mayor precisión para analizar si una especie posee características de invasor, es el sistema de evaluación de riesgo australiano (AWRA, por sus siglas en inglés: Australian Weed Risk Assessment), que en Chile se aplicó con resultados que demostraron que el sistema separa de forma correcta a las especies con alto potencial invasor de las que tienen un bajo potencial. Por

lo tanto, es un sistema aplicable y una gran herramienta de evaluación de riesgo de introducción de especies (Fuentes et al., 2014; Fuentes & Saldaña, 2022).

3.3.4. Prácticas de agricultura sustentable y extracción de áridos

A partir de las visitas a terreno y a través de imágenes satelitales se observó que el área de estudio, específicamente las zonas aledañas al estero Puangue, está principalmente compuesta por parcelas y sectores agrícolas. Por lo tanto, se proponen prácticas de agricultura sustentable con el fin de no afectar en el futuro a las áreas de ribera del estero Puangue.

Para una agricultura sustentable se debe considerar los diez principios que se mencionan en el protocolo propuesto por la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (2016). En él se incluyen temáticas ambientales y sociales. Los principios son: monitoreo y uso del recurso hídrico; respeto de los derechos humanos, condiciones de trabajo y protección social; manejo de residuos; manejo y aplicación de agroquímicos; gestión de la inocuidad y trazabilidad; relación con las comunidades locales; gestión de la biodiversidad y servicios ecosistémicos; gestión energética; manejo y conservación de suelo; aseguramiento de la sanidad y bienestar animal. Cada uno de estos diez principios cuentan con diversas prácticas que los agricultores pueden implementar, además, las recomendaciones se encuentran ordenadas considerando la gradualidad de su ejecución.

Una de las prácticas destacadas es la agroforestería, que consiste en la integración intencional de árboles y arbustos con cultivos o sistemas de producción animal para obtener beneficios ambientales, económicos y sociales de forma ecológicamente sustentable. Esta práctica incluye la implementación de rompevientos, bosques ribereños de amortiguación adyacentes a cuerpos de aguas, entre otros. Además, pueden abordar problemas específicos como secuestro de carbono y protección de cuencas hidrográficas, mejorando la salud del suelo, la biodiversidad y la resiliencia del ecosistema (Centro Nacional de Agroforestería, 2013). Otra práctica es la rotación de cultivo, que implica alternar diferentes cultivos en el mismo suelo a lo largo del tiempo. Este método maximiza la productividad por unidad de superficie al optimizar el uso de los recursos disponibles. Además, ayuda en el control de plagas y enfermedades, combate las malezas y aumenta los nutrientes en el suelo contribuyendo así a la sustentabilidad agrícola (Silva et al., 2015).

Adicionalmente, se resaltan las medidas propuestas por Ovalle & Quiroz (2021) en el manual de prácticas agrícolas para una agricultura sustentable, en el que es posible encontrar técnicas relacionadas específicamente con el suelo, tales como elaboración de compost, uso de biopreparados, uso de enmiendas orgánicas, uso de purines en praderas y cultivos, fertilización de cultivos, entre otros. Si bien, estas medidas no son específicas para zona ribereña, se consideró importante incluirlas debido a la cercanía de la zona de cultivos con el área de estudio.

Por otro lado, se ha identificado la extracción de áridos aguas arriba del área de estudio, por lo que se proponen prácticas que minimizan el impacto ambiental y promueven la conservación del ecosistema ribereño.

En primer lugar, se propone promover y gestionar el área para lograr su reconocimiento y declaratoria como humedal, lo que le permitirá definir sus límites y valores ecológicos y ambientales. Esto facilitaría una mejor planificación de las etapas y proyectos de extracción de áridos en el futuro. Cabe destacar que el estero Puangue está reconocido como humedal urbano, aunque sus límites aún no se encuentran definidos. Finalmente, se recomienda establecer un área de protección y amortiguación, es decir, una zona sin perturbaciones destinada a minimizar los impactos ambientales, orientada bajo los criterios de la Guía de buenas prácticas de humedales costeros sector extracción de áridos. Aunque los términos “área de amortiguación” y “áreas ribereñas” a veces han sido utilizadas como sinónimos, las áreas de amortiguación pueden extenderse más allá de la ribera para garantizar que las funciones del ecosistema no se vean afectadas. Se recomienda establecer un mínimo de 36 metros de área de amortiguación en dichos sectores con extracción de áridos (MMA-ONU Medio Ambiente, 2023).

3.3.5. Señalética informativa y educacional

La educación ambiental se puede generar de diferentes maneras, sin embargo, en este trabajo se enfatiza en generar educación ambiental a través de letreros o carteles educativos, tal y como se puede ver en diferentes espacios de recreación al aire libre, como santuarios de la naturaleza, parques nacionales, entre otros. Este método de educación ambiental es efectivo debido a su accesibilidad y su amplio alcance entre diversas poblaciones. Además, contribuye a fomentar una conexión con la naturaleza y facilita el reconocimiento y la observación de flora y fauna, entre otros beneficios (MMA-ONU Medio Ambiente, 2021).

Una de las señalizaciones que se propone como referente se observa en la figura 18. Forma parte de un proyecto ejecutado por la Corporación Humedales de Angachilla de Valdivia y el municipio local. En el caso de estudio el estero Puangue ha sido declarado humedal urbano, por lo que un letrero de esta naturaleza se considera pertinente de implementar. Se propone localizarlo a los lados del “Puente Estero Puangue”, con el fin de facilitar que las personas que transitan en vehículo o a pie accedan a esta información.

Figura 18: Ejemplo letrero informativo de acceso



Fuente: Corporación Humedales de Angachilla en Cortés, 2024.

Otro ejemplo de referencia se aprecia en la figura 19. A la derecha el proyecto “Touch The Earth Natural Area”, el cual es el área natural protegida más grande del condado de Bartholomew de Estados Unidos, mientras que a la izquierda se encuentran carteles informativos del “Bearwallow Mountain” impulsado por Conserving Carolina. Esta señalización contiene diversa información, imágenes, mapas, entre otros, por lo que se propone implementar con la finalidad de brindar información específica sobre las variables relacionadas con el estero Puangue y sus áreas de ribera.

Figura 19: Ejemplo de señalización educativa



Fuente: Conserving Carolina, 2020; Sycamore Land Trust, s/f.

Por último, en la figura 20 se muestran ejemplos de señalización en barandas, en la primera imagen a la izquierda hay señalética educativa del Keysborough Wetlands el cual es un santuario de humedales en Australia. En el centro se encuentra el ejemplo de BVD quien se encargó de diseñar e implementar este sistema de señalización en el zoológico Victoria - Santuario de Healesville, Melbourne. A la derecha, se halla un ejemplo chileno del Plan de manejo para Santuario de la Naturaleza Humedales Costeros de Putú y Huenchullamí.

Figura 20: Ejemplo de señalización en barandas



Fuente: Heine Jones (s/f); Beattie Vass Desing (BVD) (s/f); Ministerio del Medio Ambiente (2019).

3.3.6. Jornadas de limpieza comunitaria

Como se ha mencionado anteriormente, en el estero Puangue han existido diversos focos de contaminación a lo largo de todo el cauce que atraviesa la comuna de Curacaví. En la página web de la Corporación Ecológica Estero Puangue Protegido se pueden observar imágenes. Por este motivo, la sociedad civil ha gestionado jornadas de limpiezas comunitarias.

A pesar de lo anterior aún se observa presencia de contaminación por basura, al menos en el sector del área de estudio. Por ello, se propone que las actividades de limpieza comunitaria sean incentivadas por la municipalidad y que tengan un periodo de frecuencia mensual, idealmente durante los fines de semanas para facilitar una mayor participación.

Se espera que la municipalidad en conjunto con organismos ambientales locales pueda apoyar en aspectos tales como voluntariado, materiales, camiones para la basura, acceso a relleno sanitario o infraestructura afín para depositar los residuos, servicios de emergencia médica y/o seguridad policiaca, entre otros (Samalot, 2015). Para que las jornadas de limpiezas aumenten su efectividad, es importante considerar cierto aspectos, ver anexo 14.

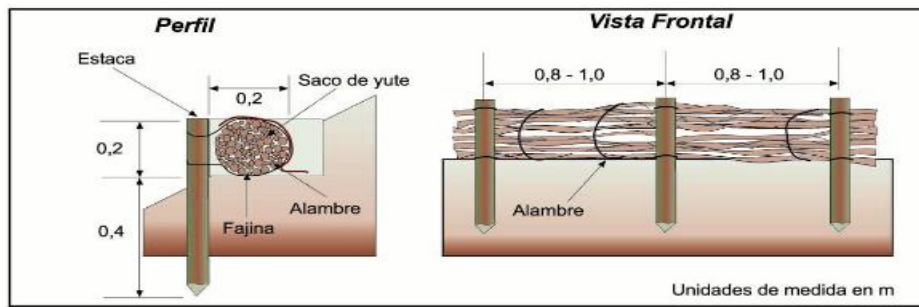
3.3.7. Medidas de control de erosión

A partir de resultados anteriores se obtiene que las pendientes de los suelos por donde pasa el curso fluvial del estero Puangue y pertenecientes al área de estudio son clasificadas como horizontales y suaves. A partir de perfiles de elevación en Google Earth Pro se obtuvo que las laderas del estero tienen un grado de inclinación entre 1° a 5°.

Las medidas de control de erosión propuestas para el área de estudio son realizadas en base al Manual de Control de Erosión de Francke et al. (2004). Gran parte de las medidas que se mencionan en el documento, son en general propuestas para suelos con pendientes moderadas a escarpadas, no obstante, hay tratamientos que son posible de aplicar en el área de estudio, tales como:

Tratamiento lineal con fajinas de ramas: Sirve para disminuir la erosión superficial en taludes, disipar la escorrentía superficial, reducir la velocidad del flujo hídrico y acumular sedimentos. Los intervalos de este tratamiento están en función de los grados de inclinación, para este caso se considera utilizar intervalos de 3 metros, lo que corresponde a pendientes moderadas. Se puede utilizar ramas de distintas especies arbóreas y arbustivas, aprovechando los tipos existentes en los lugares a intervenir. Esta obra no tiene restricción en cuanto a sus dimensiones. Los materiales empleados son estacas verticales de polines de 0,4 m de largo, alambre galvanizado, ramas trenzadas con un largo de 1 a 1,8 m y 0,15 m de diámetro. Para su ejecución se debe emparejar el talud y construir terrazas de 0,5 m, posteriormente, se clavan las estacas verticales a 0,2 m de profundidad, con intervalos horizontales de 0,7 m. Las fajinas de ramas se alambran en la parte posterior de las estacas y detrás de las fajinas se cubre con sacos de malla de diferentes materiales (corcheteados). Tras las fajinas se rellena con tierra, se siembran pastos y plantan árboles y arbustos sobre la terraza.

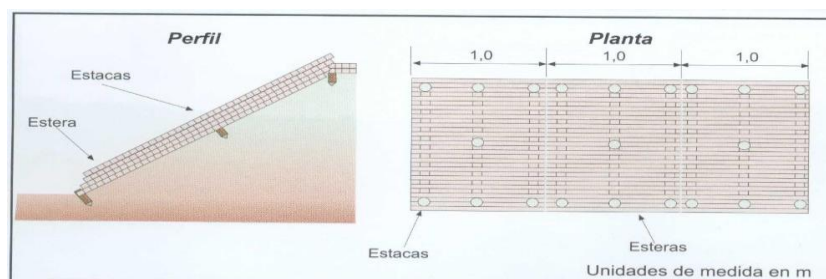
Figura 21: Esquema tratamiento lineal con fajinas de ramas



Fuente: Francke et al., 2004.

Tratamiento de cubierta con esteras de especies variadas: Sirve para evitar el impacto de la gota de lluvia en el suelo, disminuir el flujo superficial, evitar la compactación de la superficie del suelo, evitar la desecación de las semillas por efectos del viento y la radiación solar, impedir el arrastre de las semillas debido al flujo hídrico y minimizar las pérdidas de semillas por ataque de avifauna. Generalmente, los tratamientos de cubierta son aplicados entre los intervalos de los tratamientos lineales, generándose una obra compuesta. Al tener un efecto amortiguador del impacto de las gotas de lluvia son útiles para disminuir la erosión hídrica, por lo tanto, para su ejecución se emplean diversos materiales, distinguiéndose algunos muy favorables para la germinación, crecimiento y sobrevivencia de diversas especies vegetales. Es adecuado para recubrir áreas degradadas, ya que se genera una especie de invernadero que protege, sostiene y favorece la germinación de las semillas y desarrollo de las plántulas (Vargas, 2021). En suelos degradados, de baja fertilidad y delgados, se recomienda adicionar en el talud una capa de tierra de hoja o de otro sustrato con alto contenido de materia orgánica. Para su ejecución se debe emparejar el talud y eliminar canalículos, posteriormente, se construye una estructura de madera para el tejido de los pastos, obteniéndose como producto esteras de 1 m de ancho. Se teje cada 0,25 m a lo ancho con un cordel. El largo se define según la superficie a intervenir. Las esteras se colocan estacadas en un talud, previamente acondicionado y sembrado.

Figura 22: Esquema tratamiento de cubierta con esteras de especies variadas

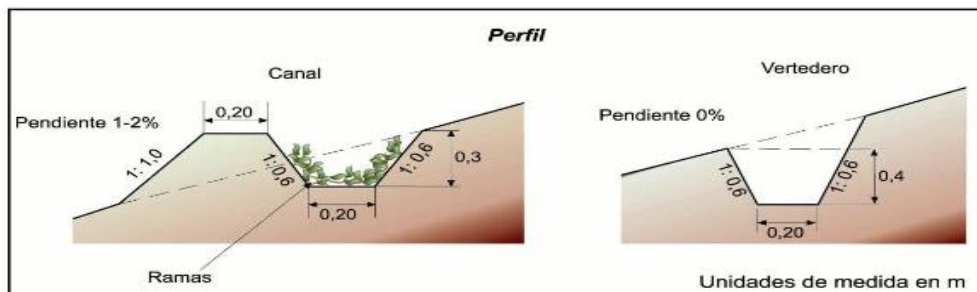


Fuente: Francke et al., 2004.

Debido a que el área de estudio presenta obras de atravesamiento de agua, se propone como medida realizar canales de desviación o de difusión de aguas, con el fin de transportar el agua al estero que estas obras puedan evacuar.

Según Francke et al. (2004), los objetivos de un canal de desviación son disminuir la escorrentía superficial en un área erosionada o erosionable, y transportar el agua de escorrentía hacia áreas estabilizadas, en este caso el área del estero. El canal debe ser capaz de transportar el caudal máximo estimado para el área en particular. El cálculo se realiza en función de las intensidades máximas, la superficie del área y el coeficiente de escorrentía para un periodo de retorno de 10 a 15 años. El canal debe tener como máximo 50 m de largo y una pendiente de 1%. La sección de la estructura tiene la forma de un trapecio donde sus dimensiones corresponden en promedio a 0,2 m de ancho en la base y a 0,3 a 0,4 m de profundidad. Una vez excavada la tierra se debe realizar un camellón en el borde inferior de la estructura y compactar moderadamente el suelo. La inclinación de los taludes dependerá del tipo de suelo, en general, se recomienda una relación que varía entre 1:1,0 y 1:0,6. El área de descarga de las aguas del canal debe ser una ladera estabilizada con presencia de vegetación o un curso de agua y se construye a 0°, sin camellón con una longitud equivalente a $\frac{1}{5}$ del largo total del canal. La sección de esta parte de la estructura debe mantener las mismas dimensiones (ancho, profundidad y talud) del canal.

Figura 23: Esquema canal de desviación o de difusión de aguas



Fuente: Francke et al., 2004.

3.3.8. Fitorremediación para aguas contaminadas

La fitorremediación es una técnica utilizada para remediar zonas contaminadas, ya que a través de los procesos bioquímicos que realizan las plantas y microorganismos asociados, remueven, reducen, transforman, mineralizan, degradan, volatilizan o estabilizan la concentración de diversos contaminantes (Delgadillo et al., 2011). Además, es una técnica que se puede utilizar tanto en el suelo como en el agua, a través de diversas especies vegetales (Pedraza, 2021).

Según Delgadillo et al. (2011), las fitotecnologías se basan en los mecanismos fisiológicos básicos que ocurren en las plantas y microorganismos, como por ejemplo, la transpiración, fotosíntesis, metabolismos y nutrición. Además, las tecnologías de fitorremediación se aplicarán dependiendo del tipo de contaminante, las condiciones del sitio y el nivel de limpieza requerido. Estas técnicas pueden ser utilizadas como medio de contención (rizofiltración, fitoestabilización y fitoinmovilización) o eliminación (fitodegradación, fitoextracción y fitovolatilización). A continuación, se explica de manera breve cada técnica:

- ❖ Rizofiltración: utiliza especies vegetales para eliminar contaminantes del medio hídrico a través de la raíz. En esta tecnología, las plantas se cultivan de manera hidropónica, y cuando el sistema radicular se encuentra bien desarrollado, las plantas se introducen en el agua contaminada con metales, a partir de ahí las raíces absorben y acumulan la contaminación. Sin embargo, a medida que las raíces se saturan, las especies vegetales se cosechan y se disponen para su uso final.
- ❖ Fitoestabilización: permite inmovilizar contaminantes en el suelo a través de la absorción y acumulación en las raíces, este proceso reduce la movilidad de los contaminantes y evita que migre a las aguas subterráneas o al aire. Este método es efectivo en suelos con materiales finos con altos contenidos de materia orgánica, se aplica principalmente a terrenos extensos donde hay presencia de contaminación de manera superficial, además, en comparación a otras técnicas esta tiene ventajas sobre otros métodos de remediación de suelo, como, por ejemplo, es económico, fácil de aplicar y estéticamente agradable.
- ❖ Fitoinmovilización: provoca la sujeción y reducción de la biodisponibilidad de los contaminantes mediante la producción de compuestos químicos en la interfaz suelos-raíz, los que inactivan las sustancias tóxicas, ya sea por procesos de absorción, adsorción o precipitación.
- ❖ Fitodegradación: las especies vegetales y microorganismos asociados a ellas degradan los contaminantes orgánicos o los transforman en moléculas más simples. En determinadas ocasiones, los productos degradados le sirven a la planta para acelerar su crecimiento o son biotransformados.
- ❖ Fitoextracción: o también conocida como “fitoacumulación”, consiste en la absorción de metales contaminantes mediante las raíces de las plantas y su acumulación en tallos y hojas. Esta tecnología se puede repetir ilimitadamente hasta que la concentración de remanentes de metales en el suelo esté dentro de los límites considerados como aceptables.
- ❖ Fitovolatilización: se produce a medida que los árboles y otras plantas en crecimiento, absorben agua junto con contaminantes orgánicos e inorgánicos. Algunos de estos pueden llegar hasta las hojas y evaporarse o volatilizarse en la atmósfera. Mediante este proceso se han eliminado contaminantes como compuestos orgánicos volátiles.

En la figura 24 se presentan las ventajas y desventajas de la fitorremediación. En este trabajo no se obtuvieron datos sobre la existencia de contaminación del suelo y agua del estero Puangue. Sin embargo, es fundamental considerar estas medidas al identificar posibles focos de contaminación en el futuro, debido a la cercanía de la planta de tratamiento de aguas y la urbanización con el estero Puangue.

Figura 24: Ventas y desventajas de la Fitorremediación

Ventajas	Desventajas
<ol style="list-style-type: none"> 1. Se puede realizar <i>in situ</i> y <i>ex situ</i>. 2. Se realiza sin necesidad de transportar el sustrato contaminado, con lo que se disminuye la diseminación de contaminantes a través del aire o del agua. 3. Es una tecnología sustentable. 4. No requiere tanto para contaminantes orgánicos como inorgánicos. 5. Es de bajo costo. 6. No requiere personal especializado para su manejo. 7. No requiere consumo de energía. 8. Sólo requiere de prácticas agronómicas convencionales. 9. Es poco perjudicial para el ambiente. 10. Actúa positivamente sobre el suelo, mejorando sus propiedades físicas y químicas, debido a la formación de una cubierta vegetal. 11. Tiene una alta probabilidad de ser aceptada por el público, ya que es estéticamente agradable. 12. Evita la excavación y el tráfico pesado. 13. Se puede emplear en agua, suelo, aire y sedimentos. 14. Permite el reciclado de recursos (agua, biomasa, metales). 	<ol style="list-style-type: none"> 1. En especies como los árboles o arbustos, la fitorremediación es un proceso relativamente lento. 2. Se restringe a sitios de contaminación superficial dentro de la rizósfera de la planta. 3. El crecimiento de las plantas está limitado por concentraciones tóxicas de contaminantes, por lo tanto, es aplicable a ambientes con concentraciones bajas de contaminantes. 4. En el caso de la fitovolatilización, los contaminantes acumulados en las hojas pueden ser liberados nuevamente al ambiente. 5. Los contaminantes acumulados en maderas pueden liberarse por procesos de combustión. 6. No todas las plantas son tolerantes o acumuladoras. 7. La solubilidad de algunos contaminantes puede incrementarse, resultando en un mayor daño ambiental o migración de contaminantes. 8. Se requieren áreas relativamente grandes. 9. En sistemas acuáticos se puede favorecer la diseminación de plagas, tales como los mosquitos.

Fuentes: Delgadillo et al., 2011.

Por otro lado, en el área de estudio se identificó contaminación por basura. Como se mencionó anteriormente, existen algunas plantas que tienen la capacidad de absorber y degradar sustancias tóxicas presentes en los residuos que quedan en el suelo. Además, esta técnica se está convirtiendo en una solución elegida por muchas comunidades y corporaciones que buscan limpiar sitios de desechos contaminados (Banegas, 2019). Si bien la zona ribereña actúa como filtro de partículas y elementos contaminantes. Cuando esta zona es inexistente, los niveles de calidad de agua se ven afectados o alterados, debido a que se mezclan los nutrientes terrestres y acuáticos, por ello, la importancia de que existan y se mantengan en condiciones saludables (Cuevas et al., 2015). Debido a que el área de estudio se encuentra muy alterada por la intervención humana, específicamente, el tramo de muestreo cuatro, el cual se encuentra completamente encauzado por enrocados, es importante que se considere este método y se aplique en conjunto con la reforestación de especies nativas y endémicas antes propuesta.

En la figura 25 se muestra una referencia sobre la ubicación de las principales medidas de restauración ecológica desarrolladas con anterioridad. Cabe destacar que estas medidas se representan de modo general, debido a la superficie reducida del área de estudio y la escala cartográfica.

Figura 25: Cartografía de las principales medidas de restauración ecológica propuestas



Fuente: Elaboración propia, 2024.

CAPÍTULO 4: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Los primeros resultados obtenidos brindan información sobre los cambios que ha tenido el área de estudio desde 1993 hasta el 2023. En base al análisis del índice de vegetación normalizado (NDVI), entre 1993 hasta 2023, los valores para el área de estudio son similares, por lo que los cambios en la ribera no son tan evidentes. Sin embargo, a nivel comunal, se pueden observar cambios en la vegetación ribereña en otras secciones del estero, destacándose una pérdida de vegetación en toda la cuenca media y parte de la alta, especialmente en el sector nororiental de la comuna, donde ubica el Bosque Caducifolio. Pliscoff (2020) menciona que entre 1995 y 2016 el Bosque Caducifolio ha tenido una pérdida de su distribución superior al 50%, lo que concuerda con los resultados obtenidos. El análisis de precipitaciones arrojó una disminución de ellas. Barahona-Segovia (2019) afirma que la pérdida de zonas ribereñas disminuye la provisión de agua. Marquel et al. (2019) señala que la reducción de la vegetación ribereña junto con la urbanización y el uso de tierra para cultivos genera una pérdida de hábitat y una disminución de la calidad del agua. Por otro lado, Habit et al. (2019) menciona que el cambio climático es un factor estresante para los ecosistemas de agua dulce que dependen directamente de los regímenes de precipitación, a lo que agrega que los cambios en los patrones de precipitación generan fuertes alteraciones en los ecosistemas que se reflejan en los

regímenes del caudal generando cambios a nivel geomorfológico, incluyendo las zonas de riberas y de valles.

Las categorías de erosión por pendiente en la zona del estero corresponden a nula, débil o moderada, dependiendo de la sección que se analice. En base al umbral geomorfológico utilizado por Araya-Vergara & Börgel (1972), Young (1977) y Ferrando (1992) en Becerra (2020), son zonas donde puede existir presencia de erosión difusa y lineal. Naiman & Décamps (1997) mencionan que las riberas de los ríos que carecen de vegetación ribereña son a menudo muy inestables y están sujetas a procesos de erosión en masa que puede tener como consecuencia el ensanchamiento del cauce, a lo que añaden que la erosión es treinta veces más frecuente en las orillas del río sin vegetación expuesta a corrientes que en orillas con vegetación.

Al realizar un análisis de paisaje se obtuvo que los cambios no han sido muy notorios en general, sin embargo, con el tiempo se ha ido fragmentando, ya que actualmente se observa una mayor heterogeneidad en el espacio por las diversas coberturas de suelos que se encuentran en la comuna de Curacaví. En específico, los resultados en el área de estudio no evidencian cambios significativos. Según Turner et al. (2001) las métricas de paisaje son más efectivas en escalas de paisaje ya que los patrones y procesos ecológicos pueden ser analizados adecuadamente. En esta línea, Gustafson (1998) menciona que la correcta aplicación del análisis de patrones paisajísticos puede requerir de un análisis geoestadístico para identificar la escala de manera correcta. Por lo anterior, se desprende que esta metodología fue insuficiente para realizar un análisis minucioso sobre el área de estudio, que tiene una superficie reducida.

Según la aplicación de los índices de calidad de ribera (QBR) y de hábitat fluvial (IHF) el área de estudio obtuvo altos grados de degradación en la zona ribereña. Palma et al. (2009) menciona que la adaptación de métodos como el QBR e IHF han demostrado ser una herramienta eficaz y de gran utilidad a la hora de evaluar de manera rápida y objetiva la calidad de los ríos de Chile. Peredo et al. (2012) señala que el uso de índices como el QBR permite determinar el estado ecológico de las zonas riparianas. Sin embargo, sugiere que es necesario una adaptación del índice que considere las acciones antrópicas relevantes de la cuenca del Maipo, así como otras condiciones locales de vegetación.

A partir de los índices QBR e IHF se observó que el área de estudio se encuentra muy intervenida por la acción humana, con modificaciones físicas y biológicas en la ribera. Un ejemplo de ello es la obra de defensa fluvial ubicada en el tramo de muestreo cuatro, así como la infraestructura vial que recorre todo el trayecto del área de estudio, e incluso en algunos puntos atraviesa el estero, tal como el camino Las Rosas. Naiman et al. (2005) menciona que la regulación del caudal, que incluye la alteración directa del régimen de caudales mediante presas, extracción de agua, canalización o construcción de diques, hace descender el nivel freático, altera el patrón de inundación y aísla las zonas ribereñas. Forman (2014) señala que las orillas de los cursos fluviales tienden a cambiar drásticamente con la urbanización, ya que estos cuerpos de agua están más rodeados por

infraestructura que lo conectan con la ciudad que por áreas fuera de la metrópolis. Así mismo, menciona que las infraestructuras requieren un mantenimiento continuo, lo que provoca una alteración continua del hábitat. Otro ejemplo, es la limitada cobertura, estructura y composición vegetal terrestre presente en el área de estudio, así como la escasa cobertura de vegetación acuática en el tramo de muestreo cuatro. Poff et al. (1997) menciona que las intervenciones antropogénicas, como la urbanización, suburbanización, agricultura, pastoreo, entre otras actividades, reducen la retención del agua en las cuencas y provocan un aislamiento en los ecosistemas fluviales, lo que genera una degradación en los hábitats de especies terrestres y acuáticas. Además, medidas como estabilización de caudal impactan directamente a las especies y comunidades vegetales ribereñas.

La encuesta realizada reveló que los factores principales que inciden en la degradación del estero Puangue en el área de estudio son la disminución de las precipitaciones y las intervenciones antrópicas (extracción de áridos y contaminación por basura). Además, se identificaron las principales causas de degradación aguas arriba del estero, las cuales fueron extracción y retención del agua para diversos usos, extracción de áridos y deforestación, todas causas de origen antrópico. Existen diversos estudios que han abordado la urbanización y las actividades antrópicas en los ecosistemas fluviales, como por ejemplo Paul & Meyer (2001) quienes analizaron los efectos físicos, químicos y biológicos que causa la urbanización hacia los cursos fluviales urbanos, concluyendo que las áreas urbanas generan una degradación a estos ecosistemas y tienen como consecuencias la disminución y/o alteración de vegetación ribereña. Naiman et al. (2005) menciona que los sistemas ribereños son sistemas inestables que se encuentran sometidos al medio ambiente, lo que significa que los regímenes de perturbación varían en frecuencia, intensidad, duración, extensión espacial y previsibilidad. En estos sistemas ribereños, los cambios provocados por perturbaciones extremas naturales son un contratiempo temporal ya que a largo plazo sienta las bases para una fase de recuperación, permitiéndole adaptarse a entornos cambiantes, sin embargo, las perturbaciones antropogénicas debilitan estas zonas, generando que no haya una recuperación total, produciéndose una mayor degradación. Además, menciona que las zonas ribereñas están sometidas a cuatro grandes tipos de perturbaciones antropogénicas: regulación de caudal, contaminación, cambio climático y uso de suelo, lo que concuerda con los resultados de este estudio.

En la encuesta la comunidad manifestó que es importante la implementación de medidas de restauración ecológica con el fin de proteger y resguardar los ecosistemas que se encuentran en el estero Puangue. De acuerdo con Bernhardt & Palmer (2007) en muchos casos la restauración de tramos de ríos puede no ser la forma más eficaz de alcanzar los objetivos. En esta línea, Guevara et al. (2008) menciona que las riberas constituyen un sistema de redes interconectadas con el resto de los ecosistemas, por lo que su conservación y restauración no se puede aplicar de manera aislada, sino a escala de cuenca hidrográfica. De manera similar Naiman et al (2005) sostiene que al planificar la restauración de la ribera es esencial adoptar una perspectiva de cuenca, ya que solo mediante un plan de gestión integrada que abarque la red fluvial y su cuenca de drenaje

se podrán determinar adecuadamente las necesidades de restauración de la ribera. No obstante, existen servicios públicos con competencias en el mantenimiento de los cauces y riberas, tales como la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), en el caso de Chile, SABO y Chizan, de los Ministerio de Tierra, Infraestructura y Transporte, y de Agricultura y Silvicultura, respectivamente en el caso de Japón (JSECE, s/f; Ogihara, s/f/), entre otros, que desarrollan trabajos hidráulicos y de protección en tramos de riberas, generalmente ligados a intervenciones por infraestructura vial en el caso de Chile o a situaciones de erosión de diversa índole, en el caso de Japón, que han resultado exitosos.

Cabe destacar que, si se abordaran exclusivamente trabajos de restauración ecológica exclusivamente a nivel de cuenca hidrográfica, resultaría prácticamente inaplicable o sólo en una mínima cantidad, dada la escala de las cuencas, lo que hace a estas iniciativas altamente complejas y onerosas (Francke et al., 2004; Ministerio de Desarrollo Social, 2018; Vargas, 2022). En este sentido, se debiera reflexionar y fomentar el trabajo a nivel de microcuencas hidrográficas y de riberas a una escala local, para reforzar los beneficios de la restauración ecológica, su aplicabilidad, tal como la disponibilidad de especies vegetales según las condiciones edáficas y climáticas y de agua para el riego de las mismas, así como el rol de la vegetación para regular los microclimas y controlar la erosión de las riberas, entre otros, (Corporación Los Ríos, 2020; SERFOR, 2018; Vargas, 2022).

Es relevante avanzar en la discusión de los límites de los humedales y particularmente en la definición de estos en los de tipo cursos de agua. Por un lado en la normativa chilena se cuenta con el Reglamento de suelos, aguas y humedales, de la Ley 20.283 del Ministerio de Agricultura (Biblioteca del Congreso Nacional, 2011), que define dichos límites por la presencia de vegetación nativa y la sección del cauce, límite que en algunos casos podría aumentar debido a las pendientes aledañas al curso de agua. Por otro lado, se tiene los instrumentos normativos del Ministerio del Medio Ambiente (MMA-ONU Medio Ambiente, 2021) que establecen límites para humedales urbanos de acuerdo con criterios ecológicos específicos y tamaños del área a proteger. Cabe destacar que el área de protección que actualmente rige para el estero Puangue, definida por el Ministerio de Agricultura podría verse modificada bajo los preceptos para humedales urbanos del Ministerio del Medio Ambiente. En este sentido, se pone en relieve que en la actualidad se encuentra en proceso ante el Tribunal Ambiental el establecimiento de los límites del área de protección del humedal urbano Estero Puangue, lo que podría aumentar el área definida por el Ministerio de Agricultura.

Existen numerosas experiencias donde se ha alcanzado éxito en la aplicación de trabajos de restauración ecológica tales como el Proyecto LIFE Ebro Resilience P1 en España, que busca implementar medidas de gestión de riesgo de inundación y la restauración de ríos (Ebro Resilience, s/f), el Proyecto Corredor Verde del Bajo Danubio en el que diferentes países europeos forman parte, se centra en proteger y restaurar a los humedales a lo largo del río y reconectar el río con su zona de inundación para reducir riesgos (European Environment Agency, 2022). En el caso de Chile se destaca el Parque Nacional

Torres del Paine donde se identifican iniciativas en curso llevadas a cabo por diferentes entidades tales como CONAF, Reforestemos Patagonia, AMA Torres del Paine, MMA-Universidad de Magallanes y P. Universidad Católica de Chile (Smith-Ramírez et al., 2015); el Proyecto Cuencas CONAF/JICA “Control de erosión y forestación en cuencas hidrográficas de la zona semiárida de Chile” (Tsuruta et al., 1998; Tokugawa & Vargas, 1997); el Plan Hidrológico Forestal (PHF) para el predio de la Comunidad Agrícola Villa Alhué (CAVA) (Labra et al., 2018); el Programa “Restauración del Ecosistema Cayumanque” (Seremi del Medio Ambiente Región del Biobío, 2020), entre otras.

4.2 Conclusiones

Los resultados de esta memoria a escala de paisaje muestran que en el período 1993 a 2023 el área de estudio no presenta cambios muy evidentes en general, si bien se constató una reducción de vegetación y de las precipitaciones, entre otros. Se considera que se obtuvieron estos resultados a nivel general, dada la escala de análisis de paisaje, el tamaño del área de estudio y la limitación de fuentes de información disponibles para dicha área.

No obstante, los resultados obtenidos sobre el estado actual del área de estudio arrojan que la zona ribereña se encuentra en una categoría de degradación muy severa, afectando al ecosistema en su totalidad. Los métodos aplicados, como el índice de calidad de ribera (QBR) y el de hábitat fluvial (IHF) evidencian lo antes expuesto, por lo que se considera que la selección fue efectiva. En general, todos los puntajes obtenidos del QBR se encuentran dentro del rango que representa el nivel de calidad más bajo para los ecosistemas de ribera, mientras que, los puntajes del IHF varían entre los dos rangos de calidad más bajos del índice.

A su vez, las encuestas aplicadas también entregan como resultado que la ribera del estero Puangue en el tramo urbano y periurbano en la comuna de Curacaví se encuentra con un alto nivel de degradación, evidenciado a través de las acciones de extracción de áridos y contaminación por basura. Se destaca que la comunidad encuestada manifestó que las principales causas de degradación del área de estudio se originan en la zona de aguas arriba de esta y que aquellas fueron de origen antrópico como extracción y retención de agua para diversos usos, extracción de áridos y deforestación. No obstante, se identificaron diversas acciones degradantes generadas en el área de estudio y en su entorno periurbano y urbano tales como caminos, defensas fluviales, deposición de basura, entre otros.

Cabe destacar, que tanto los índices de calidad de ecosistemas de ribera utilizados como la encuesta aplicada a la comunidad indicaron que las causas de degradación del área de estudio han tenido y tienen un origen antrópico.

De acuerdo a la normativa chilena vigente, específicamente el Reglamento de suelos, aguas y humedales, de la Ley 20.283, de recuperación del bosque nativo y fomento forestal (2011), el área de protección del área de estudio se denomina “Zona de protección

de exclusión de intervención” y corresponde a 10 m por cada lado del curso de agua, medidos en proyección horizontal en el plano, desde el borde del cauce y perpendicular al eje, o a la línea de borde de éste. Esta área podría aumentar, si el Tribunal Ambiental aprueba bajo los criterios para humedales urbanos del Ministerio del Medio Ambiente, los nuevos límites para el Estero Puangue.

Los trabajos y medidas de restauración ecológica propuestos para el área de estudio demostraron ser pertinentes a la problemática y con un gran probabilidad de éxito en su aplicación para mejorar la calidad del ecosistema ribereño, conforme a las experiencias nacionales e internacionales y la revisión bibliográfica realizadas. No obstante, lo propuesto es perfectible y complementarios con estudios que incorporen un análisis y propuestas de los aspectos normativos, institucionales y sociales, así como diseños técnicos de escala de detalle.

BIBLIOGRAFÍA

Agencia Catalana del Agua. (2006). Protocolo HIDRI - Protocolo para la valoración de la calidad Hidromorfológica de los ríos. Pág. 131.
http://observatoriaigua.uib.es/repositori/gf_indicadores_calidad.pdf

Atilio de la Orden, E. (2020). Los recursos naturales - Degradación de ecosistemas. Universidad Nacional de Catamarca. Argentina.
<http://editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/Ecologia/imagenes/pdf/ecologia%202/Los%20RRNN.pdf>

Banegas, D. (2019). Trees can do the Dirty Work of Waste Cleanup. U.S. Department of Agriculture. <https://www.usda.gov/media/blog/2019/08/30/trees-can-do-dirty-work-waste-cleanup>

Barahona-Segovia, R. (2019). Conservación biológica de invertebrados en los bosques de la cordillera de la costa de Chile: amenazas y propuestas. en C. Smith-Ramírez & F. Squeo (eds.) Biodiversidad y Ecología de los Bosques Costeros de Chile. Editorial Universidad de Los Lagos. 269 - 298.

Beattie Vass Design (BVD). (s/f). Signage and Wayfinding - Zoo's Victoria - Healesville Sanctuary, Melbourne. https://www.beatievass.design/healesville_wayfinding

Becerra, N. (2020). Análisis de componentes hidrológicos y su influencia en el tipo de escurrimiento superficial en microcuencas de la Reserva Nacional Río Clarillo, comuna de Pirque, Región Metropolitana de Santiago. [Memoria de Título]. Universidad de Chile.

- Bernhardt, E. S., & Palmer, M. A. (2007). Restoring streams in an urbanizing world. *Freshwater Biology*. 52(4), 738-751. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2006.01718.x>
- Biblioteca del Congreso Nacional (BCN). (1994). *Ley 19.300 - Aprueba ley sobre bases generales del Medio Ambiente*. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. <https://bcn.cl/2f707>
- Biblioteca del Congreso Nacional (BCN). (2008). *Ley 20.283 sobre recuperación del bosque nativo y fomento forestal*. Ministerio de Agricultura. <https://bcn.cl/2fcmf>
- Biblioteca del Congreso Nacional (BCN). (2011). *Decreto N°82 aprueba Reglamento de Suelos, Aguas y Humedales*. Ministerio de Agricultura. <https://bcn.cl/32qvj>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN). (2020). Curacaví - Reporte comunal 2020. https://www.bcn.cl/siit/reportescomunales/comunas_v.html?anno=2020&idcom=13503
- Biblioteca del Congreso Nacional (BCN). (2022). Decreto 152 - Declara zona de escasez hídrica a las comunas de Curacaví, María Pinto y Melipilla, provincia de Melipilla, Región Metropolitana de Santiago. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1183190>
- Bomba, F. [fbombab] (2020). #1 Tamaño de muestra / muestreo aleatorio simple ejemplo práctico / calculadora de muestra. [Video]. <https://www.youtube.com/watch?v=So2z2o8ziqI>
- Bustamante, M., Armesto, J., Bannister, J., González, M., Echeverría, C., & Smith, C. (2018). Restauración de ecosistemas. pp. 217 - 223. https://www.researchgate.net/publication/334760298_Restauracion_de_Ecosistemas
- Cairns, J., & Heckman, J. (1996). RESTORATION ECOLOGY: The State of an Emerging Field. *Annual Review of Energy and the Environment*. Department of Biology, Virginia Polytechnic Institute and State University. Vol. 21, 167-189. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.21.1.167>
- Capdevila, L., Iglesias, A., Orueta, J., & Zilleti, B. (2006). *Especies Exóticas Invasoras: Diagnóstico y bases para la prevención y el manejo*. Organismo Autónomo Parques Nacionales - Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, España. <https://www.miteco.gob.es/es/parques-nacionales-oapn/publicaciones/exoticas.html>

- Carrasco, S., Hauenstein, E., Peña-Cortés, F., Bertrán, C., Tapia, J., & Vargas-Chacoff, L. (2014). *Evaluación de la calidad de vegetación ribereña en dos cuencas costeras del sur de Chile mediante la aplicación del índice QBR, como base para su planificación y gestión territorial*. *Gayana Bot.* 71(1):1-9. <https://www.scielo.cl/pdf/gbot/v71n1/02.pdf>
- Carrión, R., La Mattina, D. & Paz, M. (2015). Manual de capacitación: medición del agua de riego. Unidad para el Cambio rural. 31 pp.
- Censo. (2017). Resultados Censo 2017 - Curacaví. <http://resultados.censo2017.cl/Region?R=R13>
- Centro Nacional de Agroforestería. (2013). ¿Qué es la agroforestería? Departamento de Agricultura de los EE. UU. https://www.fs.usda.gov/nac/assets/documents/workingtrees/infosheets/WhatisAF_Spanish.pdf
- Centro Nacional de Información Geográfica (Instituto Geográfico Nacional). (s/f). Atlas Didáctico - Concepto de paisaje. Ign.es. España. https://educativo.ign.es/atlas-didactico/paisaje-eso/concepto_de_paisaje.html
- CIREN. (2022). Características demográficas y socioeconómicas - comuna de Curacaví. SIT Rural. https://www.sitrural.cl/wp-content/uploads/2022/12/Curacavi_demografica-1.pdf
- CONAF. (s/f). Guía índice fragilidad suelos forestales. https://www.conaf.cl/protocolo-plantaciones/Documentos-y-estudios/Proteccion-de-suelos-y-agua/Elementos-guia-indice-fragilidad-suelos-forestales_SFrancke.pdf
- CONAF. (2022). “Manual de Cartografía del Catastro de los Recursos Vegetaciones y usos de la tierra”, actualizado; incluyendo las mejoras tecnológicas; procedimientos actuales; definiciones, lineamientos y protocolos para terreno empleados en la elaboración del Catastro de CONAF. SIT CONAF. 107 pp. Obtenido desde <https://sit.conaf.cl/>
- Cordero, S., Abello, L. & Galvez, F. (2017). Plantas silvestres comestibles y medicinales de Chile y otras partes del mundo. Guía de Campo. Ed. Corporación Chilena de la Madera, Concepción, Chile. 292 pp.
- Corporación Ecológica Estero Puangue Protegido. (s/f). Necesita atención urgente. <https://esteropuangueprotegido.cl/>
- Corporación Los Ríos. (2020). Erosión de riberas. <https://trumao.corporacionlosrios.cl/2020/09/14/erosion-riberas/>

- Conserving Carolina. (2020). New Trail Connects Bearwallow to Wildcat Rock. <https://conservingcarolina.org/new-trail-connects-bearwallow-to-wildcat-rock/>
- Correa Ayram, CA, Mendoza, ME, & López Granados, E. (2014). Análisis del cambio en la conectividad estructural del paisaje (1975-2008) de la cuenca del lago Cuitzeo, Michoacán, México. *Revista de Geografía Norte Grande*, (59), 7-23.
- Cortés, V. (2024). Instalan señaléticas para acercar y poner en valor el Santuario Angachilla. *Diario Sostebible*. <https://www.diariosostenible.cl/noticia/actualidad/2024/02/instalan-senaleticas-para-acercar-y-poner-en-valor-el-santuario-angachilla>
- Cuevas, J., Huertas, J., & Torres, A. (2015). *Rol de las franjas ribereñas para el control de patógenos y contaminación difusa* [en línea]. Osorno: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. n°313. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/6461>
- De La Barrera, F., Reyes-Paecke, S. & Meza, L. (2011). Análisis del paisaje para la evaluación ecológica rápida de alternativas de relocalización de una ciudad devastada. *Revista Chilena de Historia Natural*. 84(2), 181-194. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2011000200004>
- De la Maza, M. & Bonacic, C. (Eds.) (2013). Manual para el monitoreo de fauna silvestre en Chile. Serie Fauna Australis, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Pontificia Universidad Católica de Chile, 202 pp.
- De la Maza, C., Cerda, C., Cruz, G., Mancilla, G., Fuentes, J., Estades, C., Medrano, F., Aliste, E., Ángel, P., & Vielma, A. (2014). Manual para aplicar indicadores de sustentabilidad en áreas protegidas. *Ámbito Biofísico*. pp. 106. https://www.researchgate.net/publication/275099902_Manual_para_aplicar_indicadores_de_sustentabilidad_en_areas_protegidas
- Delgadillo, A., González, C., Prieto, F., Villagómez, J., & Acevedo, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 14(2). 597-612.
- Dirección General de Aguas (DGA). (s/f). Información Oficial Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas en Línea. <https://snia.mop.gob.cl/BNAConsultas/reportes>
- Dirección General de Aguas (DGA). (2024). Inventario público de cuencas hidrográficas y lagos. Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile. https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursoshidricos/inventario_cuencas_lagos/Paginas/default.aspx

- Dirección General de Aguas (DGA). (2024). Mapoteca Digital. <https://dga.mop.gob.cl/estudiospublicaciones/mapoteca/Paginas/Mapoteca-Digital.aspx>
- Dirección General de Aguas (DGA). (2023). Decretos declaración zona de escasez vigentes - Planilla Decretos zonas de escasez hídrica (2008 - 2023). <https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursoshidricos/decretosZonasEscasez/Paginas/default.aspx>
- Ebro Resilience. (s/f). El Proyecto LIFE 1. <https://www.ebroresilience.com/proyecto-life-p1/el-proyecto/>
- Esri. (s/f). Función NDVI - ArcGIS Pro. <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/analysis/raster-functions/ndvi-function.htm>
- European Environment Agency. (2022). Corredor verde bajo del Danubio: recuperación de llanuras aluviales para la protección contra inundaciones. Climate-ADAPT. <https://climate-adapt.eea.europa.eu/es/metadata/case-studies/lower-danube-green-corridor-floodplain-restoration-for-flood-protection>
- FAO. (1982). Carta Mundial de los Suelos. Conferencia Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.
- Forest Stewardship Council (FSC). (2014). Pauta de restauración ecológica para cumplir con estándares FSC en Chile. <https://cl.fsc.org/cl-es/fsc-en-chile/documentos-fsc-chile>
- Forman, RTT (2014). *Urban Ecology: Science of Cities*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Francke, S., Vargas, R., Tokugawa, K., & Makita, M.. (2004). Manual de Control de Erosión. (2a ed.). Santiago, Chile: CONAF: JICA.
- 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), Concepción, Chile.
- Fuentes, N., & Saldaña, A. (2022). Validación de un sistema de evaluación de riesgo de invasión: el sistema australiano y su potencial uso en especies de plantas introducidas en Chile. *Gayana. Botánica*. 79 (1). 63-70. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432022000100063>

- Fundación Chile. (2022). Cuencas Regenerativas: de la crisis a la seguridad hídrica - Hoja de ruta Maipo y Maule. Escenarios Hídricos 2030. Chile. <https://fch.cl/publicacion/cuencas-regenerativas-de-la-crisis-a-la-seguridad-hidrica-hojas-de-ruta-maipo-y-maule/>
- Fundación Ngenko. (2022). Ríos libres en Chile - Una mirada desde la percepción ciudadana. https://www.fundacionngenko.cl/_files/ugd/48c413_0a62d7f3357b4b978114fd28ae16ca47.pdf
- Fundación Reforestemos. (s/f). Litre. <https://www.reforestemos.org/content/uploads/litre-.pdf>
- García, J. (1989). Zonas y ecosistemas en degradación. Desertificación. Hojas Divulgadoras. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Valencia. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1989_10.pdf
- García, N. & Ormazabal, C. (2008). Árboles Nativos de Chile. Enersis S.A. Santiago, Chile. 196 p.
- Gayoso, J., & Gayoso, S. (2003). Diseño de zonas ribereñas: Requerimiento de un ancho mínimo. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia, Chile. 12 pp.
- Guevara, G., Reinoso, G., García, J., Franco, L., García, L., Yara, D., Briñez, N., Ocampo, M., Quintanilla, M., Pava, D., Flórez, N., Ávila, M., Hernández, E., Lozano, L., Guapucal, M., Borrero, D., & Olaya, E. (2008). Aportes para el análisis de ecosistemas fluviales: una visión desde ambientes ribereños. *Revista Tumbaga*, (3) 109-127.
- González, P. (2019). Definiciones relacionadas a la ruralidad Chile. Biblioteca del Congreso Nacional (BCN). https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/26971/1/Definiciones_relacionadas_a_la_ruralidad.pdf
- Granados-Sánchez, D., Hernández-García, M. Á., & López-Ríos, G. F. (2006). Ecología de las Zonas Ribereñas. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 12(1), 55-69.
- Greenpeace. (2019). Noticias - El mundo se seca gota a gota. <https://www.greenpeace.org/chile/noticia/issues/climayenergia/el-mundo-se-seca-gota-a-gota/>

- Gustafson, E.J. (1998). Quantifying landscape spatial pattern: What is the state of the art? *Ecosystems*, 1(2), 143-156 <https://doi.org/10.1007/s100219900011>
- Habit, E., Górski, K., Alò, D., Ascencio, E., Astorga, A., Colin, N., Contador, T., de los Ríos, P., Delgado, V., Dorador, C., Fierro, P., García, K., Parra, Ó., Quezada-Romegialli, C., Ried, B., Rivera, P., Soto-Azat, C., Valdovinos, C., Vera-Escalona, I., & Woelfl, S. (2019). Biodiversidad de ecosistemas de agua dulce. En P. A. Marquet et al. (Eds.), *Biodiversidad y cambio climático en Chile: Evidencia científica para la toma de decisiones. Informe de la mesa de Biodiversidad*. Santiago: Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.
- Heine Jones. (s/f). Projects - Keysborough Wetland Interpretive. <http://www.heinejones.com.au/environmental/keysborough-wetland-2/>
- Ilustre Municipalidad de Curacaví. (2016). Plan de Desarrollo Comunal - PLADECO Curacaví 2016 - 2020. Nuevo Siglo Consultores. https://transparencia.municipalidadcuracavi.cl/1_07_Pladeco/2017/PLADECO_2016-2020.pdf
- Ilustre Municipalidad de Curacaví. (2021). Ficha técnica solicitud de declaración Humedal Urbano Municipalidad de Curacaví. Folio N°1-22 Ord. N°349. Curacaví. Chile. <https://humedaleschile.mma.gob.cl/procesos-municipales-region-metropolitana-de-santiago/>
- Instituto Forestal (Chile) (2012). Monografía de Espino. *Acacia caven (Mol) Mol.*. Santiago, Chile: INFOR. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/20248>
- Instituto Forestal. (2012). Monografía de Peumo *Cryptocarya alba (Mol.) Looser*. Santiago, Chile: INFOR. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/20242>
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE), Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). (2018). Metodología para medir el crecimiento urbano de las ciudades de Chile. <https://geoarchivos.ine.cl/File/geo/metodologia-para-medir-el-crecimiento-urbano-de-las-ciudades-de-chile.pdf>
- Japan Society of Erosion Control Engineering (JSECE). (s/f). About SABO. <https://jsece.or.jp/en/general/sabo/>
- Labra, F., González, M., Gacitúa, S., Montenegro, J., Villalobos, E. & Gómez, A. (2018). Manual para la implantación de Obras de Conservación de Suelos y Cosecha de Aguas Luvia en Alhué. Predio de la Comunidad Agrícola Villa Alhué. Instituto Forestal, Chile. Manual N°49. 101 pp.

- Langman, J. (2019). Los bosques amenazados de Chile. *Patagon Journal*.
https://www.patagonjournal.com/index.php?option=com_content&view=article&id=4189%3Achiles-threatened-forests-&catid=190%3Aconservation&Itemid=279&lang=esm
- Lovgren, S. (2021). Los ríos y los lagos son los ecosistemas más degradados del mundo ¿Podemos salvarlos?. *National Geographic*.
<https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2021/03/los-rios-y-los-lagos-son-los-ecosistemas-mas-degradados-del-mundo>
- Manzur, M. (2005). Situación de la biodiversidad en Chile: Desafíos para la sustentabilidad, Programa Chile Sustentable.
<https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/31694/Situacion-de-la-Biodiversidad-en-Chile-Desafios-para-la-Sustentabilidad.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Marquet P.A., Altamirano, A., Arroyo, M. T. K., Fernández, M., Gelcich, S., Górski, K., Habit, E., Lara, A., Maass, A., Pauchard, A., Pliscoff, P., Samaniego, H., & Smith-Ramírez, C. (Eds.). (2019). Biodiversidad y cambio climático en Chile: Evidencia científica para la toma de decisiones. Informe de la mesa de Biodiversidad. Santiago: Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.
- Mazzoni, E. (2014). Unidades de paisaje como base para la organización y gestión territorial. *Estudios Socioterritoriales*. 16(1)
http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-43922014000300004
- McGarigal, K. (2015). FRAGSTATS HELP. Tutorial, Versión 4.2. University of Massachusetts, Amherst. 182 pp.
- Ministerio de Agricultura. (2010). Decreto 82. Reglamento de suelos, aguas y humedales, de la Ley 20.283, de recuperación del bosque nativo y fomento forestal. Biblioteca del Congreso Nacional (BCN). <https://bcn.cl/39fi7>
- Ministerio de Desarrollo Social. (2018). Metodología de Preparación y Evaluación de Proyectos de Defensa Fluvial. Departamento de Metodologías y Estudios, División de Evaluación Social de Inversiones -Subsecretaría de Evaluación Social.
<https://sni.gob.cl/storage/docs/Metodolog%C3%ADa%20Defensas%20Fluviales%20Nov-2018.pdf>
- Ministerio del Interior y Seguridad Pública. (2022). Ministerio del Medio Ambiente reconoce, por solicitud municipal, Humedal Urbano Estero El Puangue. Diario

Oficial de la República de Chile.
<https://www.diariooficial.interior.gob.cl/publicaciones/2022/06/10/43275/01/2140145.pdf>

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (s/f). *Colliguay (Colliguaja Odorifera)*. iNaturalist Chile. <https://inaturalist.mma.gob.cl/taxa/487719-Colliguaja-odorifera>

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (s/f). Definiciones Marco para la Restauración Ecológica. <https://restauracionecologica.mma.gob.cl/definiciones/>

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (s/f). Ficha de antecedentes de especies - *Prosopis chilensis (Molina)*. https://clasificacionespecies.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/10/Prosopis_chilensis_2711.pdf

Ministerio del Medio Ambiente. (2019). Avanza propuesta de Plan de Manejo para Santuario de la Naturaleza Humedales Costeros de Putú y Huenchullamí. <https://mma.gob.cl/avanza-propuesta-de-plan-de-manejo-para-santuario-de-la-naturaleza-humedales-costeros-de-putu-y-huenchullami/>

Ministerio de Tierras y Colonización. (1931). Decreto 4363 - Aprueba texto definitivo de la Ley de Bosques. Biblioteca del Congreso Nacional (BCN). <https://bcn.cl/2iwik>

Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MTT). (2012). Resolución 511 exenta – aprueba instrucciones de carácter general que hace menciona el decreto N°83, de 1985, sobre redes viales básicas. Biblioteca del Congreso Nacional (BCN). <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1038068>

MMA- ONU Medio Ambiente. (2020). Informe comuna de Curacaví. Estudio florístico y vegetacional en el área del Proyecto GEF Corredores Biológicos de Montaña. Desarrollado y financiado por: Proyecto GEFSEC ID 5135 MMA - ONU Medio Ambiente, a partir de base de datos levantada por Geobiota Consultores, en el marco de la consultoría: Clasificación y caracterización de los ecosistemas terrestres en el área del Proyecto GEF Corredores Biológicos de Montaña. Santiago, Chile. 17p.

MMA-ONU Medio Ambiente. (2021). Plan Maestro Borde Ríos Mapocho y Maipo: Comunas de Peñaflores; Talagante; El Monte e Isla de Maipo. Financiado en el marco del Proyecto GEFSEC ID 5135 Ministerio del Medio Ambiente – ONU Medio Ambiente. Santiago, Chile. 69 pp.

MMA-ONU Medio Ambiente. (2021). Guía de buenas prácticas ambientales en humedales Costeros de Chile. Elaborada por Juan José Ortiz-Sandoval, consultor

Proyecto GEF/SEC ID:9766 “Conservación de humedales costeros de la zona centro-sur de Chile”. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile. 104 p.

MMA-ONU Medio Ambiente. (2023). Guía de buenas prácticas ambientales en Humedales Costeros de Chile. Sector extracción de áridos. Elaborada por Juan José Ortiz-Sandoval, consultor Proyecto GEF/SEC ID:9766 “Conservación de humedales costeros de la zona centro-sur de Chile”. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile.

MMA. (2022). Noticias - Cambio climático: Chile sumará 14 años consecutivos de sequía y proyectan aumento en olas de calor. <https://mma.gob.cl/cambio-climatico-chile-sumara-14-anos-consecutivos-de-sequia-y-proyectan-aumento-en-olas-de-calor/>

MMA. (s/f). Sistema de Información y Monitoreo de Biodiversidad (SIMBIO) - Ecosistema terrestre “Bosque caducifolio mediterráneo costero de *Nothofagus macrocarpa* / *Ribes punctatum*”. <https://simbio.mma.gob.cl/Ecosistemas/Details/49#limites>

Möller, P. (2011). Las franjas de vegetación ribereña y su función de amortiguamiento, una consideración importante para la conservación de humedales. *Gestión Ambiental*. 96-106. https://www.researchgate.net/publication/259332396_Las_franjas_de_vegetacion_riberena_y_su_funcion_de_amortiguamiento_una_consideracion_importante_para_la_conservacion_de_humedales

Municipalidad de Curacaví. (s/f). Respira Curacaví - Flora y Fauna. <https://municipalidadcuracavi.cl/respira-curacavi/>

Muñoz, P. (2013). Apuntes de Teledetección: Índices de vegetación. Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). Chile. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/26389>

Muñoz-Pedrerros, A. (2004). La evaluación del paisaje: una herramienta de gestión ambiental. *Revista Chilena de Historia Natural*. 77 (1). 139-156. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2004000100011>

Musalem, M. (s/f). Corcolén celastrina (*Azara celastrina*). Pumahuida vivero y jardín. <https://www.pumahuida.cl/especies/corcolen-celastrina/>

Naciones Unidas. (2023). ¿Qué es el cambio climático? <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change>

- Naiman, R.J. & Décamps, H. (1997). The ecology of interfaces: Riparian Zones. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 28, 621-58. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.28.1.621>
- Naiman, R.J., Décamps, H., & McClain, M.E. (2005). Riparia: Ecology, Conservation, and Management of Streamside Communities. *Elsevier Academic Press*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-663315-3.X5000-X>
- Núñez, T. (2022). Conociendo la historia ambiental del Río Mapocho, el habitante más antiguo de la ciudad de Santiago. Ladera Sur. <https://laderasur.com/articulo/conociendo-la-historia-ambiental-del-rio-mapocho-el-habitante-mas-antiguo-de-la-ciudad-de-santiago/>
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). (2016). Protocolo de Agricultura Sustentable. <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/3-Protocolo-Agricultura-Sustentable.pdf>
- Ogihara, S. (s/f). Erosion control of Japan. <https://repository.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/esr009006>
- Ordenanza DGA N° 527 de 2019 [Dirección General de Aguas]. Informa sobre caudal ecológico Estero Puangue, Comuna de Curacaví. 24 de octubre de 2019.
- Ordenanza N° 2427 de 2019 [Ministerio de Obras Públicas]. Informa sobre caudal ecológico del Estero Puangue. 18 de noviembre de 2019.
- Otzen, T. & Manterola, C. (2017). Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *International Journal of Morphology*. 35(1), 227-232. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>
- Ovalle, C., & Quiroz, M. (2021). “Manual de prácticas agrícolas para una agricultura sustentable”. Boletín INIA N°426, 206 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias La Cruz. Chile.
- Palma, A., Figueroa, R. & Ruiz, V. (2009). Evaluación de ribera y hábitat fluvial a través de los índices QBR e IHF. *Gayana (Concepc.)*. 73(1): 57-63.
- Paul, M.J., & Meyer, J.L. (2001). Streams in the Urban Landscape. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 32, 333-365. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.32.081501.114040>
- Pedraza, M. (2021). Fitorremediación en cuerpos de agua contaminados por metales pesados. *Innova Biology Sciences*, 1(1), 61-78. <https://doi.org/10.58720/ibs.v1i1.6>

- Peredo, M., Martínez, F., Parada, E., Quevedo, D. & Olea, P. (2012). Informe final adaptación final de un índice de estado para zonas riparianas y su aplicación en el cuenca del Maipo. Secretaria Regional Ministerial del Medio Ambiente, Región Metropolitana de Santiago, Chile. 159 pp.
- Pérez Quezada, J. & Bown, H. (2015). Guía para la restauración de los ecosistemas andinos de Santiago. Santiago, Universidad de Chile - CONAF. https://investigacion.conaf.cl/archivos/repositorio_documento/2018/11/022_2012-MANUAL_-GUIA-.pdf
- Pinilla, J., Chung, P. & Navarrete, M. (2015). El Sauce chileno (*Salix humboldtiana*) en la región del Biobío y su potencial en bosques plantados. Santiago, Chile: INFOR. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/20998>
- Plissock, P. (2020). Análisis del estado actual de los ecosistemas terrestres, asociados a dos cuencas en Chile central: Maipo y Maule. Escenarios Hídricos 2030 Chile. <https://escenarioshidricos.cl/publicacion/analisis-del-estado-actual-de-los-ecosistemas-terrestres-asociados-a-dos-cuencas-en-chile-central-maipo-y-maule/>
- Poff, N., Allan, D., Bain, M., Karr, J., Prestegard, K., Richter, B., Sparks, R. & Stromberg, J. (1997). The Natural Flow Regime: A paradigm for river conservation and restoration. *BioScience*, 47 (11), 769-784.
- Prat, N., Rieradevall, M. & Fortuño, P. (2012). Metodologías F.E.M. para la evaluación del estado ecológico de los ríos Mediterráneos. Universidad de Barcelona. https://www.ub.edu/fem/docs/protocols/fem_%20prot_cast_2012.pdf
- Primack, R & Massardo, F. (2001). Restauración ecológica. Capítulo XIX, 559-579. En: Primack, R., Rozzi, R., Feinsinger, P., Dirzo, R., & Massardo, F. (2001). Fundamentos de Conservación Biológica: Perspectivas Latinoamericanas. Fondo de Cultura Económica. México. pp 636.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2017). Catálogo de las especies exóticas asilvestradas/naturalizadas en Chile. Laboratorio de Invasiones Biológicas (LIB) Universidad de Concepción, Proyecto GEF/MMA/PNUD Fortalecimiento de los Marcos Nacionales para la Gobernabilidad de las Especies Exóticas Invasoras: Proyecto Piloto en el Archipiélago de Juan Fernández. Santiago de Chile. 61 pp.
- Quiroz, C., Pauchard, A., Marticorena, A., & Cavieres, L. (2009). Manual de Plantas Invasoras del Centro-Sur de Chile. Laboratorio de Invasiones Biológicas (LIB), Concepción, Chile.

- Ramírez-Soto, A.F., García-Valencia, A., Trujillo-Santos, O., Sheseña-Hernández, I.M., Gutiérrez-Sosa, G.H., Gómez-Sánchez, I., Contreras-Huerta, I., Angón-Rodríguez, S.A., & García-Coll, I. (2022). Plantación en grupos de alta densidad (grupos Anderson-Miyawaki). En Soluciones basadas en Naturaleza (SbN) para enfrentar el cambio climático en zonas de montaña. La restauración ecológica como estrategia complementaria a la agroforestería. (pp. 84-87). CityAdapt, Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, México.
- Real Academia Española (RAE). (s/f). Definición Aeródromo. <https://dle.rae.es/aer%C3%B3dromo>
- Resolución de Calificación Ambiental 475/2003. [Servicio de Evaluación Ambiental]. Califica Ambientalmente Proyecto “Planta de Tratamiento de Aguas Servidas Curacaví”. 23 de octubre de 2003. Obtenido desde https://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=82935
- Riedemann, M., Aldunate, G. & Teillier, A. (2014). Arbustos nativos de la zona centro-sur de Chile. Guía de Campo. Ed. Corporación Chilena de la Madera, Concepción, Chile. 308 pp.
- Rodríguez, R. & Fica, B. (2020). Guía de Campo de Plantas Vasculares Acuáticas en Chile. Ed. Corporación Chilena de la Madera, Concepción, Chile. 216 pp.
- Rodríguez, R., Marticorena, C., Alarcón, D., Baeza, C., Cavieres, L., Finot, V., Fuentes, N., Kiessling, A., Mihoc, M., Puchard, A., Ruiz, E., Sánchez, P. & Marticorena, A. (2018). Catálogo de plantas vasculares de Chile. *Gayana Botánica*. 75(1): 1-430.
- Romero, F., Cozano, M., Gangas, R., & Naulin, P. (2014). Zonas ribereñas: protección, restauración y contexto legal en Chile. *SciELO, Bosque (Valdivia)*. Vol.35 no.1 <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002014000100001>
- Samalot, F. (2015). Cómo organizar un evento de limpieza en ríos, charcas y playas. Syracuse University. <https://efc.syr.edu/wp-content/uploads/2016/08/Como-organizar-un-evento.pdf>
- Sandoval, G. (2009). Análisis del proceso de cambio de uso y cobertura de suelo en la expansión urbana del Gran Valparaíso, su evolución y escenarios futuros. [Memoria de Título, Universidad de Chile]. Repositorio institucional de la Universidad de Chile <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/100106>
- Santibáñez, F. (2018). El cambio climático y los recursos hídricos de Chile. *AGRICULTURA CHILENA Reflexiones y Desafíos al 2030*. Oficinas de

Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). Santiago, Chile.
<https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2018/01/cambioClim12parte.pdf>

Seremi del Medio Ambiente Región del Biobío, Gobierno Regional de Biobío. (2020). Manual de técnicas básicas de restauración de ecosistemas forestales a escala de paisaje, Chile. 155 pp.

Seremi del Medio Ambiente Región del Biobío, Gobierno Regional de Biobío. (2020). Restauración del Ecosistema Cayumanque, una experiencia de restauración a escala de paisaje desde la institucionalidad pública, Chile. 155 pp.

SERFOR (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre), Biodiversity – Perú, ICRAF. (2018). Experiencias de restauración en el Perú. Lecciones aprendidas. Lima, Perú.

Silva, P., Vergara, W. & Acevedo, E. (2015). Rotación de cultivos [en línea]. Chillan: INIA Quilamapu. Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 308. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/7859>

Smith-Ramírez, C., González, M., Echeverría, C. & Lara, A. (2015). Estado actual de la Restauración ecológica en Chile, perspectivas y desafíos. *Anales del Instituto de la Patagonia*. Chile. 43(1): 11-21.

Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group. (2004). The SER International Primer on Ecological Restoration. <https://www.ser-rrc.org/resource/the-ser-international-primer-on/>

Sycamore Land Trust. (s/f). Touch The Earth Natural Area. <https://sycamorelandtrust.org/preserves/touch-the-earth-natural-area/>

Tapia, G. (2014). Informe técnico - Inventario de Cuencas, Subcuencas, y Subsubcuencas de Chile. División de Estudios y Planificación - Dirección General de Aguas (DGA). Santiago. <https://snia.mop.gob.cl/sad/CUH5690.pdf>

Tokugawa K & Vargas R. (1997) Control de erosión y forestación en cuencas hidrográficas de la zona semiárida de Chile. Informe intermedio de Control de Erosión. [s.l.]: CONAF: JICA.

Tribunal Ambiental. (2023). Tribunal anuló declaratoria del humedal urbano Estero El Puangue y ordenó al Ministerio del Medio Ambiente realizar nuevamente el procedimiento. <https://tribunalambiental.cl/tribunal-anulo-declaratoria-del-humedal-urbano-estero-el-puangue-y-ordeno-al-ministerio-del-medio-ambiente-realizar-nuevamente-el-procedimiento/>

- Tsuruta, K., Makita, M., Shioya, M., Suzuki, R. & Takayashiki, M. (1998). Control de erosión y forestación en cuencas hidrográficas de la zona semiárida de Chile. Informe final. [s.l.]: CONAF: JICA.
- Turner, M.G., Gardner, R.H., & O'Neill, R.V. (2001). *Landscape Ecology in Theory and Practice*. Estados Unidos, New York: Springer.
- Vanegas, M. (2016). Manual de mejores prácticas de restauración de ecosistemas degradados, utilizando para reforestación sólo especies nativas en zonas prioritarias. Informe final dentro del proyecto GEF 00089333 “Aumentar las capacidades de México para manejar especies exóticas invasoras a través de la implementación de la Estrategia Nacional de Especies Invasoras”. CONAFOR, CONABIO, GEF-PNUD. México.158 pp.
- Vargas, R. (2021). “Recuperación de áreas Degradadas I”, Curso electivo de especialización, Módulo: Aplicación de medidas. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile.
- Vargas, R. (2022). “Gestión integral de cuencas”, Curso de Cátedra, Módulo: Gestión integral de cuencas. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile.
- Vázquez, G., Martínez, M. & García-Franco, J. (s/f). La función de la vegetación ribereña y la calidad de los ríos. Instituto de Ecología (INECOL). <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/1014-la-funcion-de-la-vegetacion-riberena-y-la-calidad-de-los-rios>
- Vila Subirós, J., Varga Linde, D., Llausàs Pascual, A., & Ribas Palom, A. (2006). Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (landscape ecology). Una interpretación desde la geografía. *Documents d' Analisi Geogràfica*, 48.151-166.
- Yajure, J. (2021). El sorprendente método Miyawaki de restauración ecológica y creación de bosques de rápido crecimiento que ya está en Chile. *Ladera Sur*. <https://laderasur.com/articulo/el-sorprendente-metodo-miyawaki-de-restauracion-ecologica-y-creacion-de-bosques-de-rapido-crecimiento-que-ya-esta-en-chile/>
- Zañartu, N. (2024). Frente de Río: el proyecto que se ha dedicado a recuperar la biodiversidad del río Mapocho en Talagante. *Ladera Sur*. <https://laderasur.com/articulo/frente-de-rio-el-proyecto-que-se-ha-dedicado-a-recuperar-la-biodiversidad-del-rio-mapocho-en-talagante/>

ANEXOS

Anexo 1: Métricas de paisajes aplicada

Nivel de métricas	Métricas del paisaje	Sigla	Descripción	Rango
Clase (Class)	Área total (Class area)	CA/TA	Es una medida de la composición del paisaje, es decir, de la proporción del paisaje que esta constituida por un tipo particular de manchas. Además de su valor interpretativo directo, él área de clase se utilizan en los cálculos de las métricas de clase o paisaje.	CA > 0, Sin limite. CA se aproxima a 0 a medida que el tipo de parche se vuelve cada vez más raro en el paisaje. CA = TA cuando todo el paisaje está formado por un único tipo de parche, es decir, cuando toda la imagen está formada por un único tipo de parche
	Número de Parches (Number of Patches)	NP	El NP de un tipo de parche concreto es una medida sencilla del grado de subdivisión o fragmentación del tipo de parche.	NP ≥ 1, Sin limite. NP = 1 cuando el paisaje contiene sólo 1 parche, es decir, cuando la clase consta de un único parche.
	Índice del parche más grande (Largest Patch Index)	LPI	A nivel de clase cuantifica el porcentaje de la superficie total del paisaje. Como tal, es una medida simple de dominancia.	0 < LPI ≤ 100 LPI se aproxima a 0 cuando el parche más grande del tipo de parche correspondiente es cada vez más pequeño. LPI = 100 cuando todo el paisaje esta formado por un único parche del tipo de parche correspondiente, es decir, cuando el parche más grande comprende el 100% del paisaje.
	Porcentaje del paisaje (Percentage of Landscape)	PLAND	El porcentaje del paisaje cuantifica la abundancia proporcional de cada tipo de parche en el paisaje. Al igual que el área total de la clase, es una medida de composición del paisaje importante en muchas aplicaciones ecológicas.	0 < PLAND ≤ 100. PLAND se aproxima a 0 cuando el tipo de parche correspondiente (clase) se vuelve cada vez más raro en el paisaje. PLAND = 100 cuando todo el paisaje consiste en un único tipo de parche, es decir, cuando toda la imagen se compone de un parche.
	Distancia Euclidiana media del vecino más próximo (Euclidean Mean Nearest Neighbor Distance)	ENN_MN	Es la medida más sencilla y se ha utilizado para cuantificar el aislamiento de los parches. El ENN_MN se define mediante la geometría euclidiana simple como la distancia rectilínea más corta entre la mancha focal y su vecina más cercana de la misma clase. En específico, este solo se puede calcular si hay al menos dos parches del tipo correspondiente.	ENN_MN > 0, Sin limite. ENN_MN se aproxima a 0 a medida que disminuye la distancia al vecino más próximo.

Clase (Class)	Índice de Cohesión del Parche (Patch Cohesion Index)	COHESION	Este índice mide la conexión física del tipo de parche correspondiente. Por debajo del umbral de percolación, la cohesión del parche es sensible a la agregación de la clase focal. La cohesión del parche aumenta a medida que el tipo de parche se vuelve más agrupado o agregado en su distribución; por lo tanto, más conectados físicamente. Por encima del umbral de percolación, la cohesión del parche no parece ser sensible a la configuración del parche.	$0 < \text{COHESIÓN} < 100$ La COHESIÓN se aproxima a 0 a medida que la proporción del paisaje compuesto por la clase focal disminuye y se vuelve cada vez más subdividida y menos conectada físicamente. La COHESIÓN aumenta monótonamente a medida que aumenta la proporción del paisaje compuesto por la clase focal hasta que se alcanza una asíntota cerca del umbral de percolación. La COHESIÓN es igual a 0 si el paisaje está formado por una única celda sin fondo.
Paisaje (Landscape)	Índice de Diversidad de Shannon (Shannon's Diversity Index)	SHDI	El índice de Shannon es algo más sensible a los tipos de parches raros que el índice de diversidad de Simpson. Este valora la diversidad paisajística, es decir, la heterogeneidad a partir de la diversidad de fragmentos. Su valor absoluto no es muy significativo, pero es útil para comprar distintos paisajes o un mismo paisaje en distintos momentos temporales.	$\text{SHDI} \geq 0$, Sin límite. $\text{SHDI} = 0$ cuando el paisaje contiene solo 1 parche (es decir, sin diversidad). El SHDI aumenta a medida que aumenta el número de tipos de parches.
	Índice de Diversidad de Simpson (Simpson's Diversity Index)	SIDI	El índice de Simpson es menos sensible a la presencia de tipos raros y tiene una interpretación mucho más intuitiva que el índice de Shannon. En concreto, el valor del índice de Simpson representa la probabilidad de que 2 píxeles seleccionados de forma aleatoria sean diferentes. Cuanto mayor es su valor, superior es la diversidad paisajística o heterogeneidad.	$0 \leq \text{SIDI} < 1$ $\text{SIDI} = 0$ cuando el paisaje contiene sólo 1 parche (es decir, no hay diversidad). SIDI se aproxima a 1 a medida que aumenta el número de tipos de parches diferentes y se logra una distribución más equitativa de la superficie entre los tipos de parches.

Fuente: McGarigal, 2015.

Anexo 2: Tipología de uso y cobertura

Uso / Cobertura	Definición	Criterios de identificación
<p>Área Urbana Consolidada (Se divide la categoría “Ciudades pueblos zonas industriales”, considerando solo “Ciudades”)</p>	<p>Se entiende como superficie donde hay densidad de población y concentración espacial de estructuras físicas, tales como construcciones, infraestructura vial y viviendas (INE & MINVU, 2018).</p>	<p>Polígono que concentra estructuras continuas, se distinguen amanzanamientos, así como cercanía entre construcciones. Adicionalmente, es una superficie donde predomina el de color gris o similares.</p>
<p>Área rural (Se divide la categoría “Ciudades pueblos zonas industriales”, considerando solo “Pueblos” u otro asentamiento de menor tamaño, destacándose parcelaciones)</p>	<p>Se entiende como un conjunto menor de entidades que reúnen los criterios de población para ser definidas como urbanas, pero no con los requisitos de amanzanamientos, continuidad o concentración de construcciones (González, 2019).</p>	<p>Polígono que concentra estructuras en su mayoría rectangulares, donde hay mayor distancia entre ellas. Los colores predominantes suelen ser entre gris, café, e incluso verde.</p>
<p>Cursos y cuerpo de agua (Se agrupan las categorías “Cajas de ríos” y “Lagos lagunas embalses”)</p>	<p>Según CONAF (2022): <u>Cajas de ríos</u>: Se consideran zonas sin agua ni vegetación, con arenales, rocas o mezclas de ambas. <u>Lagos, lagunas, embalses y tranques</u>: uso para acumulación de agua como tal, no se consideran embalses de relave.</p>	<p>Los primeros son polígonos, pero más alargados, más similares a líneas. En cambio, los segundos son polígonos cuadrados o rectangulares. Ambos se visualizan a través del color azul o similar.</p>
<p>Vegetación dispersa (Se agrupan las categorías de “Praderas”, “Matorral”, “Matorral arborescente”, “Matorral con suculentas”, “Matorral pradera”)</p>	<p>Según CONAF (2022): <u>Pradera y Matorrales</u>: se refiere a formaciones herbáceas, arbustivas y arbustivo-herbáceas. <u>Matorral-Pradera</u>: uso de la tierra donde se combina el matorral que lo define la especie arbustiva, y en algún nivel de dominancia deben ir especies de pradera principalmente. <u>Matorral</u>: Predominan especies arbustivas o arbóreas menores a dos metros. <u>Matorral arborescente</u>: formación arbustivas con presencia de algunas especies arbóreas de más de dos metros de forma aislada. <u>Matorral con suculentas</u>: Domina el matorral con presencia de suculentas.</p>	<p>Polígonos heterogéneos, cubre superficie donde hay muy poca o casi nula vegetación a zonas donde la vegetación es mayor pero no lo suficiente para cubrir toda la superficie al punto de no ver el suelo. Se suelen ver colores verdes o cafés.</p>
<p>Vegetación densa (Se considera a la categoría “Nativo”)</p>	<p><u>Bosque nativo</u>: ecosistema en el cual el estrato arbóreo está constituido por especies nativas que presentan una altura de 2 metros o más, que ocupa una superficie de por lo menos 5.000 metros cuadrados, con un ancho mínimo de 40 metros, con cobertura de copa arbórea que supere el 10% de dicha superficie total en condiciones áridas y semiáridas y el 25% en circunstancias más favorable (CONAF, 2022; BCN, 2008).</p>	<p>Polígonos heterogéneos, donde la vegetación es tan densa que no se observa el suelo como tal, y está representada a través de un verde oscuro.</p>

<p>Zona de uso agrícola (Se agrupan las categorías de “Terrenos de uso agrícola” y “Rotación cultivo pradera”)</p>	<p>Según CONAF (2022): <u>Terreno de uso agrícola:</u> Cultivos permanentes que no rotan, incluye frutales, viñedos y otros. Además, sectores destinados a la ganadería. <u>Rotación de cultivo:</u> Cultivos anuales o de rotación, pastos, forraje, hortalizas, cereales u otros cultivos anuales.</p>	<p>Polígono que en su superficie tiene formas de parches. Sus colores varían entre café y/o distintos tipos de verdes.</p>
<p>Zona de uso industrial (Se divide la categoría “Ciudades pueblos zonas industriales”, considerando solo “Zonas industriales”)</p>	<p>Superficie artificial sin vegetación que ocupa la mayoría del área; contiene grandes construcciones, tales como fabricas e instalaciones antrópicas que tienen relación con el procesamiento de alguna materia prima (Sandoval, 2009).</p>	<p>Polígono que contiene infraestructura grande y uniforme, en sus alrededores no tiende a tener vegetación. Sus colores son entre plateados, blancos o similares</p>
<p>Zona de uso forestal (Se considera la categoría “Plantaciones”)</p>	<p><u>Plantaciones:</u> consiste en el establecimiento artificial de especies naturales o exóticas (CONAF, 2022).</p>	<p>Polígono que se encuentra estructurada o con patrones notorios como filas de vegetación, en este caso la vegetación se encuentra verde ya que por lo general se encuentra bosques juveniles o adultos.</p>
<p>Afloramiento rocoso (Se considera la categoría “Afloramientos rocosos”)</p>	<p>Corresponden principalmente a áreas con rocas (CONAF, 2022).</p>	<p>Polígono que no tiene vegetación y se observa roca con algún tipo de erosión presente (patrones lineales) y tienen formas irregulares. Sus colores tienden a ser más claras, no obstante, se representa por él color café.</p>
<p>Infraestructura de transporte (Se agrega esta clasificación donde se considera la red vial e infraestructura principal)</p>	<p>Red vial básica: se entiende al conjunto de vías, dentro del radio urbano, se caracteriza por la intensidad del tránsito de vehículos que soportan, velocidad de flujos, accesibilidad hacia o desde otras vías y distancia de los viajes (MTT, 2012).</p> <p>Aeródromo: Terreno llano provisto de pistas y demás instalaciones necesarias para el despegue y aterrizaje de aviones (RAE, s/f)</p>	<p>El primero es representado a través de líneas o polígonos alargados. Mientras que, que el segundo es un polígono rectangular. Sus colores son más oscuros (cuando la red vial esta pavimentada), sin embargo, también hay caminos de color café. Son áreas sin vegetación.</p>

Fuente: Elaboración en base a Sandoval 2009

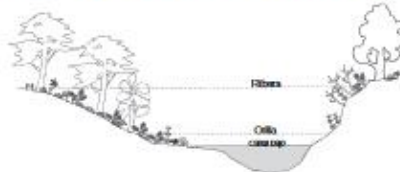
Anexo 3: Hoja de campo del índice QBR para ríos mediterráneos no efímeros

Índice QBR (ríos mediterráneos no efímeros) - Hoja de campo A 1/2

Esta calificación debe ser aplicada en toda la zona de ribera de los ríos (orilla y ribera propiamente dicha): zonas inundadas periódicamente por las avenidas ordinarias y las máximas.

Los cálculos se realizarán sobre el área que presenta una potencialidad de soportar una masa vegetal en la ribera. No se contemplan las zonas con sustrato duro donde no puede enraizar una masa vegetal permanente.

El índice no es aplicable a las zonas más altas de las cuencas donde no existe, de forma natural, vegetación arbórea. En ríos no efímeros, utilizar la hoja de campo A.



Punto de muestreo:	
Fecha:	Hora:
Operador/a:	

La puntuación de cada uno de los 4 apartados no puede ser negativa ni exceder de 25

Grado de cobertura de la zona de ribera (las plantas anuales no se contabilizan) Puntuación entre 0 y 25

Puntuación		
1a	25	> 80 % de cobertura vegetal de la zona de ribera
1b	10	50-80 % de cobertura vegetal de la zona de ribera
1c	5	10-50 % de cobertura vegetal de la zona de ribera
1d	0	< 10 % de cobertura vegetal de la zona de ribera
1/	+ 10	conectividad total entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente
1ii	+ 5	conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente superior al 50%
1iii	- 5	conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente entre el 25 y 50%
1iv	- 10	conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente inferior al 25%

Estructura de la cobertura (se considera únicamente la zona de ribera con cubierta vegetal) Puntuación entre 0 y 25

Puntuación (depende del grado de cubierta de la ribera)					
	1a	1b	1c	1d	
2a	25	10	5	0	cobertura de árboles superior al 75 %
2b	10	5	0	0	cobertura de árboles entre el 50 y 75 % o cobertura de árboles* entre el 25 y 50 % y en el resto de la cubierta los arbustos superan el 25 %
2c	5	0	0	0	cobertura de árboles inferior al 50 % y el resto de la cubierta con arbustos entre 10 y 25 %
2d	0	0	0	0	sin árboles
2/	+ 10				en la orilla la concentración de helófitos, arbustos o herbazal megafórbico* es > 50 %
2ii	+ 5				en la orilla la concentración de helófitos, arbustos o herbazal megafórbico* es >25 y <50 %
2iii	+ 5				si los árboles tienen un sotobosque arbustivo
2iv	- 5				hay una distribución regular (linealidad) en los pies de los árboles y el sotobosque > 50 %
2v	- 5				los árboles y arbustos se distribuyen en manchas, sin continuidad
2vi	- 5				no existe sotobosque consolidado (exceptuando las zonas con una elevada pedregosidad)*
2vii	- 10				hay una distribución regular (linealidad) en los pies de los árboles y el sotobosque es < 50 %

Calidad de la cobertura (depende del tipo geomorfológico de la zona de ribera**) Puntuación entre 0 y 25

Puntuación			Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
3a	25	número de especies de árboles autóctonos	> 1	> 2	> 3
3b	10	número de especies de árboles autóctonos	1	2	3
3c	5	número de especies de árboles autóctonos	-	1	1 - 2
3d	0	sin árboles autóctonos			
3/	+ 10	si la comunidad forma una franja longitudinal continua adyacente al canal fluvial en más del 75% de la longitud del tramo			
3ii	+ 5	si la comunidad forma una franja longitudinal continua adyacente al canal fluvial entre el 50 y el 75% de la longitud del tramo			
3iii	+ 5	si las distintas especies se disponen en bandas paralelas al río			
3iv	+ 5	si el número de especies de arbustos autóctonos es:	> 2	> 3	> 4
3v	- 5	si existen estructuras construidas por el hombre			
3vi	- 5	si hay alguna especie perenne alóctona*** aislada			
3vii	- 10	si existen especies perennes alóctonas*** formando comunidades			
3viii	- 10	si hay vertidos de basuras			

Grado de naturalidad del canal fluvial Puntuación entre 0 y 25

Puntuación		
4a	25	el canal del río no ha sido modificado
4b	10	modificaciones de las terrazas adyacentes al lecho del río con reducción del canal
4c	5	signos de alteración y estructuras rígidas intermitentes que modifican el canal del río
4d	0	río canalizado en la totalidad del tramo
4/	- 10	si existe alguna estructura sólida dentro del lecho del río
4ii	- 10	si existe alguna presa u otra infraestructura transversal al lecho del río

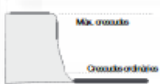



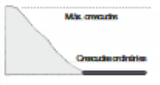

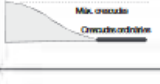
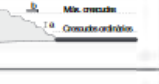




Puntuación final (suma de las puntuaciones anteriores)

Índice QBR (ríos mediterráneos no efímeros) - Hoja de campo A 2 / 2

* De aplicación sólo en tramos situados a más de 800 metros de altitud

** Determinación del tipo geomorfológico de la zona de ribera (apartado 3, calidad de la cobertura)

Sumar el tipo de desnivel de la derecha y de la izquierda de la orilla, y sumar o restar según los otros dos apartados.

Tipo de desnivel de la zona riparia	Puntuación	
	Izquierda	Dcha.
Vertical/cóncavo (pendiente > 75°), con una altura no superable por las máximas avenidas		
Igual pero con un pequeño talud o orilla inundable periódicamente (avenidas ordinarias)		
Pendiente entre el 45 y 75 °, escalonada o no. La pendiente se contabiliza con el ángulo entre la horizontal y la recta entre el cauce y el último punto de la ribera. $\sum a > \sum b$		
Pendiente entre el 20 y 45 °, escalonado o no. $\sum a < \sum b$		
Pendiente < 20 °, ribera uniforme y llana.		
Existencia de una isla o islas en el medio del lecho del río		
Anchura conjunta "a" > 5 m.		- 2
Anchura conjunta "a" entre 1 y 5 m.		- 1
Porcentaje de sustrato duro con incapacidad para enraizar una masa vegetal permanente		
> 80 %	No se puede medir	
60 - 80 %	+ 6	
30 - 60 %	+ 4	
20 - 30 %	+ 2	
Puntuación total		
Tipo geomorfológico según la puntuación		
> 8	Tipo 1	Riberas cerradas, normalmente de cabecera, con baja potencialidad de un bosque de ribera extenso
entre 5 y 8	Tipo 2	Riberas con una potencialidad intermedia de soportar una zona vegetada, tramos medios de los ríos
< 5	Tipo 3	Riberas extensas, con elevada potencialidad de tener un bosque extenso, tramos bajos de los ríos

Fuente: Agencia Catalana del Agua, 2006.

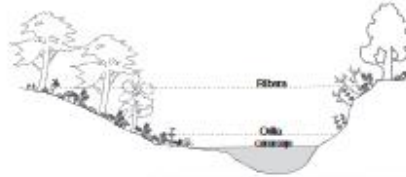
Anexo 4: Hoja de campo del índice QBR para ríos mediterráneos efímeros

Índice QBR (ríos efímeros) – Hoja de campo B 1 / 2

Esta calificación debe ser aplicada en toda la zona de ribera de los ríos (orilla y ribera propiamente dichas); zonas inundadas periódicamente por las avenidas ordinarias y las máximas.

Los cálculos se realizarán sobre el área que presenta una potencialidad de soportar una masa vegetal en la ribera. No se contemplan las zonas con sustrato duro donde no puede enraizar una masa vegetal permanente.

El índice no es aplicable a las zonas más altas de las cuencas donde no existe, de forma natural, vegetación arbórea. En ríos no efímeros, utilizar la hoja de campo A.



Punto de muestreo:	
Fecha:	Hora:
Operador/a:	

La puntuación de cada uno de los 4 apartados no puede ser negativa ni exceder de 25

Grado de cobertura de la zona de ribera (las plantas anuales no se contabilizan) Puntuación entre 0 y 25

Puntuación		
1a	25	> 50 % de cubierta vegetal de la zona de ribera
1b	10	30-50 % de cubierta vegetal de la zona de ribera
1c	5	10-30 % de cubierta vegetal de la zona de ribera
1d	0	< 10 % de cubierta vegetal de la zona de ribera
1i	+ 10	conectividad total entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente
1ii	+ 5	conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente superior al 50%
1iii	- 5	conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente entre el 25 y 50%
1iv	-10	conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente inferior al 25%

Estructura de la cobertura (se considera solamente la zona de ribera con cubierta vegetal) Puntuación entre 0 y 25
 Puntuación (depende del grado de cubierta de la zona de ribera)

Puntuación					
1a	1b	1c	1d		
2a	25	10	5	0	cobertura de árboles* superior al 75 %
2b	10	5	0	0	cobertura de árboles* entre el 50 y 75 % o cobertura de árboles* entre el 25 y 50 % y en el resto de la cubierta los arbustos superan el 25 %
2c	5	0	0	0	cobertura de árboles* inferior al 50 % y el resto de la cubierta con arbustos entre 10 y 25 %
2d	0	0	0	0	sin árboles*
2i	+ 10				si en la orilla la concentración de helófitos o arbustos es superior al 50 %
2ii	+ 5				si en la orilla la concentración de helófitos o arbustos es entre 25 y 50 %
2iii	+ 5				si los árboles tienen un sotobosque arbustivo
2iv	- 5				si hay una distribución regular (linealidad) en los pies de los árboles y el sotobosque > 50 %
2v	- 5				si los árboles y arbustos se distribuyen en manchas, sin una continuidad
2vii	- 10				si hay una distribución regular (linealidad) en los pies de los árboles y el sotobosque < 50 %

Calidad de la cobertura (depende del tipo geomorfológico de la zona de ribera)** Puntuación entre 0 y 25

Puntuación			Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
3a	25	número de especies de árboles* autóctonos	> 1	> 2	> 3
3b	10	número de especies de árboles* autóctonos	1	2	3
3c	5	número de especies de árboles* autóctonos	-	1	1 - 2
3d	0	sin árboles* autóctonos			
3i	+ 10	si la comunidad forma una franja longitudinal continua adyacente al canal fluvial en más del 75% de la longitud del tramo			
3ii	+ 5	si la comunidad forma una franja longitudinal continua adyacente al canal fluvial entre el 50 y el 75% de la longitud del tramo			
3iii	+ 5	si las distintas especies se disponen en bandas paralelas al río			
3iv	+ 5	si el número de especies de arbustos autóctonos es:	> 2	> 3	> 4
3v	- 5	si existen estructuras construidas por el hombre			
3vi	- 5	si hay alguna especie perenne alóctona*** aislada			
3vii	- 10	si existen especies perennes alóctonas*** formando comunidades			
3viii	- 10	si hay vertidos de basuras			

Grado de naturalidad del canal fluvial Puntuación entre 0 y 25

Puntuación		
4a	25	el canal del río no ha sido modificado
4b	10	modificaciones de las terrazas adyacentes al lecho del río con reducción del canal
4c	5	signos de alteración y estructuras rígidas intermitentes que modifican el canal del río
4d	0	río canalizado en la totalidad del tramo
4i	- 10	si existe alguna estructura sólida dentro del lecho del río
4ii	- 10	si existe alguna presa u otra infraestructura transversal al lecho del río

Puntuación final (suma de las anteriores puntuaciones)

* Se consideran los árboles con porte arbustivo y también los arbustos con porte arbóreo (altura superior a 1,5 m)

** Determinación del tipo geomorfológico de la zona de ribera (apartado 3, calidad de la cobertura)

Sumar el tipo de desnivel de la derecha y de la izquierda de la orilla, y sumar o restar según los otros dos apartados.

Tipo de desnivel de la zona riparia	Puntuación			
	Izquierda	Derecha		
Vertical/cóncavo (pendiente > 75°), con una altura no superable por las máximas avenidas			6	6
Igual pero con un pequeño talud u orilla inundable periódicamente (avenidas ordinarias)			5	5
Pendiente entre el 45 y 75 °, escalonada o no. La pendiente se contabiliza con el ángulo entre la horizontal y la recta entre el cauce y el último punto de la ribera. $\sum a > \sum b$			3	3
Pendiente entre el 20 y 45 °, escalonado o no. $\sum a < \sum b$			2	2
Pendiente < 20 °, ribera uniforme y llana.			1	1
Existencia de una isla o islas en el medio del lecho del río				
Anchura conjunta "a" > 5 m.				- 2
Anchura conjunta "a" entre 1 y 5 m.				- 1
Porcentaje de sustrato duro con incapacidad para enraizar una masa vegetal permanente				
> 80 %			No se puede medir	
60 - 80 %			+ 6	
30 - 60 %			+ 4	
20 - 30 %			+ 2	
Puntuación total				

Tipo geomorfológico según la puntuación

> 8	Tipo 1	Riberas cerradas, normalmente de cabecera, con baja potencialidad de un bosque de ribera extenso
entre 5 y 8	Tipo 2	Riberas con una potencialidad intermedia de soportar una zona vegetada, tramos medios de los ríos
< 5	Tipo 3	Riberas extensas, con elevada potencialidad de tener un bosque extenso, tramos bajos de los ríos

Fuente: Agencia Catalana del Agua, 2006.

Anexo 5: Hoja de campo del Índice de Hábitat Fluvial (IHF)

Evaluación del Hábitat Fluvial para Ríos Mediterráneos. Índice IHF - Hoja de campo

Punto de muestreo	
Fecha	Hora
Operador/a	

Bloques **Puntuación**

1. Inclusión en rápidos-sedimentación en pozas

Rápidos	Piedras, cantos y gravas no fijadas por sedimentos finos. Inclusión 0 - 30%.	10	
	Piedras, cantos y gravas poco fijadas por sedimentos finos. Inclusión 30 - 60%.	5	
	Piedras, cantos y gravas medianamente fijadas por sedimentos finos. Inclusión > 60%.	0	
Sólo pozas	Sedimentación 0 - 30%	10	
	Sedimentación 30 - 60%	5	
	Sedimentación > 60%	0	
TOTAL (una categoría)			

2. Frecuencia de rápidos

Alta frecuencia de rápidos. Relación distancia entre rápidos / anchura del río < 7	10	
Escasa frecuencia de rápidos. Relación distancia entre rápidos / anchura del río 7 - 15	8	
Presencia ocasional de rápidos. Relación distancia entre rápidos / anchura del río 15 - 25	6	
Constancia de flujo laminar o rápidos escasos. Relación distancia entre rápidos/anchura del río >25	4	
Sólo pozas	2	
TOTAL (una categoría)		

3. Composición del sustrato

% Bloques y piedras	1 - 10%	2	
	> 10%	5	
% Cantos y gravas	1 - 10%	2	
	> 10%	5	
% Arena	1 - 10%	2	
	> 10%	5	
% Limo y arcilla	1 - 10%	2	
	> 10%	5	
TOTAL (suma de categorías)			

4. Regimenes de velocidad / profundidad

somero: < 0.5 m
lento: < 0.3 m/s

4 categorías. Lento-profundo, lento-somero, rápido-profundo y rápido-somero.	10	
Sólo 3 de las 4 categorías	8	
Sólo 2 de las 4 categorías	6	
Sólo 1 de las 4 categorías	4	
TOTAL (una categoría)		

5. Porcentaje de sombra en el cauce

Sombreado con ventanas	10	
Totalmente en sombra	7	
Grandes claros	5	
Expuesto	3	
TOTAL (una categoría)		

6. Elementos de heterogeneidad

Hojasasca	> 10% o < 75%	4	
	1 - 10% o > 75%	2	
Presencia de troncos y ramas		2	
Raíces expuestas		2	
Diques naturales		2	
TOTAL (suma de categorías)			

7. Cobertura de vegetación acuática

% Plocon + briófitos	10 - 50%	10	
	1 - 10% ó > 50%	5	
% Pecton	10 - 50%	10	
	1 - 10% ó > 50%	5	
% Fanerógamas + Charales	10 - 50%	10	
	1 - 10% ó > 50%	5	
TOTAL (suma de categorías)			

PUNTUACIÓN FINAL (suma de las puntuaciones anteriores)

La puntuación de cada uno de los apartados no puede exceder la expresada en la siguiente tabla:

Inclusión en rápidos - sedimentación en pozas	10
Frecuencia de rápidos	10
Composición del sustrato	20
Regimenes de velocidad / profundidad	10
Porcentaje de sombra en el cauce	10
Elementos de heterogeneidad	10
Cobertura de vegetación acuática	30

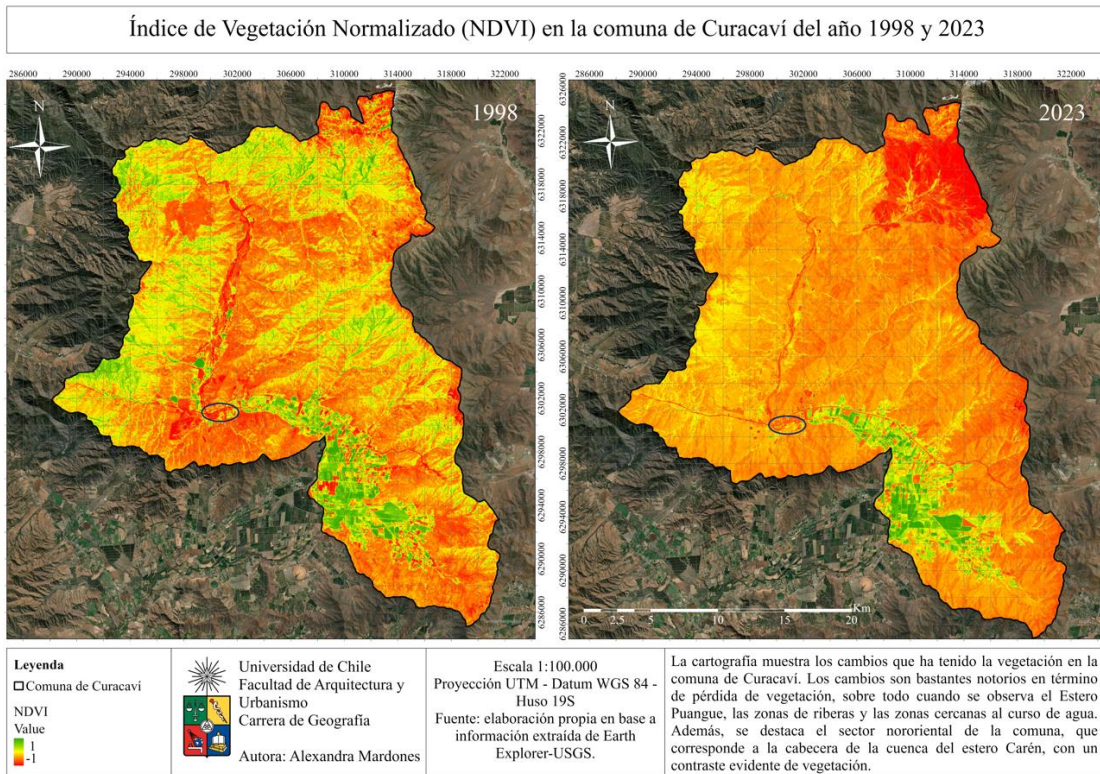
Fuente: Agencia Catalana del Agua, 2006.

Anexo 6: Encuesta de percepción sobre el estado actual del Estero Puangue

Edad				
¿Su lugar de residencia es la comuna de Curacaví?				
Si		No		
¿Usted conoce el estero Puangue?				
Si	Solo ha escuchado sobre el	No está seguro	No	No le interesa
¿Usted sabe lo que es la zona ribereña?				
Si	Solo ha escuchado el concepto	No está seguro	No	No le interesa
¿Usted considera que el Estero Puangue se encuentra degradado? <i>Entiéndase por degradación cuando hay una reducción, desgaste, deterioro o alteración, en este caso del Estero Puangue.</i>				
Si		No		
¿Qué grado de degradación le colocaría usted al Estero Puangue?, específicamente al tramo del estero que pasa por la parte urbana y periurbana de la comuna.				
Completamente degradado	Bastante degradado	Regularmente degradado	Poco degradado	Sin degradación
¿Cuál de los factores que se mencionan a continuación, considera que degrada el Estero Puangue?, selecciones las que considere más importante.				
<ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Diminución de precipitaciones <input type="radio"/> Demanda de agua potable <input type="radio"/> Riego <input type="radio"/> Extracción de áridos <input type="radio"/> Vertimiento de aguas residuales no tratadas <input type="radio"/> Desechos industriales y agroquímicos <input type="radio"/> Actividad minera <input type="radio"/> Hidroelectricidad <input type="radio"/> Contaminación por basura 				
¿Existe una causa de la degradación del tramo del Estero Puangue que pasa por la parte urbana y periurbana de la comuna de Curacaví, que tenga como origen un proceso que se dé en un sector de aguas arribas del tramo mencionado? Si su respuesta es afirmativa, por favor indique cuál o cuáles y en dónde o qué lugar se origina(n) cada una de las dicha(s) fuente(s)				
¿Usted implementaría medidas para restaurar y mejorar la calidad de la zona ribereña?				
Si		No		
¿Cuál de las medidas de restauración expuestas a continuación considera que deben aplicarse?				
<ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Establecer zonas de protección en la ribera del estero <input type="radio"/> Reforestación con vegetación nativa y endémica <input type="radio"/> Prácticas de agricultura sustentable y extracción de áridos <input type="radio"/> Control de especies invasoras <input type="radio"/> Señalética informativa y educacional <input type="radio"/> Jornada de limpieza comunitaria <input type="radio"/> Medidas de control de erosión <input type="radio"/> Fito-remediación para aguas contaminadas 				

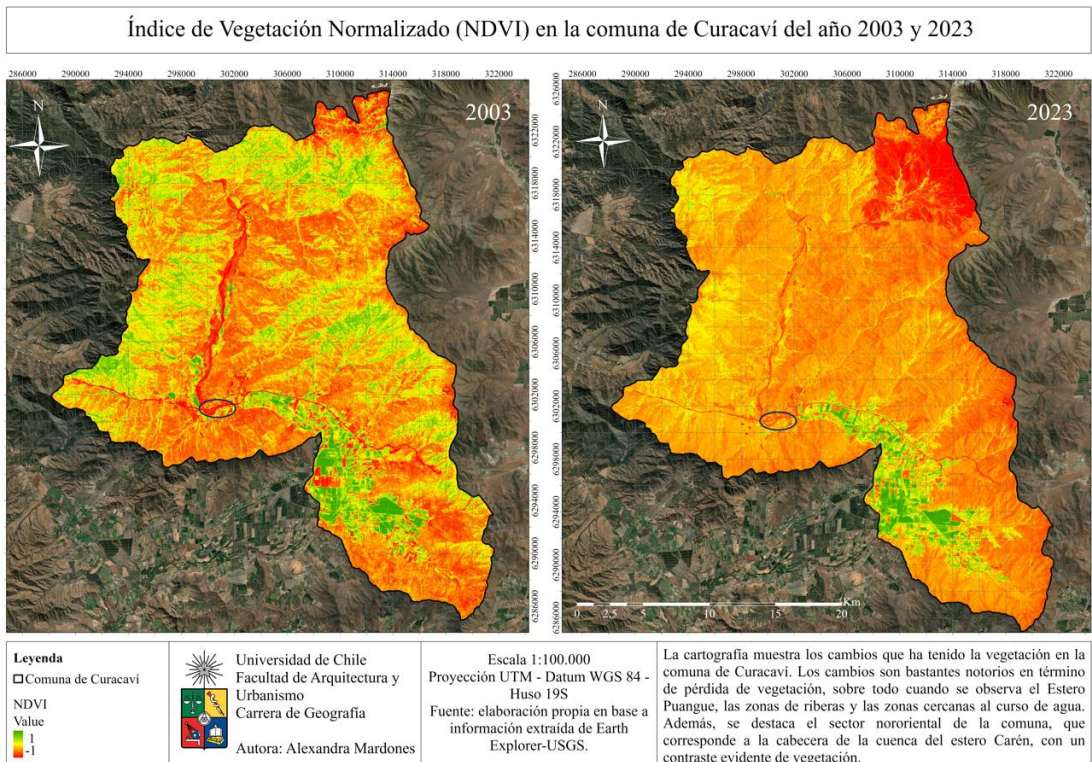
Fuente: Elaboración propia, 2024

Anexo 7: Cartografía del índice NDVI en la comuna de Curacaví de los años 1998 y 2023



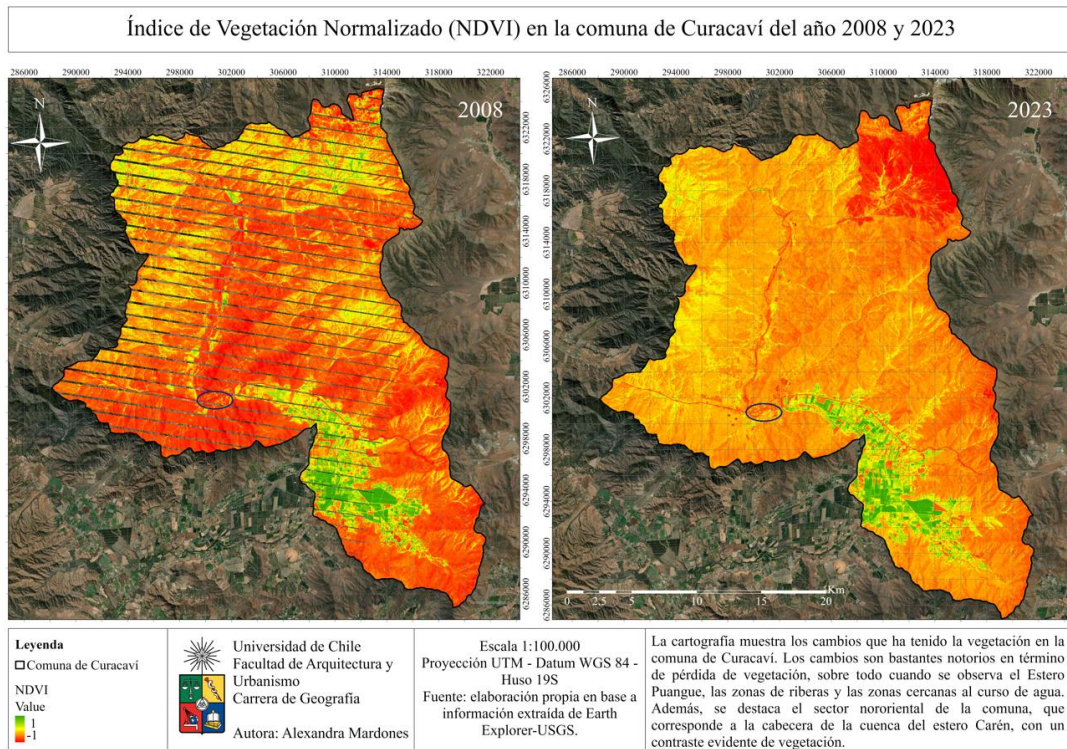
Fuente: Elaboración propia, 2024

Anexo 8: Cartografía del índice NDVI en la comuna de Curacaví de los años 2003 y 2023



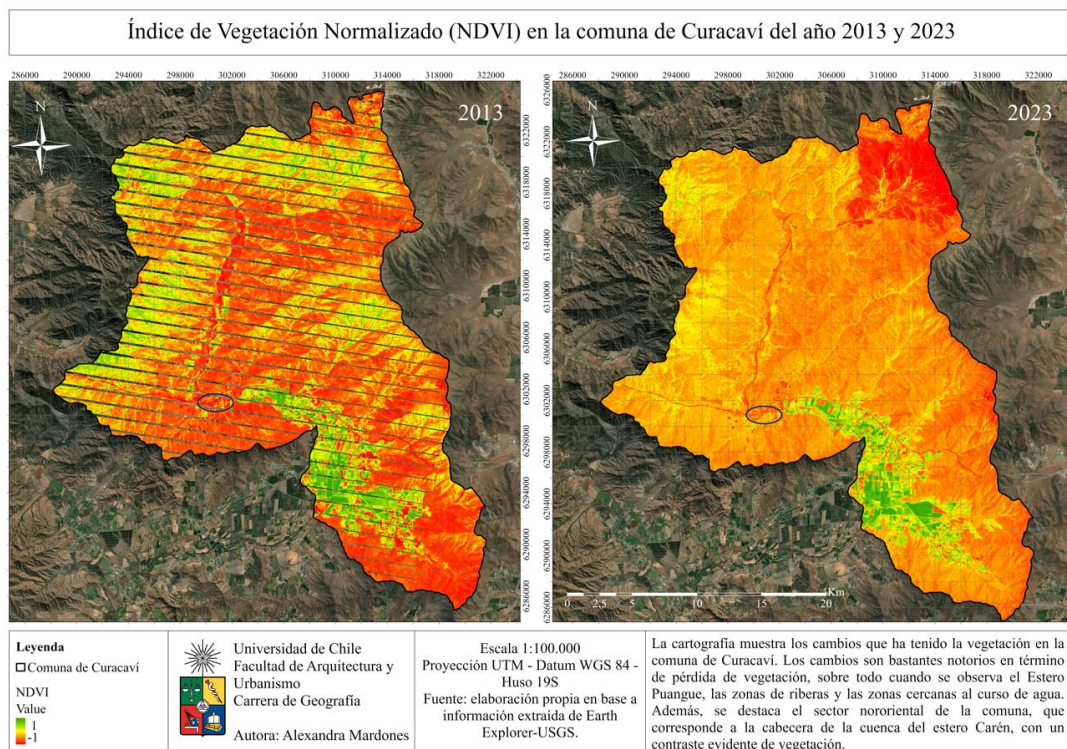
Fuente: Elaboración propia, 2024

Anexo 9: Cartografía del índice NDVI en la comuna de Curacaví de los años 2008 y 2023



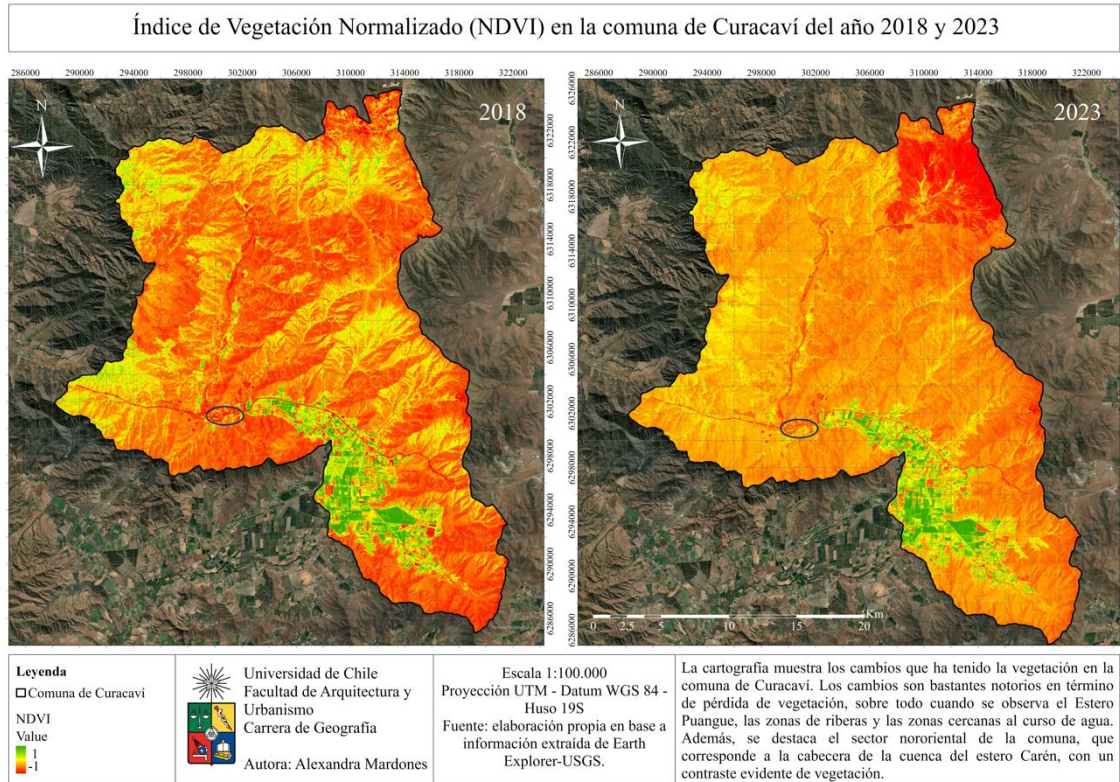
Fuente: Elaboración propia, 2024

Anexo 10: Cartografía del índice NDVI en la comuna de Curacaví de los años 2013 y 2023



Fuente: Elaboración propia, 2024

Anexo 11: Cartografía del índice NDVI en la comuna de Curacaví de los años 2018 y 2023







Fuente: Elaboración propia, 2024







Anexo 12: Ejemplo de cálculo de área de sección transversal en el tramo de muestreo 1









Fuente: Elaboración propia, 2024.

Anexo 13: Especies seleccionadas para la reforestación

Especies	Tipo	Características	Preferencia de hábitat
<p><i>Peumus boldus</i> (Boldo)</p>  <p>(García & Ormazabal, 2008)</p>	Árbol	Especie endémica. Se distribuye entre las provincias del Elqui y Osorno, desde el nivel del mar hasta los 1.000 metros de altitud. Cabe resaltar que en la regiones del norte y del centro esta especie se localiza en fondos de quebradas o en áreas de influencia climática costera. Árbol siempreverde mide hasta 20 m de altura y el tronco alcanza cerca de 1 m de diámetro.	En las reforestaciones las plántulas crecen mejor bajo sombra o semisombra, mientras que en estado adulto los árboles toleran bien la radicación solar e incluso la sequía. No obstante, según lo expuesto por Bown et al (2021), esta especie es una de las menos eficiente en consumo del agua en áreas verdes urbanas de la Región Metropolitana. Sin embargo, es posible plantarlo bajo las condiciones antes descritas y en menor cantidad en comparación al resto de las especies. Considerar que esta es una especie tardía, es decir, necesita que haya un mínimo de cobertura vegetal desarrollada para que crezca en buenas condiciones, por lo tanto, no es una especie pionera, a menos que se encuentre en lugares con sombra y humedad.
<p><i>Acacia caven</i> (Espino)</p>  <p>(Instituto Forestal, 2012)</p>	Árbol	Especie de carácter nativo. Es distribuida por las laderas orientales de la Cordillera de la Costa, a través de todo el valle central, hasta la Precordillera Andina, desde la provincia de Copiapó hasta la del Biobío. Es considerado como árbol o arbusto, mide entre 2 a 6 m de alto y hasta 40 cm de diámetro. Sin embargo, si las condiciones son favorables y no hay intervención, puede crecer más, tanto en altura como en diámetro.	Es una especie que se encuentra adaptada a varias condiciones climáticas. Se destaca que se encuentra adaptada a climas secos, por lo que tolera periodos de sequías prolongados, o con muy escasa precipitación, temperaturas que varían desde los -8°C a 36°C aproximadamente. Puede crecer en suelos más o menos pobres, o en terrenos erosionados pero su crecimiento se ve intervenido. Cabe destacar que esta especie soporta y crece bien en suelos anegados de manera temporal o húmedos casi permanentes. Se considera como especie de bajo consumo hídrico.
<p><i>Lithraea caustica</i> (Litre)</p>  <p>(Fundación Reforestemos, s/f)</p>	Árbol	Especie endémica. Se distribuye entre las regiones de Coquimbo y Biobío. Cabe destacar que es muy frecuente encontrarla en el bosque esclerófilo de Chile central. Alcanza hasta 6 m de altura y 0,5 m de diámetro máximo.	Crece en ambientes con inviernos lluviosos y veranos secos, en condiciones semiáridas. Es una especie que tolera muy bien sitios de sequía prolongada y de alta exposición solar, por lo que es común observarla en exposición norte y sitios planos. Es de bajo consumo hídrico.
<p><i>Salix humboldtiana</i> (Sauce chileno)</p>  <p>(Pinilla et al., 2015)</p>	Árbol	Especie nativa. Se distribuye entre las regiones de Arica y Parinacota hasta La Araucanía. Su rango altitudinal va desde los 0 hasta 3.900 m. Puede alcanzar 20 m de altura, con un diámetro del tronco que puede llegar a 1 m.	Prefiere lugares húmedos y a veces arenosos, a lo largo de riberas de ríos, estero y lagos, como también zonas bajas y sectores inundados. Esta especie se ha utilizado para la protección de suelos debido a su capacidad para combatir la erosión del suelo por el agua y viento, así como para formar estructuras de protección. Tienen una alta capacidad de enraizamiento, sistema de raíces extensos y tolerancia a inundaciones y sedimentación.

<p><i>Cryptocarya alba</i> (Peumo)</p>  <p>(Instituto Forestal, 2012)</p>	<p>Árbol</p>	<p>Especie endémica. Crece desde el sur de la provincia del Limari hasta la provincia de Cautín, se ubica desde la ladera occidental de la Cordillera de la Costa, el Valle Central, y por el sector andino. Es característica de la zona central de Chile. Puede alcanzar entre los 15 a 30 m de altura, con diámetros cercanos al metro.</p>	<p>Se caracteriza por crecer en un clima mediterráneo. Esta especie se adapta muy bien a largos periodos de sequías, incendios y cortas reiteradas. Para la zona central del país, esta se ubica en lugares con humedad y sombríos, principalmente en quebrada, mientras que para el sur busca localidades más secas. Se desarrolla bien en suelos medianamente húmedos con algo de materia orgánica.</p>
<p><i>Quillaja saponaria</i> (Quillay)</p>  <p>(García & Ormazabal, 2008)</p>	<p>Árbol</p>	<p>Especie nativa. Se distribuye entre las provincias del Elqui y Arauco, desde el nivel del mar hasta 1.600 metros de altitud. Árbol siempreverde de copa ancha, llega a medir hasta 15 m de altura y su tronco tiene un diámetro cercano a 1 metro.</p>	<p>Esta especie tolera muy bien ambientes de suelos pobres, de sequía prolongada y de exposición solar directa, por lo que es común observarla en exposición norte y sitios planos.</p>
<p><i>Schinus molle</i> (Molle)</p>  <p>(Cordero et al, 2017)</p>	<p>Árbol</p>	<p>Especie nativa. Se distribuye desde la región de Coquimbo hasta el Maule, principalmente en la Cordillera de la Costa. Es un árbol pequeño de 4 a 6 m de alto, de 6 a 8 m de diámetros de copa máxima, y de 0,2 a 0,5 m de diámetro de tronco.</p>	<p>Habita en los faldeos de los cerros de la Cordillera de la Costa y planicies costeras muy cercanas al mar, donde crece a pleno sol o en semisombra.</p>
<p><i>Schinus polygamus</i> (Huingán)</p>  <p>(Cordero et al, 2017)</p>	<p>Árbol</p>	<p>Especie nativa. Se distribuye entre las regiones de Atacama y Los Lagos. Es un arbusto o arbolito perenne de hasta 3 m de altura por 2,5 de diámetro, ramificado desde la base.</p>	<p>Su hábitat forma parte del bosque esclerófilo de la zona central. Prefiere suelos pobres de exposición norte y se desarrolla tanto en planicies como en laderas. Según Bown et al (2021), es una especie de bajo consumo hídrico.</p>
<p><i>Otholobium glandulosum</i> (Culén)</p>  <p>Riedemann et al., 2014)</p>	<p>Arbusto</p>	<p>Especie nativa. Se distribuye desde Arica hasta Los Ríos. Es un arbusto o arbolito caduco en invierno, de hasta 5 m de altura y 3 m de diámetro.</p>	<p>Especie terrestre pero con hábitos semi acuáticos, ya que puede tolerar periodos con sus raíces bajo el agua. Crece en lugares húmedos, quebradas, estero, lagunas, y a pleno sol. Se utiliza para contener las riberas de los cursos de agua.</p>
<p><i>Colliguaja odorifera</i> (Colliguay)</p>  <p>(Ministerio del Medio Ambiente, s/f)</p>	<p>Arbusto</p>	<p>Especie endémica. Se distribuye desde la región de Antofagasta hasta Biobío. Es un arbusto siempreverde de hasta 2 m de altura. Se distribuye en un rango altitudinal de 0 a 1.300 m. (Rodríguez et al, 2018).</p>	<p>Crece en pleno sol, en laderas pedregosas y áridas. Es de bajo consumo hídrico.</p>

<p><i>Escallonia illinita</i> (Barraco)</p>  <p>(Riedemann et al., 2014)</p>	Arbusto	Especie endémica. Se distribuye entre las regiones de Coquimbo hasta la del Biobío. Arbusto siempreverde, de hasta 3 m de altura y diámetro variable.	Prefiere suelos pedregosos o arenosos-pedregosos, con algo de humedad. Crece en las quebradas bajas o montañas en ambas precordilleras y en el valle central. Tolerancia condiciones de zonas semiáridas, puede ser plantado en zona de ribera media y alta.
<p><i>Azara serrata</i> (Corcolén)</p>  <p>(Riedemann et al., 2014)</p>	Arbusto	Especie endémica. Se ubica desde la región de Valparaíso hasta la región de Los Lagos. Es un arbusto que alcanza hasta 2 m de altura por 1,80 m de diámetro.	Crece en terreno húmedos, en suelos con materia orgánica y pH neutro hasta algo ácido.
<p><i>Escallonia pulverulenta</i> (Corontillo)</p>  <p>(Riedemann et al., 2014)</p>	Arbusto	Especie endémica. Se distribuye desde la región que Coquimbo hasta la de la Araucanía. Arbusto siempreverde de hasta 10 m de altura por 8 m de diámetro.	Crece en bordes de quebradas o en laderas asoleadas.
<p><i>Baccharis linearis</i> (Romerillo)</p>  <p>(Riedemann et al., 2014)</p>	Arbusto	Especie nativa. Se distribuye desde la región de Atacama a la de Los Lagos. Arbusto erguido, de hasta 2 m de altura por similar diámetro, muy ramoso, ramas erguidas. Florece en verano. Fruto, un aquenio con vilano de pelos que madura en otoño.	Esta especie repuebla terrenos degradados, en bordes de caminos y planicies asoleadas. Frecuente en situación de post-cultivo. En el área crece en los sitios que ocupaba el bosque esclerófilo. Es útil para recubrir terrenos abandonados por la agricultura o sobrepastoreados. Según Bown et al (2021), es una especie de escaso consumo hídrico, ya que puede sobrevivir a largo plazo sólo con la lluvia o con dosis mínimas de riego.
<p><i>Baccharis salicifolia</i> (Chilca)</p>  <p>(Riedemann et al., 2014)</p>	Arbusto	Especie nativa. Se distribuye desde la región de Arica-Parinacota a la región de Los Lagos. Arbusto de hasta 3 m de altura de 2 m de diámetro, ramas glabras pero glandulosas. Florece en primavera. Su fruto es un aquenio liso con un vilano de pelos blancos que madura en verano. Según Rodríguez et al. (2018) crece en un rango altitudinal de 0 a 3.500 m.	Esta especie crece en suelos húmedos, de preferencia en las orillas de los cursos de agua, ya que se puede mantener un largo periodo anual bajo el agua, a pleno sol. Es parte de la vegetación de los esteros y los ríos. Se utiliza para contener las riberas de los cursos de agua, como arbusto aislado o para plantar como seto vivo. Además, es una especie que crece exclusivamente en zonas ribereñas.
<p><i>Azara celastrina</i> (Lilén)</p>  <p>(Musalem, s/f)</p>	Arbusto	Especie endémica. Se distribuye desde la región de Coquimbo hasta el Biobío. Crece en un rango altitudinal de 0 a 1.000 metros. Especie arbórea o arbusto de 2 a 3 m de altura.	Esta especie se adapta a una amplia gama de texturas y calidad de suelo, con algo de materia orgánica. Por lo general habita en lugares semisecos y asoleados.
<p><i>Muehlenbeckia hastulata</i> (Ouiló)</p>  <p>(Riedemann et al., 2014)</p>	Arbusto	Especie nativa. Se distribuye desde la región de Arica y Parinacota a la de Los Ríos. Arbusto siempreverde, globoso o trepador. Su rango altitudinal va desde 0 a 2.700 metros.	Habita en sitios abiertos en todo tipo de bosques, tanto en lugares planos como en ladera, en suelos húmedos, degradados, entre rocas o colgante en cortes de terreno. Se puede utilizar como trepadora ya que es de crecimiento rápido y tiene buena cobertura.

<p><i>Eleocharis macrostachya</i> Britton</p>  <p>(Rodríguez & Fica, 2020)</p>	<p>Planta acuática</p>	<p>Especie nativa. En Chile se distribuye desde la región de Coquimbo hasta la de Magallanes. Se describe como hierba perenne, acuática, arraigada al sustrato emergente, tallos cilíndricos de 10 a 60 cm de alto, sin hojas, solo con algunas brácteas en la base del tallo.</p>	<p>Habita en suelos inundados de preferencia arenosos, lagunas, en charcas de agua dulce y salobre, canales de riego y en general en diversos ecosistemas húmedos. De acuerdo con varios estudios es utilizado para la retención de arsénico en los humedales artificiales.</p>
<p><i>Schoenoplectus californicus</i> (Totora)</p>  <p>(Rodríguez & Fica, 2020)</p>	<p>Planta acuática</p>	<p>Especie nativa. En Chile se encuentra desde la región de Arica y Parinacota hasta la de Magallanes. Descrita como hierba perenne, acuática, arraigada al sustrato emergente, con un tallo de 60 a 120 cm de alto, triangular, liso, que sobresale de la superficie del agua.</p>	<p>Se encuentra en terreno inundados, orillas de lagos, arroyos y canales. Tiene uso artesanal y se destaca principalmente como planta depuradora por la gran cantidad de nutrientes que absorbe, además, crea un buen hábitat para una multitud de especie.</p>
<p><i>Myriophyllum aquaticum</i></p>  <p>(Rodríguez & Fica, 2020)</p>	<p>Planta acuática</p>	<p>Especie Nativa. En Chile se encuentra desde la región de Arica y Parinacota hasta la de Magallanes. Hierba perenne, acuática, arraigada al sustrato, parcialmente sumergida, tallos gruesos, con frecuencia ligeramente lagunosos.</p>	<p>Se encuentra en lagos, lagunas, canales, ríos y suelos encharcados, con aguas someras y escurrimiento lento, generalmente eutrofizados o contaminados. Sirve como alimento para la avifauna y a la vez crean buenas masas vegetales para el desove de peces.</p>
<p><i>Ludwigia peploides</i></p>  <p>(Rodríguez & Fica, 2020)</p>	<p>Planta acuática</p>	<p>Especie nativa. Se distribuye desde Atacama hasta Los Lagos. Hierba perenne, acuática, arraigada al sustrato. Tallos débiles flotantes de 30 a 80 cm de alto.</p>	<p>Habitan lagunas temporales o perennes, en riberas de ríos, arroyos, quebradas y canales de riego, acequias y aguas retenidas, siempre donde la corriente es suave.</p>

Fuente: Elaboración propia, 2024

Anexo 14: Aspectos para considerar al momento de realizar una jornada de limpieza

- ❖ Anunciar la limpieza con tiempo, punto de encuentro, fecha y hora exacta, a través de canales oficiales y accesibles a toda la sociedad civil.
- ❖ Juntar voluntarios, a través de diversos medios de comunicación (correo electrónico, página web de la municipalidad, radio de la comuna, etc.) o medios impresos (folleto informativo, diario de la comuna, entre otros).
- ❖ Informar a los voluntarios, sobre el tipo de basura a esperar en la limpieza (plástico, ropa, pañales, escombros pesados, etc.), tipo de vestimenta a usar (calzado apropiado y cerrado, ropa que proteja la piel, etc.) y qué materiales llevar (guantes, bolsas, bloqueador solar, palas, agua, etc.).
- ❖ Registro de los voluntarios, la seguridad de los participantes es prioridad, por ende, se debe contar con presencia de emergencias médicas, o persona que sepa administrar primeros auxilios, además, de tener un estuche de primeros auxilios. Por otro lado, el registro sirve para asegurarse de la edad de cada participante y en caso de que hay menores de edad, tener la autorización correspondiente del tutor legal.
- ❖ Clasificación de la basura, si clasifican como material reciclable o es basura general.
- ❖ Educar a los voluntarios, sobre el espacio a limpiar, la separación de residuos, el medio ambiente, etc., así como también, explicar sobre la labor que realizan y la importancia de realizarlo.
- ❖ Documentar el proceso, con el fin de posteriormente a la limpieza difundirlo en redes sociales y utilizarlo para fomentar la realización de nuevas jornadas de limpiezas.

Fuente: Samalot, 2015.