



UNIVERSIDAD DE CHILE

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Escuela de Pregrado

Carrera de Geografía

**IDENTIFICACIÓN DE LA PROVISIÓN POTENCIAL DE SERVICIOS
ECOSISTÉMICOS EN LA LOCALIDAD DE VODUDAHUE, FIORDO COMAU,
REGIÓN DE LOS LAGOS.**

Memoria para optar al título profesional de Geógrafa

PAULA ARACELY ROJAS BECERRA

Profesor Guía: Pamela Smith Guerra

SANTIAGO – CHILE

2018

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todas aquellas personas que me han acompañado y amado en lo que llevo de vida, a mis padres, a Bastián y su familia. A mis amigas de toda la vida, Mónica, Tiare y Constanza, las cuales me han acogido y sumergido en una vida de alegrías y amor. A mis amigas/os de geografía, grupo autodenominado “geoniñas preciosas”, les agradezco por compartir su amistad, y ser fuente constante de risas y anécdotas durante estos años de estudio.

Agradezco de todo corazón a mis revisores estrella Cristóbal y Javiera (quien me presionó constantemente a terminar esta etapa), ya que se dieron el tiempo de leer esta memoria y hacerme recomendaciones, los quiero mucho. También quiero dar las gracias a María Cristina, a quien admiro y quiero. Por otra parte, agradezco haber compartido tiempo con los compañeros del laboratorio de geografía física, con quienes pasé inviernos de té y veranos de aire acondicionado, horas de cansancio, risas eternas, y tardes de churros. Ha sido genial conocerlos.

Agradezco a la profesora María Victoria, por su paciencia, sentido del humor y permitirme participar del proyecto FONDECYT N°1151087. El desarrollo de mi memoria al interior de su proyecto me permitió maravillarme por lugares que desconocía que existían, y vivir momentos que atesoraré en mi memoria. También quiero agradecer a Ulrich Porschmann y a la Fundación San Ignacio de Huinay por acogernos, todos los días echo de menos el fiordo.

Finalmente, agradezco a mi profesora guía Pamela Smith, por encauzar mi memoria de título, por su cariño, comprensión y paciencia.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|---|----|
| CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN | 9 |
| 1.1 INTRODUCCIÓN..... | 9 |
| 1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 10 |
| 1.3. ÁREA DE ESTUDIO | 12 |
| 1.3.1. Cuenca Hidrográfica Vodudahue | 13 |
| 1.3.2. Demografía..... | 15 |
| 1.3.3. Clima..... | 15 |
| 1.3.4. Vegetación..... | 15 |
| 1.3.5. Fauna | 19 |
| 1.3.6. Área Marina y Costera Protegida de Múltiples Usos..... | 20 |
| 1.3.7. Actividad antrópica..... | 23 |
| 1.4. OBJETIVOS | 24 |
| 1.4.1. Objetivo general | 24 |
| 1.4.2. Objetivos específicos..... | 24 |
| 1.5. HIPÓTESIS..... | 25 |
| CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO | 26 |
| 2.1. DE ECOSISTEMAS A SERVICIOS ECOSISTÉMICOS | 26 |
| 2.2. INICIATIVAS SOBRE CLASIFICACIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS..... | 28 |
| 2.3. TIPOS DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS..... | 32 |
| 2.3.1. Servicios de soporte o base..... | 32 |
| 2.3.2. Servicios de provisión o suministro..... | 32 |
| 2.3.3. Servicios de regulación..... | 32 |
| 2.3.4. Servicios culturales..... | 32 |
| 2.4. INVESTIGACIÓN SOBRE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN CHILE | 33 |
| 2.5. MAPEO DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS | 33 |
| CAPÍTULO 3: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO | 35 |
| 3.1. IDENTIFICACIÓN DE USOS Y/O COBERTURAS TERRESTRES PRESENTES EN LA CUENCA DE VODUDAHUE | 35 |
| 3.2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PRINCIPALES SERVICIOS ECOSISTÉMICOS RECONOCIDOS POR ACTORES LOCALES Y REGIONALES EN LA CUENCA DE VODUDAHUE | 40 |

| | |
|--|----|
| 3.3. MAPEO DE LA PROVISIÓN POTENCIAL DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE ANÁLISIS ESPACIAL MULTICRITERIO (AEMC) | 46 |
| CAPÍTULO 4: RESULTADOS | 49 |
| 4.1. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS USOS Y/O COBERTURAS TERRESTRES PRESENTES EN LA CUENCA DE VODUDAHUE | 49 |
| 4.2. SERVICIOS ECOSISTÉMICOS RECONOCIDOS POR ACTORES LOCALES Y REGIONALES EN LA CUENCA DE VODUDAHUE | 54 |
| 4.2.1. <i>Servicios ecosistémicos de provisión</i> | 55 |
| 4.2.2. <i>Servicios ecosistémicos de regulación</i> | 58 |
| 4.2.3. <i>Servicios ecosistémicos culturales</i> | 62 |
| 4.3. ANÁLISIS DE LA PROVISIÓN POTENCIAL DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE ANÁLISIS ESPACIAL MULTICRITERIO (AEMC) | 64 |
| 4.3.1. <i>Provisión potencial de servicios ecosistémicos de provisión</i> | 64 |
| 4.3.2. <i>Mapeo de provisión potencial de servicios ecosistémicos de provisión</i> | 65 |
| 4.3.3. <i>Provisión potencial de servicios ecosistémicos de regulación</i> | 68 |
| 4.3.4. <i>Mapeo de provisión potencial de servicios ecosistémicos de regulación</i> | 68 |
| 4.3.5. <i>Provisión potencial de servicios ecosistémicos culturales</i> | 71 |
| 4.3.6. <i>Mapeo de provisión potencial de servicios ecosistémicos culturales</i> | 71 |
| CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES | 74 |
| 5.1. DISCUSIÓN | 74 |
| 5.1.1. <i>Sobre la aplicación de metodologías para el mapeo de servicios ecosistémicos en el fiordo Comau</i> | 74 |
| 5.1.2. <i>Sobre las actividades antrópicas en el fiordo Comau</i> | 77 |
| 5.2. CONCLUSIONES | 79 |
| BIBLIOGRAFÍA | 81 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Área de estudio, localidad de Vodudahue, fiordo Comau, región de Los Lagos, Chile..... | 12 |
| Figura 2: Vista desde el embarcadero de la localidad de Vodudahue hacia la orilla norte del río Vodudahue..... | 13 |
| Figura 3: Actividad antrópica en el área de estudio..... | 14 |
| Figura 4: Clasificación de pisos vegetacionales en el área de estudio..... | 18 |
| Figura 5: Letrero presente en las inmediaciones del embarcadero de la localidad de Vodudahue en la orilla sur del río Vodudahue..... | 23 |
| Figura 6: Esquema cascada de servicios ecosistémicos..... | 27 |
| Figura 7: Vista desde el embarcadero de marea alta hacia el noreste..... | 38 |
| Figura 8: Rutas realizadas para la corroboración de coberturas..... | 39 |
| Figura 9: Ecuación para el cálculo de la provisión potencial de servicios ecosistémicos de provisión o suministro..... | 48 |
| Figura 10: Ecuación para el cálculo de la provisión potencial de servicios ecosistémicos de regulación..... | 48 |
| Figura 11: Ecuación para el cálculo de la provisión potencial de servicios ecosistémicos culturales..... | 48 |
| Figura 12: Vista hacia el río Vodudahue desde la orilla sur, en la imagen se pueden apreciar las coberturas 1. Roca descubierta (afloramientos rocosos); 2. Bosque mixto; 3. Praderas; 4. Transición bosque-arbusto; 5. Cursos de agua; 6. Zonas con poca vegetación..... | 50 |
| Figura 13: Vista hacia el río Vodudahue desde la orilla sur, en la imagen se pueden apreciar las coberturas 1. Roca descubierta (afloramientos rocosos); 2. Bosque mixto; 3. Cursos de agua..... | 51 |
| Figura 14: Distribución de coberturas en el área de estudio en porcentajes..... | 52 |

| | |
|--|----|
| Figura 15: Fotointerpretación de coberturas en el área de estudio..... | 53 |
| Figura 16: Frecuencia de servicios ecosistémicos de provisión atribuidos por los actores en el área de estudio..... | 58 |
| Figura 17: Frecuencia de servicios ecosistémicos de regulación atribuidos por los actores en el área de estudio..... | 61 |
| Figura 18: Frecuencia de servicios ecosistémicos culturales atribuidos por los actores en el área de estudio..... | 63 |
| Figura 19: Provisión potencial de servicios ecosistémicos de provisión o suministro en el área de estudio..... | 67 |
| Figura 20: Provisión potencial de servicios ecosistémicos de regulación en el área de estudio..... | 70 |
| Figura 21: Provisión potencial de servicios ecosistémicos culturales en el área de estudio..... | 73 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Especies vegetales y su estado de conservación vigente..... | 17 |
| Tabla 2: Fauna del área de estudio y su estado de conservación..... | 19 |
| Tabla 3: Fauna marina del área de estudio y su estado de conservación..... | 22 |
| Tabla 4: Servicios ecosistémicos propuestos por la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio..... | 28 |
| Tabla 5: Servicios ecosistémicos propuestos por la Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad..... | 30 |
| Tabla 6: Servicios ecosistémicos propuestos por la Clasificación Internacional Común de los Servicios de los Ecosistemas (2013)..... | 31 |

| | |
|---|----|
| Tabla 7: Definición de coberturas utilizadas para fotointerpretación en el área de estudio..... | 37 |
| Tabla 8: Actores encuestados e información adicional..... | 41 |
| Tabla 9: Servicios ecosistémicos de provisión, definición y fuente..... | 42 |
| Tabla 10: Servicios ecosistémicos de regulación, definición y fuente..... | 43 |
| Tabla 11: Servicios ecosistémicos culturales, definición y fuente..... | 44 |
| Tabla 12: Matriz de servicios ecosistémicos y coberturas..... | 45 |
| Tabla 13: Escala de importancia en términos perceptuales asignada por los actores a cada servicio ecosistémico, promedio de dicha valoración y su respectivo peso relativo..... | 47 |
| Tabla 14: Clasificación de capacidad para brindar servicios ecosistémicos..... | 48 |
| Tabla 15: Servicios ecosistémicos de provisión, regulación y culturales asignados por cobertura..... | 55 |
| Tabla 16: Matriz de servicios ecosistémicos y coberturas..... | 64 |
| Tabla 17: Capacidad para brindar servicios ecosistémicos de provisión según cobertura en el área de estudio..... | 66 |
| Tabla 18: Capacidad para brindar servicios ecosistémicos de regulación según cobertura en el área de estudio..... | 69 |
| Tabla 19: Capacidad para brindar servicios ecosistémicos culturales según cobertura en el área de estudio..... | 72 |

RESUMEN

El Sur de Chile ha sido reconocido a nivel mundial como una de las áreas más importantes para la conservación de la biodiversidad, puesto que presenta altos niveles de endemismo y hábitats prístinos, sin embargo, en las últimas décadas la zona de fiordos y canales del Sur de Chile se ha visto sometida a episodios de estrés ambiental, debido a la explotación de sus recursos naturales, el crecimiento de centros urbanos y actividades asociadas al turismo. A partir de la identificación de 9 coberturas y 17 servicios ecosistémicos, los cuales fueron valorados por actores locales y regionales en la cuenca de Vodudahue, se reconoció la provisión potencial de servicios ecosistémicos con el empleo del Modelo de Análisis Espacial Multicriterio (AEMC), el cual surge como una herramienta eficaz en aquellos casos donde existe poca información base. Los resultados obtenidos revelaron que en el área de estudio las coberturas bosque mixto, transición bosque-arbusto, praderas, mar, cursos de agua y zonas húmedas presentaron una capacidad importante para brindar servicios ecosistémicos de provisión, regulación y culturales en contraste a las superficies o coberturas asociadas a la roca descubierta de depósitos fluviales, laderas expuestas y áreas con poca vegetación.

ABSTRACT

The south of Chile has been recognized all over the World as one of the most important areas for the conservation of biodiversity because of its high levels of endemism and pristine habitats. However, over the last decades the fjords and channels zone in the south of Chile has been subject of environmental stress due to exploitation of its natural resources, the growth of urban centers and to activities associated with tourism. Based on the identification of 9 land covers and 17 ecosystem services, which were valued by local and regional actors in the *Vodudahue* basin, the potential provision of ecosystem services was recognized with the employment of Multi-criteria spatial analysis (AEMC) which appears like an effective tool in those cases where there is little information available. The results showed that in the study area the mixed forest, forest-bush transition, prairies, humid zones, water courses and sea land covers presented an important capacity to provide provision, regulation and cultural ecosystem services, in contrast to the surfaces or land covers associated to the bare rock of fluvial deposits, exposed slopes and areas with little vegetation.

CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

Las cuencas hidrográficas son consideradas sistemas estratégicos regionales que cumplen funciones territoriales y ambientales para los asentamientos humanos tales como la regulación del ciclo hidrológico, la amortiguación de crecidas de cauces, la protección del suelo y suministro de agua para consumo humano, entre otros (Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, 2013). Dichas funciones ambientales reconocidas al interior de las cuencas hidrográficas pueden ser identificadas bajo el concepto de servicios ecosistémicos, los cuales pueden ser definidos como todos los beneficios obtenidos por parte de los seres humanos derivados de los ecosistemas (Constanza *et al.*, 1997, De Groot *et al.*, 2002). Se han creado una serie de iniciativas y metodologías con la finalidad de identificar y medir de qué forma el capital natural contribuye al bienestar humano, a través de la existencia de dichos servicios.

El Sur de Chile ha sido reconocido a nivel mundial como una de las áreas más importantes para la conservación de la biodiversidad, que presenta vasta riqueza paisajística dada por la interacción entre ecosistemas marinos, de agua dulce y boscosos. Lo anterior, deriva en áreas con altos niveles de endemismo y extensas superficies de hábitats prístinos (Sepúlveda *et al.*, 2009).

En las últimas décadas la zona comprendida por fiordos y canales del Sur de Chile se ha visto sometida a episodios de estrés ambiental, debido a la explotación de sus recursos naturales a través de actividades ligadas a la pesca y silvicultura, el crecimiento de centros urbanos e industriales y actividades asociadas al turismo (Rudolph *et al.*, 2011). Inserto en esta zona de fiordos y canales se localiza el fiordo Comau, el cual se compone de tres sistemas fluvio-marinos representados por cuencas hidrográficas identificadas, de norte a sur, como Cahuelmó, Huinay-Lloncochaigua y Vodudahue.

En las cuencas anteriormente nombradas se proyecta la construcción de la ruta CH-7 o Carretera Austral, ya que actualmente el trayecto que abarca la Carretera Austral en el fiordo Comau debe realizarse vía marítima debido a la inexistencia de conexión terrestre. Esta investigación se encuentra en el marco del proyecto FONDECYT N° 1151087: “Reconocimiento de hotspot en el ambiente periglacial de fiordos y mar interior: Hacia una evaluación integrada de conductores de geoamenazas, riesgos e impacto en los recursos territoriales del Golfo de Ancud” y tiene como propósito identificar la provisión potencial de servicios ecosistémicos en el fiordo Comau.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La intervención del entorno natural para satisfacer la creciente demanda de bienes y servicios de consumo humano ha causado una disminución de la biodiversidad y un deterioro de los ecosistemas a escala planetaria (Comunidades europeas, 2008).

En los últimos años, “los seres humanos han transformado los ecosistemas más rápida y extensamente que en ningún otro período de tiempo comparable de la historia humana” (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005). Estas transformaciones se han debido principalmente a la modificación de los usos y/o coberturas terrestres, la intensificación de la agricultura y la urbanización, la sobreexplotación de los recursos, la contaminación, el cambio climático y la introducción de especies exóticas que compiten con flora y fauna autóctonas (Comunidades europeas 2008, Unión Europea 2009), lo cual ha generado pérdidas irreversibles en los ecosistemas y diversidad terrestre.

Todos los seres humanos dependen de los ecosistemas terrestres/acuáticos y de los servicios derivados de estos, tales como el suministro alimenticio e hídrico, la regulación del clima, la polinización, etc. Debido a ésta dependencia, y el uso intensivo y/o modificación de los ecosistemas “el 60% de los servicios de los ecosistemas se están degradando o se usan de manera no sostenible” (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005). Respecto a esto, se pronostica que en las próximas décadas el deterioro medioambiental continúe a causa de la creciente demanda de alimentos, agua dulce y materias primas (Comunidades europeas, 2008).

A nivel mundial, han surgido distintas iniciativas que han tenido como objetivo evaluar los servicios ecosistémicos existentes, ya sea definiendolos, jerarquizandolos, catastrandolos o valorandolos. Hace 18 años, la Organización de Naciones Unidas puso en marcha una iniciativa internacional llamada la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, con la finalidad de evaluar el estado global y tendencial de los ecosistemas terrestres. Posterior a ésta iniciativa han surgido otras más recientes tales como el informe “la Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad” o TEEB (*The Economics of Ecosystem and Biodiversity*) por sus siglas en inglés. Esta iniciativa, al igual que la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, es de carácter global, sin embargo, esta enfocada principalmente en “hacer visibles los valores de la naturaleza” en términos económicos.

A nivel nacional, la investigación de servicios ecosistémicos ha estado orientada principalmente a la provisión de ecosistemas forestales y valoraciones económicas (De la Barrera *et al.*, 2014). Por otro lado, la espacialización o mapeo de servicios ecosistémicos se encuentra escasamente desarrollada, por lo que existe conocimiento limitado sobre cómo se encuentra distribuida espacialmente la provisión de servicios ecosistémicos en las distintas escalas a lo largo del país (Bachmann *et al.*, 2014).

En el actual escenario, los fiordos y canales del Golfo de Ancud se presentan como espacios prístinos contenedores de biodiversidad y recursos naturales debido a la escasa intervención antrópica producto de la lejanía desde los grandes centros poblados, las condiciones climáticas de carácter extremo y la ausencia de acceso y conectividad vía terrestre.

En el fiordo Comau, X región de Los Lagos, se localiza la cuenca de Vodudahue, en la cual el ejército de Chile, por medio del Cuerpo Militar del Trabajo, actualmente construye una senda de penetración con el objetivo de dar continuidad terrestre a la ruta CH-7 conocida como Carretera Austral. Con la futura conexión vía terrestre, se espera que aumente la accesibilidad y conectividad del sector, de tal forma que se favorezcan las actividades turísticas y productivas de la zona.

Con la futura conexión vía terrestre, se prevee un mayor flujo de personas durante la época estival asociada a la actividad turística, lo que conllevaría a una mayor demanda de servicios ecosistémicos para satisfacer las necesidades de la población flotante. Por lo anterior, en conjunto con la escasez de información referida al fiordo Comau y el rumbo que ha tomado la degradación de los ecosistemas, es que el mapeo de servicios ecosistémicos se presenta como una herramienta capaz de espacializar la provisión potencial de servicios ecosistémicos, con la función de que este material se utilice como apoyo para la toma de decisiones asociada a la gestión a escala local de recursos naturales y planificación del paisaje.

Con la finalidad identificar y espacializar la presencia de servicios ecosistémicos en el fiordo Comau se llevó a cabo una metodología aplicada en un caso de estudio nacional con el propósito de conocer ¿Cuál es la provisión actual de servicios ecosistémicos en el área de estudio? y ¿Qué impactos tienen en la actualidad las actividades que se desarrollan al interior del fiordo Comau sobre el área de estudio?.

1.3. ÁREA DE ESTUDIO

La palabra Vodudahue proviene de *voro o voru*, que significa hueso, diente, espina y *dahue*, nombre indígena de la quínoa (Niemeyer, 1980) o “grano duro de quínoa” según Ramírez (1996).

La localidad de Vodudahue (Figura 1) se encuentra situada en la Décima Región de Los Lagos, provincia de Palena, al interior de la comuna de Hualaihué, en el fiordo Comau. Dicha localidad se ubica en la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes a 40 m.s.n.m. aproximadamente y se localiza geográficamente en los 42°26' Latitud Sur y 72°25' Longitud Oeste (Ramírez, 1996).

En la actualidad el acceso a la localidad es posible sólo por vía marítima a través de embarcaciones provenientes desde Hornopirén (Figura 2).

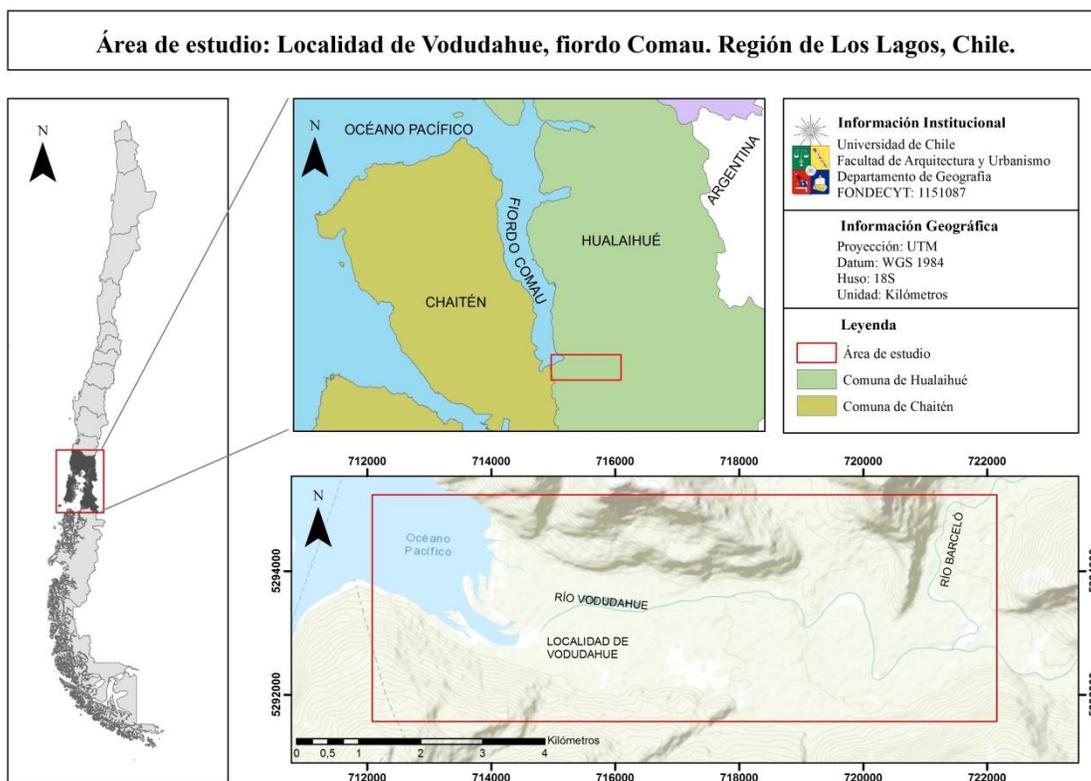


Figura 1: Área de estudio, localidad de Vodudahue, fiordo Comau, región de Los Lagos, Chile. Fuente: Elaboración propia en base a datos obtenidos de INE (2016). FONDECYT N°1151087.

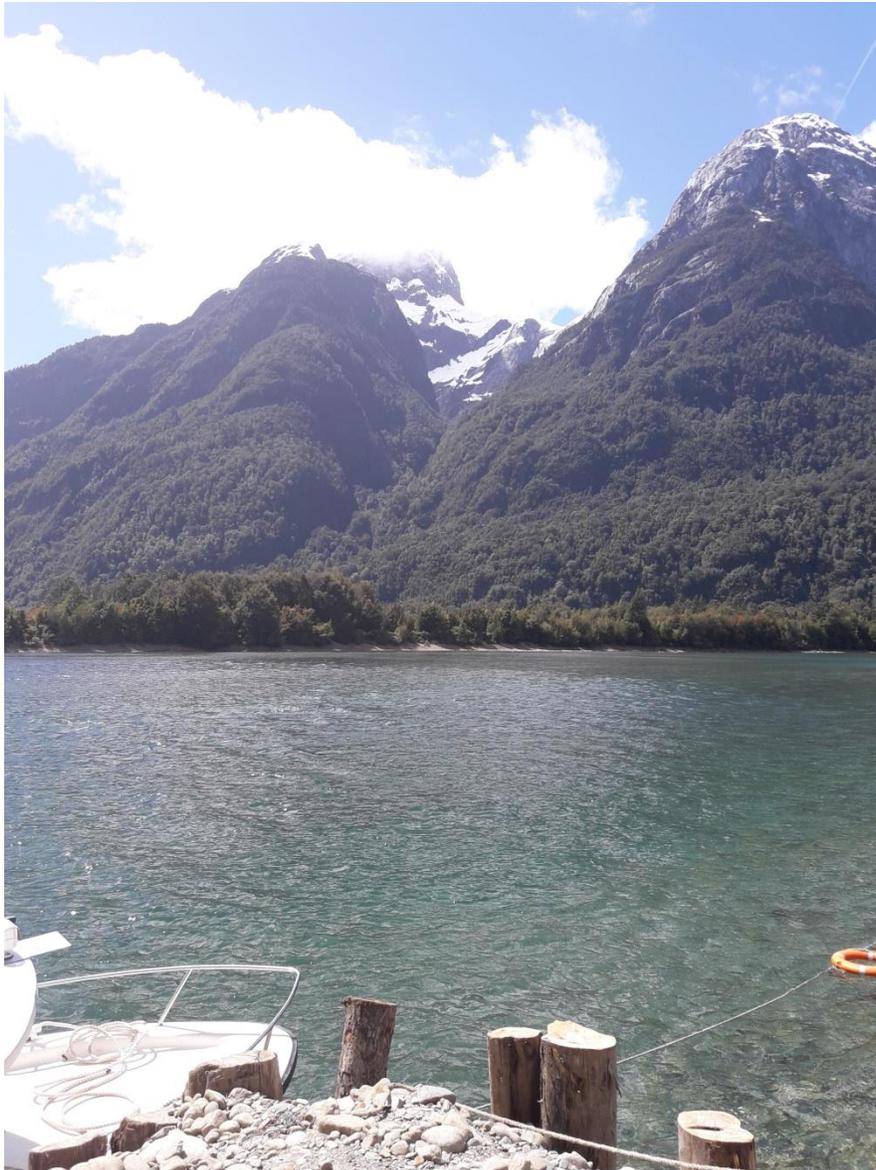


Figura 2: Vista desde el embarcadero de la localidad de Vodudahue hacia la orilla norte del río Vodudahue. *Fuente: FONDECYT N°1151087.*

1.3.1. Cuenca Hidrográfica Vodudahue

La cuenca del río Vodudahue tiene una extensión de 885 km² y se desarrolla entre el cordón andino limítrofe con la República Argentina y la costa Oriente del Golfo de Ancud. Limita al norte con la cuenca hidrográfica Huinay-Lloncochaigua y al sur con la reserva privada del Parque Pumalín.

El río Vodudahue nace en la laguna Vidal Gormaz, la cual se sitúa al sudeste de la cuenca. Desde su origen, el río se extiende por 47 kilómetros de sinuoso recorrido hasta

desembocar en el fiordo Comau o Leptepu. Durante su trayecto hasta la desembocadura, se le adhieren más de ocho tributarios dentro de los cuales predominan el río Barceló, el río Seco, el río Reremo, Correntoso, Trolihuan y Pillamó (Niemeyer, 1980, Ramírez, 1996).

El río sólo es navegable en tramos cercanos a la desembocadura debido a la presencia de rápidos, donde los más destacados son Correntada del Toro, Mal Paso y La Isla.

En la ribera norte del río se localiza el caserío de Vodudahue (Figura 3), el cual se compone principalmente por una iglesia y la vivienda perteneciente al religioso del lugar. En la ribera sur se localizan dos embarcaderos, un asentamiento provisional propio del Cuerpo Militar del Trabajo, una instalación perteneciente a Carabineros de Chile, el fundo Vodudahue y una vivienda.

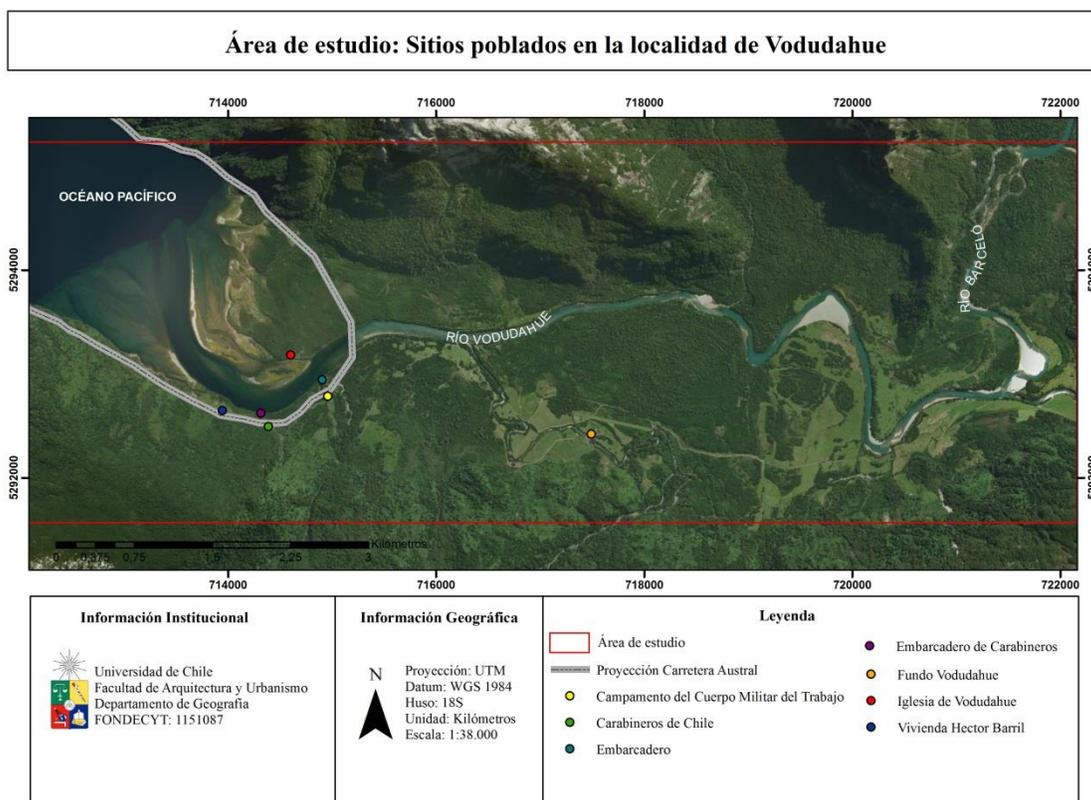


Figura 3: Actividad antrópica en el área de estudio. Fuente: Elaboración propia en base observaciones en terreno, FONDECYT N°1151087.

1.3.2. Demografía

El Censo de población y Vivienda correspondiente al año 2017 arrojó que en la comuna de Hualaihué habitan 8.944 personas, de las cuales el 52,6% corresponden a hombres y el 47,4% a mujeres. No obstante, en el área de estudio habitan 100 personas, de las cuales 94 corresponden a hombres y tan sólo 6 a mujeres (Instituto Nacional de Estadística, 2018).

1.3.3. Clima

A partir de la taxonomía climática de Köppen, la zona climática encontrada en Vodudahue puede clasificarse como clima templado húmedo (Cfb), con ausencia de estación seca (Fitzek, 2014) o templado lluvioso (Cfb), según la actualización de la clasificación de Köppen realizada por Sarricolea *et al.* (2017), donde los autores lo presentan como un clima marítimo costero de veranos cálidos. Si bien en ambos casos la taxonomía climática corresponde a la misma, Sarricolea *et al.* (2017) caracterizan la taxonomía a una escala de mayor detalle.

El clima al interior del fiordo se caracteriza por presentar abundantes precipitaciones, que superan los 100 mm. mensuales durante todo el año (González, 2016), donde se reconoce un máximo invernal durante los meses de mayo a agosto, con la identificación de 728,38 mm en el mes de junio y un mínimo estival durante los meses de diciembre a febrero, donde se reconoce 224,80 mm en el mes de febrero (Fitzek, 2014).

Vodudahue presenta una temperatura anual promedio que no supera los 10,5°C (González, 2016), la temperatura media del mes más caluroso (enero) alcanza los 14,7°C y la temperatura media del mes más frío (julio) llega a los 6,2°C.

En cuanto a la humedad relativa, su valor promedio anual corresponde a 88,9% y oscila entre un 83% en diciembre y un 93% durante los meses de junio y julio (Fitzek, 2014).

1.3.4. Vegetación

A partir de la clasificación de pisos vegetacionales de Luebert & Pliscoff (2006), en el área de estudio seleccionada en la cuenca de Vodudahue se pueden encontrar tres tipos de pisos vegetacionales:

El primer piso vegetal y más abundante (93,8%) corresponde al bosque siempre verde templado andino de *Nothofagus dombeyi* y *Saxegothaea conspicua* (Figura 4), localizado en laderas occidentales medias de la cordillera de los Andes entre los 500 y 1000 m.

Este piso vegetal se encuentra dominado por *Nothofagus dombeyi* en el estrato arbóreo superior y por *Saxegothaea conspicua*, *Podocarpus nubigena*, *Laureliopsis philippiana* y ocasionalmente *Weinmannia trichosperma* en los estratos arbóreos

intermedios. También puede ser encontrada *Amomyrtus luma*, *Dasyphyllum diacanthoides* y *Drimys winteri*. Por otro lado, en el estrato arbustivo es común la presencia de *Chusquea culeou*, *Azara lanceolata*, *Ribes punctatum*.

Entre las epífitas vasculares, es destacable la presencia de *Hydrangea serratifolia*, *Asteranthera ovata*, *Asplenium dareoides*, *Luzuriaga radicans*, *Griselinia racemosa* y diversas especies de *Hymenophyllaceae*.

El bosque resinoso templado andino de *Fitzroya cupressoides* (2,5%) (Figura 4) se caracteriza por desarrollarse entre los 700 y 1200 m. Es un bosque perennifolio dominado por la especie conífera *Fitzroya cupressoides* (Tabla 1), la cual comúnmente puede estar acompañada por *Podocarpus nubigena* y *Nothofagus nítida* o *Nothofagus betuloides* en el estrato arbóreo intermedio.

El estrato arbóreo bajo y arbustivo se componen característicamente por *Gevuina avellana*, *Chusquea macrostachya*, *Drimys andina*, *Embothrium coccineum*, *Desfontainia spinosa*, *Ugni molinae* y *Ugni candollei*, entre otras. En cuanto al estrato herbáceo, este se compone principalmente por helechos, donde destacan especies tales como *Polypodium feuillei*, *Hymenophyllum pectinatum* y algunas Ciperáceas, mientras que las epífitas *Philesia magellanica*, *Asteranthera ovata* y *Campsidium valdivianum* son muy frecuentes.

El bosque siempre verde templado interior de *Nothofagus nítida* y *Podocarpus nubigena* (3,5%) (Figura 4), se encuentra asociado a zonas frías de laderas altas y cumbres cordilleranas costeras. Este piso vegetacional boscoso se encuentra dominado por *Nothofagus nítida* y *Podocarpus nubigena*, son también frecuentes *Drimys winteri*, *Saxegothaea conspicua*, *Amomyrtus luma* y *Weinmannia trichosperma* como componentes arbóreos. El estrato arbustivo se constituye de *Tepualia stipularis*, *Desfontainia spinosa*, *Pseudopanax laetevirens* y *Chusquea quila* (Tabla 1).

En cuanto al estrato herbáceo, se caracteriza por presentar *Nertera granadensis* y las epífitas *Mitraria coccinea*, *Asteranthera ovata*. Por otro lado, en sectores donde el régimen térmico más frío, es posible encontrar bosquetes de *Nothofagus antártica*.

Tabla 1: Especies vegetales y su estado de conservación vigente.

| NOMBRE CIENTÍFICO | NOMBRE COMÚN | ORIGEN | ESTADO DE CONSERVACIÓN VIGENTE |
|----------------------------------|---------------------------------------|--------|--------------------------------|
| <i>Amomyrtus luma</i> | Luma | Nativa | Preocupación Menor (LC) |
| <i>Asplenium dareoides</i> | Filu-lahuén | Nativa | Preocupación Menor (LC) |
| <i>Asteranthera ovata</i> | Estrellita | Nativa | No Evaluado |
| <i>Azara lanceolata</i> | Aromo | Nativa | No Evaluado |
| <i>Campsidium valdivianum</i> | Voqui de canasta, pilpivoqui | Nativa | No Evaluado |
| <i>Chusquea culeou</i> | Colihue, Coligüe | Nativa | No Evaluado |
| <i>Chusquea macrostachya</i> | Quila | Nativa | No Evaluado |
| <i>Chusquea quila</i> | Quila | Nativa | No Evaluado |
| <i>Dasyphyllum diacanthoides</i> | Trevo | Nativa | No Evaluado |
| <i>Desfontainia espinosa</i> | Taique, Chapico, trau-trau | Nativa | No Evaluado |
| <i>Drimys andina</i> | Canelo enano | Nativa | No Evaluado |
| <i>Drimys winteri</i> | Canelo | Nativa | En Peligro (EN) |
| <i>Embothrium coccineum</i> | Notro, Ciruelillo | Nativa | Preocupación Menor (LC) |
| <i>Fitzroya cupressoides</i> | Alerce, lahuén | Nativa | En Peligro (EN) |
| <i>Gevuina avellana</i> | Avellano chileno | Nativa | Preocupación Menor (LC) |
| <i>Hydrangea serratifolia</i> | Canelilla | Nativa | No Evaluado |
| <i>Hymenophyllum pectinatum</i> | Helecho | Nativa | No Evaluado |
| <i>Laureliopsis philippiana</i> | Tepa, huahuán | Nativa | Preocupación Menor (LC) |
| <i>Luzuriaga radicans</i> | Quillineja, esparto, azahar del monte | Nativa | No Evaluado |
| <i>Mitraria coccinea</i> | Botellita, Chilca | Nativa | No Evaluado |
| <i>Nertera granadensis</i> | Rucachucaco, coralito | Nativa | No Evaluado |
| <i>Nothofagus antártica</i> | Ñirre | Nativa | Preocupación Menor (LC) |
| <i>Nothofagus betuloides</i> | Coigüe de Magallanes | Nativa | Preocupación Menor (LC) |
| <i>Nothofagus dombeyi</i> | Coigüe | Nativa | Vulnerable (VU) |
| <i>Nothofagus nítida</i> | Coigüe de Chiloé | Nativa | Preocupación Menor (LC) |
| <i>Philesia magellanica</i> | Coicopihue, copihue chico | Nativa | No Evaluado |
| <i>Podocarpus nubigena</i> | Mañío de hoja punzante | Nativa | No Evaluado |
| <i>Polypodium feuillei</i> | Calahuala, hierba del lagarto | Nativa | No Evaluado |
| <i>Pseudopanax laetevirens</i> | Traumén, sauco del diablo | Nativa | No Evaluado |
| <i>Ribes punctatum</i> | Zarzaparrilla | Nativa | No Evaluado |
| <i>Saxegothaea conspicua</i> | Mañío hembra, mañío de hojas cortas | Nativa | Casi Amenazado (NT) |
| <i>Tepualia stipularis</i> | Tepú, tepual | Nativa | No Evaluado |
| <i>Ugni candollei</i> | Murta blanca, Trau traú | Nativa | No Evaluado |
| <i>Ugni molinae</i> | Murta, murtila | Nativa | No Evaluado |
| <i>Weinmannia trichosperma</i> | Tineo | Nativa | No Evaluado |

Fuente: Elaboración propia en base Fundación RA Philippi (s/f), Luebert & Pliscoff (2006), Ministerio del Medio Ambiente (s/f), Parques para Chile (2018), Raulintal (2015), Riedemann et al. (2014), FONDECYT N°1151087.

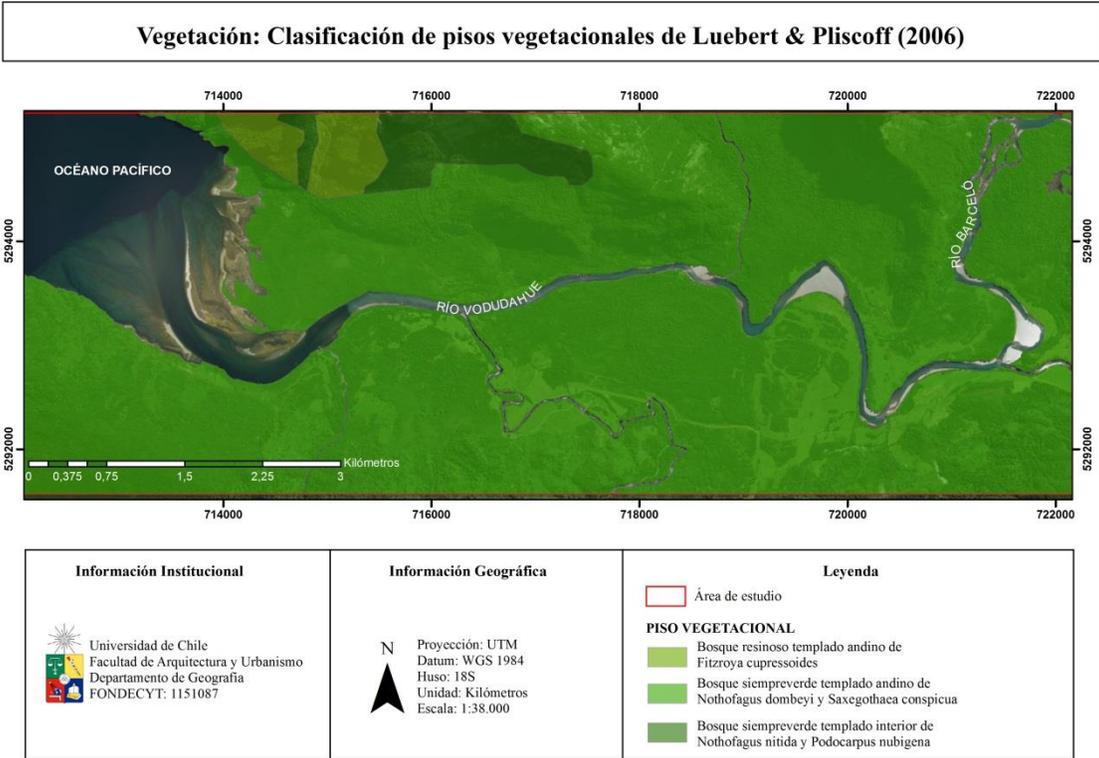


Figura 4: Clasificación de pisos vegetacionales en el área de estudio. Fuente: *Elaboración propia en base a datos obtenidos a partir de IDE (2014), FONDECYT N°1151087.*

1.3.5. *Fauna*

En cuanto a la fauna identificada por Ramírez (1996), en el área de estudio se presentan especies tales como el Puma (*Felis concolor*), Colo Colo (*Leopardus colocolo*), Gato de Geoffrey o Gato Montés (*Leopardus geoffroyi*), Pudú (*Pudu puda*), Monito del Monte (*Dromiciops glirioides*), Coipo del Sur (*Myocastor coipos*), Huillín o nutria de río (*Lontra provocax*), Jabalíes (*Sus scrofa*) y Llacas (*Thylamys elegans*) (Tabla 2).

Entre las aves identificadas se encuentran Chucao (*Scelorchilus rubecula*), Carpintero Negro (*Campephilus magellanicus*), Canquén (*Chloephaga rubidiceps*), Loro Choroy (*Enicognathus leptorhynchus*), Pato anteojillo (*Anas specularis*), Pato Cortacorrientes (*Merganetta amata*), Cóndor (*Vultur gryphus*) (Ramírez, 1996).

Otras especies encontradas en la zona son Ranita de Darwin (*Rinoderma darwini*), Cantárida (*Chiasognathus jousselini*), y Madre de la Culebra (*Acanthinodera cumingii*). A continuación se presenta la Tabla 2, la cual indica el estado de conservación vigente de cada especie nombrada anteriormente.

Tabla 2: Fauna del área de estudio y su estado de conservación

| NOMBRE CIENTÍFICO | NOMBRE COMÚN | ORIGEN | ESTADO DE CONSERVACIÓN VIGENTE |
|-----------------------------------|----------------------|---------|--------------------------------|
| <i>Anas specularis</i> | Pato anteojillo | Nativa | Insuficientemente Conocida |
| <i>Acanthinodera cumingii</i> | Madre de la Culebra | Nativa | Preocupación Menor (LC) |
| <i>Chloephaga rubidiceps</i> | Canquén | Nativa | En Peligro (EN) |
| <i>Dromiciops glirioides</i> | Monito del Monte | Nativa | Casi Amenazada (NT) |
| <i>Enicognathus leptorhynchus</i> | Loro Choroy | Nativa | En Peligro (EN) |
| <i>Leopardus colocolo</i> | Colo Colo | Nativa | Casi Amenazada (NT) |
| <i>Felis concolor</i> | Puma | Nativa | Casi Amenazada (NT) |
| <i>Leopardus geoffroyi</i> | Gato Montés | Nativa | Casi Amenazada (NT) |
| <i>Chiasognathus jousselini</i> | Cantárida | Nativa | En Peligro Crítico (CR) |
| <i>Campephilus magellanicus</i> | Carpintero negro | Nativa | En Peligro (EN) |
| <i>Lontra provocax</i> | Huillín | Nativa | En Peligro (EN) |
| <i>Thylamys elegans</i> | Llaca | Nativa | Preocupación Menor (LC) |
| <i>Merganetta amata</i> | Pato Cortacorrientes | Nativa | Casi Amenazada (NT) |
| <i>Myocastor coipos</i> | Coipo | Nativa | Preocupación Menor (LC) |
| <i>Pudu pudu</i> | Pudú | Nativa | Vulnerable (VU) |
| <i>Rinoderma darwini</i> | Ranita de Darwin | Nativa | En Peligro (EN) |
| <i>Scelorchilus rubecula</i> | Chucao | Nativa | Preocupación Menor (LC) |
| <i>Sus scrofa</i> | Jabalí | Exótica | Datos Deficientes |
| <i>Vultur gryphus</i> | Cóndor | Nativa | Vulnerable (VU) |

Fuente: Elaboración propia en base a Ministerio del Medio Ambiente (s/f). FONDECYT N°1151087.

1.3.6. Área Marina y Costera Protegida de Múltiples Usos

En el año 2001 se efectuó la declaración de Área Marina y Costera Protegida entendida como Área de Protección Ecológica que comprende las porciones de agua, fondo de mar, rocas y playa localizadas en el borde costero del Fiordo Comau por un plazo de 5 años. Sin embargo, en el año 2006 la Fundación San Ignacio de Huinay emite una carta señalando que en el Centro Científico San Ignacio de Huinay se desarrollan investigaciones que cumplen con la conservación *in situ* de la biodiversidad, protección de los ecosistemas y hábitats naturales. Por lo que solicitan que la zona sea declarada Área Marina y Costera Protegida de forma indefinida (Congreso Nacional, 2011).

Finalmente, a partir del año 2010, se decreta Área Marina y Costera Protegida en sector Huinay y Fiordo Comau bajo la figura de Área Marina y Costera Protegida de Múltiples Usos, de manera que se asegure la realización de actividades de bajo impacto por la comunidad (Congreso Nacional, 2011).

La actual Área Marina y Costera Protegida de Múltiples Usos comprende una faja de aproximadamente 75 metros de ancho a lo largo del borde costero frente al Fundo Huinay. Sin embargo, la Fundación San Ignacio de Huinay en conjunto con la Ilustre Municipalidad de Hualaihué aspiran extender esta figura con amparo legal a la totalidad del Fiordo Comau (Fundación San Ignacio de Huinay, 2016).

La figura de Área Marina Protegida se fundamenta en la presencia de una alta biodiversidad de invertebrados marinos, donde se incluye la existencia de corales de agua fría, esponjas, choros y cholgas. Además de la presencia de mamíferos marinos como lobos, delfines y ballenas. Por otro lado, aves como los petreles y pingüinos utilizan la zona para alimentarse y anidar (Centro de Conservación Marina UC, s/f).

Si bien, la figura de Área Marina Protegida sólo se aplica a un sector del fiordo Comau, su diversidad y fauna marina se extiende a lo largo de todo este.

La comunidad bentónica del Fiordo Comau se caracteriza por presentar una diversidad relativamente alta, donde la cantidad de especies se ve determinada por la profundidad.

Los primeros 10 metros desde la superficie, existe un predominio de especies tales como Mejillones (*Mytilus edulis chilensis* y *Aulacomya atra*), cirrípedos (*Cirripedia*) y bosque de Huiro (*Macrocystis porífera*) de 2 – 3 metros (Fundación San Ignacio de Huinay, s/f).

Bajo los 10 metros de profundidad, la comunidad bentónica se compone principalmente de corales de agua fría (*Scleractinia*), Látigos Marinos (*Swiftia comauensis*), Anémonas (*Actiniaria*), Braquiópodos, Briozoos, Gastrópodos, Ascidas, Gusanos tubícolas

(*Polychaeta*) y esponjas (*Porifera*), estrella de mar (*Asteroidea*), cangrejos (*Decapoda*) y Erizos (*Echinoidea*) (Fundación San Ignacio de Huinay, s/f).

En cuanto a las especies de peces que pueden ser encontradas en el Fiordo Comau, pueden ser observados peces roca (*Sebastes capensis*), rollizos (*Mugiloides chilensis*), chanchitos (*Congiopodus peruvianus*), congrios (*Genypterus chilensis* y *G. maculatus*) y trambollitos (*Helcogrammoides cunninghami*). También existe presencia ocasional de cardúmenes de sardinas (*Sprattus fuegensis* y *Strangomera bentincki*) (Fundación San Ignacio de Huinay, s/f). Por otro lado, los peces gato (*Schroederichthys canescens*) son componentes normales de la recogida de los pescadores locales (Fundación San Ignacio de Huinay, s/f).

Respecto a mamíferos marinos presentes en el sector, se han identificado al menos tres colonias de lobos marinos del sur (*Otaria flavescens*). Son frecuentes las focas elefantes del sur (*Mirounga leonina*) y delfines (*Cephalorhynchus eutropia* y *Lagenorhynchus australis*). Visitantes ocasionales del fiordo son las orcas (*Orcinus orca*), ballenas jorobadas (*Megaptera novaengliae*), ballenas blancas (*Eubalaena glacialis*) y ballenas azules (*Balaenoptera musculus*). A continuación se presenta la Tabla 3, la cual indica el estado de conservación vigente de cada especie nombrada anteriormente.

Tabla 3: Fauna marina del área de estudio y su estado de conservación.

| NOMBRE CIENTÍFICO | NOMBRE COMÚN | ORIGEN | ESTADO DE CONSERVACIÓN VIGENTE |
|------------------------------------|--------------------|-----------------|--|
| <i>Aulacomya atra</i> | Cholga | Nativa | No Evaluado |
| <i>Balaenoptera musculus</i> | Ballena azul | Nativa | En Peligro (EN) |
| <i>Cephalorhynchus eutropia</i> | Delfín chileno | Nativa | Insuficientemente conocida, Preocupación Menos (LC) |
| <i>Congiopodus peruvianus</i> | Chanchito, Cacique | Sin Información | No Evaluado |
| <i>Eubalaena glacialis</i> | Ballena Blanca | Sin Información | No Evaluado |
| <i>Genypterus chilensis</i> | Congrio colorado | Nativa | No Evaluado |
| <i>Genypterus maculatus</i> | Congrio negro | Nativa | No Evaluado |
| <i>Helcogrammoides cunninghami</i> | Trambolitos | Nativa | No Evaluado |
| <i>Lagenorhynchus australis</i> | Delfín austral | Nativa | Insuficientemente Conocida, Preocupación Menor (LC), Vulnerable (VU) |
| <i>Macrocystis pyrifera</i> | Huiro | Sin Información | No Evaluado |
| <i>Megaptera novaengliae</i> | Ballena Jorobada | Nativa | Vulnerable (VU) |
| <i>Mirounga leonina</i> | Elefante Marino | Nativa | Insuficientemente conocida, Preocupación Menos (LC), Vulnerable (VU) |
| <i>Mugiloides chilensis</i> | Rollizo | Sin Información | No Evaluado |
| <i>Mytilus edulis chilensis</i> | Mejillón | Sin Información | No Evaluado |
| <i>Orcinus orca</i> | Orca | Nativa | Datos Insuficientes (DD), Insuficientemente Conocida |
| <i>Otarya flavescens</i> | Lobo Marino Común | Nativa | Preocupación Menos (LC) |
| <i>Schroederichthys canescens</i> | Pez gato | Sin Información | No Evaluado |
| <i>Sebastes capensis</i> | Pez roca | Nativa | No Evaluado |
| <i>Sprattus fuegensis</i> | Sardina fueguina | Nativa | No Evaluado |
| <i>Swiftia comauensis</i> | Látigo Marino | Nativa | En Peligro Crítico (CR) |

Fuente: Elaboración propia en base a Ministerio del Medio Ambiente (s/f). FONDECYT N°1151087.

1.3.7. *Actividad antrópica*

Debido a la dificultad de acceso a la cuenca del río Vodudahue, las actividades relacionadas al turismo son incipientes aún. En cuanto a actividades productivas, existe desarrollo de acuicultura de especies como el salmón y miticultura o cultivo de mejillones a través de concesiones (Arratia, 2017).

Entre las actividades de mayor perturbación del entorno se encuentran los trabajos realizados por el Cuerpo Militar del Trabajo (Figura 5) en el camino longitudinal austral ruta CH-7 en el sector Huinay-Leptepú, lo cual se traduce en una senda de penetración que tiene como objetivo dar continuidad vía terrestre a la ruta 7. Esto, con la finalidad de disminuir los tiempo de navegación en el fiordo Comau y también favorecer las actividades turísticas y productivas de la zona, esta última asociada principalmente a la industria salmonícola.



Figura 5: Letrero presente en las inmediaciones del embarcadero de la localidad de Vodudahue en la orilla sur del río. *Fuente: FONDECYT N°1151087.*

Por otro lado, una de las actividades recurrentes realizadas por los habitantes es la quema de quila y matorral con la finalidad de despejar el terreno de la vegetación propia de la zona (Ramírez, 1996).

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Analizar la distribución espacial de la provisión potencial actual de servicios ecosistémicos en la cuenca de Vodudahue (X región de los Lagos) como apoyo para la toma de decisiones asociada a la gestión a escala local de recursos naturales y planificación del paisaje.

1.4.2. Objetivos específicos

1. Identificar usos y/o coberturas terrestres presentes en la cuenca de Vodudahue.
2. Identificar los principales servicios ecosistémicos reconocidos por actores locales y regionales en la cuenca de Vodudahue.
3. Analizar la provisión potencial de servicios ecosistémicos mediante la implementación del Modelo de Análisis Espacial Multicriterio (AEMC).

1.5.HIPÓTESIS

La hipótesis de esta investigación deriva de una serie de apreciaciones teóricas basadas en las características del área de estudio tales como la presencia de bosque nativo, cursos de agua y mar interior

- En Chile, a través de estudios hidrológicos comparativos realizados por Oyarzún *et al.* (2005) se plantea que el bosque templado lluvioso compuesto por especies nativas es capaz de generar un mayor abastecimiento de agua debido a que las reservas de agua del suelo permanecen sin agotarse durante más tiempo, por lo que contribuirían al mantenimiento de los flujos de agua y ciclo hidrológico.
- Por otro lado, Ruíz *et al.* (2007) plantea que los ecosistemas boscosos presentan gran valor escénico, albergan y sirven como hábitat para la biodiversidad.
- Los ríos y su entorno ribereño apoyan la regulación de los impactos de eventos extremos, la prevención de la erosión y mantenimiento de la fertilidad del suelo, la provisión de hábitat terrestre, provisión de agua tanto para seres humanos como otras especies, provisión de hábitat acuático, regulación del clima, alimento y materias primas tanto de origen animal como vegetal (Lara *et al.* 2013). También reciben, almacenan y transportan el agua lluvia (Encalada, 2010).
- Lara *et al.*, (2013) plantea que los ecosistemas ribereños prestan servicios ecosistémicos culturales, religiosos y recreativos, asociados a la pesca deportiva y el avistamiento de aves y fauna.
- En cuanto al ecosistema marino chileno, éste se caracteriza por proveer especies de pesca y recursos bentónicos, además de presentar componentes relacionados con la espiritualidad, mitos y leyendas (Rovira & Herreros, 2016).

En base a lo anterior, la hipótesis que sustenta este trabajo investigativo plantea que el área de estudio seleccionada para la cuenca del río Vodudahue responde a la capacidad de brindar una alta provisión potencial de servicios ecosistémicos de provisión, regulación y culturales debido a que en el fiordo Comau existen ecosistemas prístinos, asociados a las especies vegetales nativas que componen el bosque y a los recursos hídricos presentes en la zona, los cuales suministran importantes servicios ecosistémicos.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

En este apartado se abordan los conceptos que se utilizaron para el desarrollo de esta investigación.

2.1. DE ECOSISTEMAS A SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Los ecosistemas pueden ser definidos como una combinación compleja y dinámica de factores abióticos y bióticos, como plantas, animales, microorganismos y el entorno natural, que existen juntos como unidad y dependen unos de otros (Unión Europea, 2009). Los ecosistemas terrestres proveen una serie de “bienes y servicios” ecosistémicos, los cuales pueden ser definidos como todos aquellos beneficios que son obtenidos por parte de los seres humanos, que se derivan directa o indirectamente de las funciones ecosistémicas (Constanza *et al.*, 1997, De Groot *et al.*, 2002).

Los beneficios obtenidos directamente como frutos silvestres, madera y agua pueden ser considerados como “bienes” y los beneficios obtenidos indirectamente de los ecosistemas, tales como la regulación y mantenimiento del ciclo hidrológico, la regulación global y regional del clima o la polinización figuran como “servicios” (Ruiz & Camacho, 2011). Sin embargo, en la actualidad la literatura engloba ambos términos como “servicios ecosistémicos” debido a que si bien los bienes son percibidos de manera directa y los servicios son percibidos de forma indirecta por los seres humanos, ambos contribuyen al bienestar humano.

Para comprender cómo una determinada estructura o proceso biofísico da origen a un servicio ecosistémico Haines *et al.* (2013) proponen un esquema (Figura 6) en forma de cascada, el cual demuestra que son necesarias estructuras ecosistémicas funcionales para que se generen servicios ecosistémicos y los respectivos beneficios derivados de éstos, que otorgan a su vez bienestar humano (Haines - Young and Potschin 2013 en Ministerio de medio ambiente s/f).

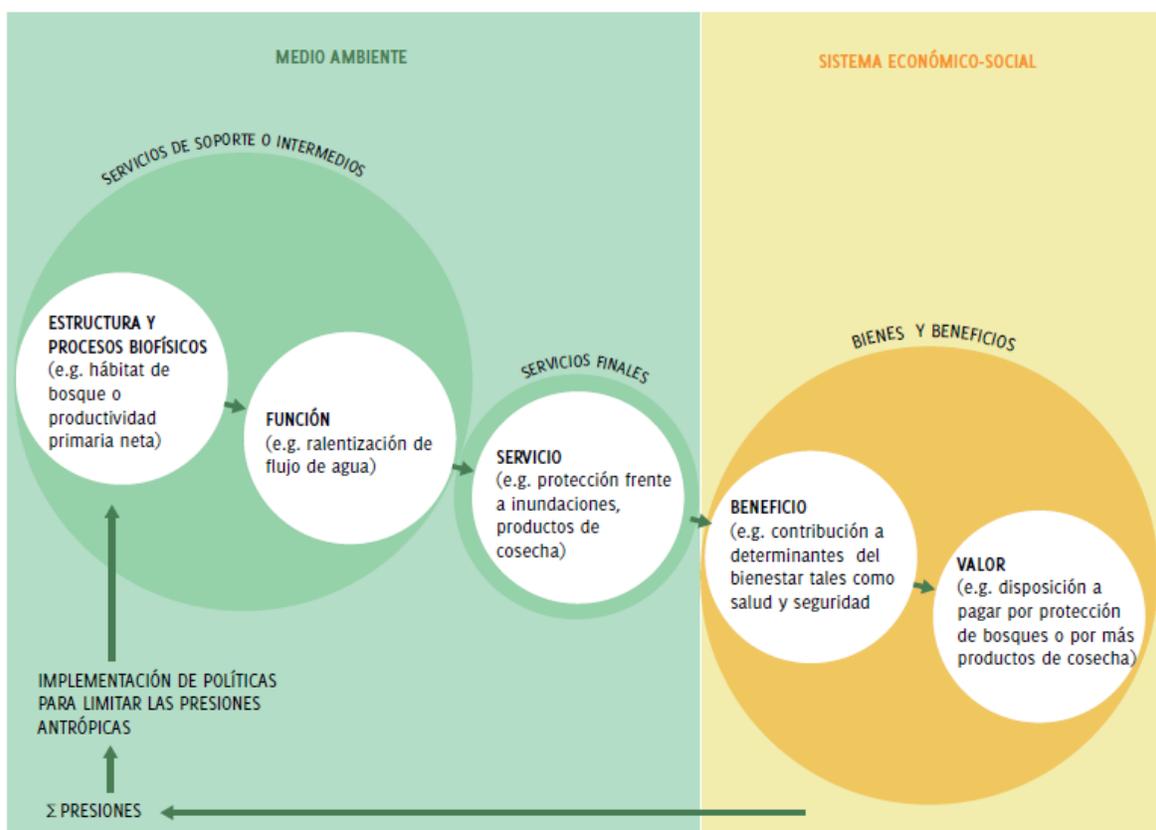


Figura 6: Esquema cascada de servicios ecosistémicos. Fuente: Ministerio del Medio Ambiente (s/f).

La cascada de servicios ecosistémicos propuesta por Haines *et al.*(2012) (Figura 6) se compone de cinco elementos donde, la estructura y los procesos biofísicos propios del entorno natural generan funciones ecosistémicas. Tomando como ejemplo el caso de la figura 1, un ecosistema boscoso como estructura, acompañado de procesos biofísicos tales como la retención de agua por parte de hojas caídas y raíces de los árboles, cumplen la función de ralentizar los flujos de agua. A partir de dicha función es que se genera el servicio ecosistémico de protección ante inundaciones, el cual trae consigo una serie de beneficios que contribuyen al bienestar humano tales como salud y seguridad.

Por otro lado, a partir de los beneficios generados por los servicios ecosistémicos percibidos por los seres humanos es que pueden ser valorados bienes y beneficios.

2.2. INICIATIVAS SOBRE CLASIFICACIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

A escala mundial han surgido diferentes iniciativas dirigidas a clasificar los servicios ecosistémicos. Es así como en el año 2001 se inicia la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio o *Millennium Ecosystem Assessment*, un programa de trabajo internacional que tiene como propósito determinar en qué medida los cambios sufridos por los servicios que brindan los ecosistemas han afectado al bienestar humano en las últimas décadas y, de qué manera éstos cambios podrían afectar al bienestar humano en el futuro. Por otro lado, la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio intenta identificar posibles respuestas que podrían adoptarse a escala local, regional y global con el objetivo de desarrollar un manejo sustentable de los ecosistemas con la finalidad de contribuir al bienestar humano.

Esta iniciativa propone cuatro tipos de servicios ecosistémicos, dentro de los cuales se encuentran los servicios ecosistémicos de base, de suministro o provisión, de regulación y servicios ecosistémicos culturales. A continuación se muestran los servicios ecosistémicos propuestos por la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (Tabla 4).

Tabla 4: Servicios ecosistémicos propuestos por la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio.

| | | |
|---|--|--------------------------------|
| <p>SERVICIOS DE BASE <i>Servicios necesarios para la producción de los demás servicios de los ecosistemas</i> (Formación del suelo, Ciclos de los nutrientes, Producción de materias primas)</p> | <p>SERVICIOS DE SUMINISTRO Productos que se obtienen de los ecosistemas</p> | Alimentos |
| | | Agua pura |
| | | Leña |
| | | Fibras |
| | | Bioquímicos |
| | | Recursos genéticos |
| | <p>SERVICIOS DE REGULACIÓN Beneficios que se obtienen de la regulación de los procesos de los ecosistemas</p> | Regulación del clima |
| | | Regulación de las enfermedades |
| | | Regulación del agua |
| | | Purificación del agua |
| | <p>SERVICIOS CULTURALES Beneficios intangibles que se obtienen de los ecosistemas</p> | Espirituales y religiosos |
| | | Recreación y ecoturismo |
| | | Estéticos |
| | | De inspiración |
| | | Educacionales |
| | Sentido de identidad y pertenencia a un lugar | |
| | Herencia cultural | |

Fuente: Elaboración propia en base a *Millennium Ecosystem Assessment* (2003). FONDECYT N°1151087.

Más tarde en el año 2008, inspirado en la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio nace la iniciativa llamada la Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad (TEEB) o *The Economics of Ecosystems and Biodiversity*, la cual tiene como objetivo identificar el valor económico de los servicios brindados por los ecosistemas con la finalidad de generar políticas que resulten efectivas para la protección de la biodiversidad, y así alcanzar los objetivos propuestos en el Convenio sobre la Diversidad Biológica. Este convenio fue adoptado el 5 de junio de 1992 en Río de Janeiro, Brasil. Sin embargo, Chile adscribió al convenio el 5 de septiembre de 1994, donde las partes contratantes se declaran “conscientes del valor intrínseco de la diversidad biológica y de los valores ecológicos, genéticos, sociales, económicos, científicos, educativos, culturales, recreativos y estéticos de la diversidad biológica y sus componentes, conscientes asimismo de la importancia de la diversidad biológica para la evolución y para el mantenimiento de los sistemas necesarios para la vida de la biosfera” (Congreso Nacional, 1995).

Si bien esta iniciativa se inspiró en la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio y en ella se proponen servicios ecosistémicos similares tales como la provisión de alimentos, materias primas, agua, la regulación del clima y servicios culturales de recreación, espirituales, etc, también se propone una nueva categoría que alude a los servicios de Hábitat (Tabla 5), donde se incluyen los servicios ecosistémicos de hábitats para especies y hábitats para la diversidad genética. A continuación, se presentan los servicios ecosistémicos propuestos por la Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad (TEEB).

Tabla 5: Servicios ecosistémicos propuestos por la Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad.

| TIPO DE SERVICIO ECOSISTÉMICO | SUB-CATEGORÍA |
|---------------------------------------|---|
| SERVICIOS DE PROVISIÓN | Alimentos |
| | Materias primas |
| | Agua dulce |
| | Recursos medicinales |
| SERVICIOS DE REGULACIÓN | Regulación de la calidad del aire y el clima local |
| | Secuestro y almacenamiento de carbono |
| | Moderación de los desastres naturales |
| | Tratamiento de las aguas residuales |
| | Prevención de la erosión y mantenimiento de la fertilidad del suelo |
| | Polinización |
| SERVICIOS DE HÁBITAT O SOPORTE | Control biológico |
| | Hábitats para especies |
| SERVICIOS CULTURALES | Mantenimiento de la diversidad genética |
| | Actividades recreativas, salud mental y física |
| | Turismo |
| | Apreciación estética e inspiración para la cultura, el arte y el diseño |
| | Experiencia espiritual y sentido de pertenencia |

Fuente: Elaboración propia en base a The Economics of Ecosystems and Biodiversity (2010). FONDECYT N°1151087.

En el año 2009, la Comisión Internacional de Clasificación de Servicios Ecosistémicos (CICES) o *The Common International Classification of Ecosystem Services* (Tabla 5) propone una nueva lista de servicios ecosistémicos con la finalidad de nombrar y describir los diferentes servicios. Esta lista no presenta tantas similitudes entre sí con las iniciativas anteriores (Tabla 6). A continuación se presentan los servicios ecosistémicos propuestos por la Comisión Internacional de Clasificación de Servicios Ecosistémicos (CICES).

Tabla 6: Servicios ecosistémicos propuestos por la Clasificación Internacional Común de los Servicios de los Ecosistemas (2013).

| SECCIÓN | DIVISIÓN | GRUPO |
|----------------------------|---|--|
| PROVISIÓN | Nutrición | Biomasa |
| | | Agua |
| | Materiales | Biomasa, Fibras |
| | | Agua |
| | Energía | Fuentes de energía basadas en biomasa |
| | | Energía mecánica |
| REGULACIÓN Y MANTENIMIENTO | Mediación de residuos y sustancias tóxicas | Mediación por biota |
| | | Mediación por ecosistemas |
| | Mediación de flujos | Flujos de masa |
| | | Flujos líquidos |
| | | Flujos gaseosos/aire |
| | Mantenimiento de las condiciones físicas, químicas y biológicas | Mantenimiento del ciclo de vida, hábitat y protección de la reserva de genes |
| | | Control de plagas y enfermedades |
| | | Formación y composición del suelo |
| | | Condiciones del agua |
| | | Composición atmosférica y regulación climática |
| CULTURAL | Interacciones físicas e intelectuales con ecosistemas y paisajes terrestres / marinos | Interacciones físicas y vivenciales |
| | | Interacciones intelectuales y representacionales |
| | Interacciones espirituales, simbólicas y de otro tipo con ecosistemas y paisajes terrestres / marinos | Espiritual y / o emblemático |
| | | Otros productos culturales |

Fuente: Elaboración propia en base a Common International Classification of Ecosystem Services (2013). FONDECYT N°1151087.

2.3. TIPOS DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Si bien no existen definiciones totalmente aceptadas o clasificaciones a través de las cuales puedan ser valoradas de forma integral los servicios ecosistémicos Ruiz & Camacho (2011) plantean que hay una tendencia a aceptar la propuesta de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2003). Sin embargo, autores como Carpenter *et al.* (2006), Sachs & Reid (2006) sugieren que es necesario utilizar los conceptos de esta clasificación de forma que no resulten estáticos, sino que deben evolucionar en el tiempo.

2.3.1. Servicios de soporte o base

Los servicios ecosistémicos de soporte o base son aquellos servicios imprescindibles para la producción de los servicios ecosistémicos de regulación, provisión y culturales. Dentro de estos se encuentran la formación del suelo, la cual considera la acumulación de materia orgánica y retención de sedimentos, y por otro lado, el ciclado de nutrientes, el cual se basa en el almacenaje, reciclaje, procesamiento y adquisición de nutrientes (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005).

2.3.2. Servicios de regulación

Los servicios de regulación son los beneficios que obtienen los seres humanos a partir de la regulación de los procesos de los ecosistemas tales como la regulación del clima, donde el uso y/o cobertura actúa como fuente y sumidero de gases de efecto invernadero ya sea a nivel local o global, influyendo así sobre variables como la temperatura, la precipitación y otros procesos climáticos (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005). Otro ejemplo de servicio de regulación es el asociado al control y purificación del agua, el cual se centra principalmente en la recarga y descarga de aguas subterráneas en el primero y la retención, recuperación y la eliminación del exceso de nutrientes en el segundo.

En cuanto a otros servicios ecosistémicos de regulación se encuentran el control de la erosión, el mantenimiento de la calidad del aire, la polinización, la regulación ante desastres naturales, etc.

2.3.3. Servicios de provisión o suministro

Los servicios de provisión o suministro son todos aquellos productos que se obtienen de los ecosistemas tales como alimentos, la producción de pescado, la caza, las frutas y granos, la provisión de agua pura, leña y forraje, fibras, bioquímicos, biodiversidad y recursos genéticos tales como los genes para la resistencia a patógenos de plantas, especies ornamentales, etc. (Evaluación de los ecosistemas del milenio, 2005).

2.3.4. Servicios culturales

Los servicios culturales son los beneficios intangibles que las personas obtienen de los ecosistemas tales como la recreación y el ecoturismo, servicios estéticos, de inspiración,

educación, sentido de la identidad y pertenencia a un lugar, la herencia cultural y aquellos ligados a lo espiritual y religioso. (Evaluación de los ecosistemas del milenio, 2005).

2.4. INVESTIGACIÓN SOBRE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN CHILE

En el caso chileno, la investigación de servicios ecosistémicos ha estado orientada principalmente a la provisión de ecosistemas forestales y de valoraciones económicas (Oyarzún *et al.* 2005, Nahuelhual *et al.* 2007, Lara *et al.* 2009, Little & Lara 2010, Delgado *et al.* 2013 en De la Barrera *et al.* 2015). En cuanto a lo anterior, un 55,2% de las investigaciones han estado enfocadas en la valoración económica, un 10,7% en la modelación de servicios ecosistémicos y sólo un 9,5% a su mapeo (De la Barrera *et al.*, 2015). Por otro lado, los ecosistemas más estudiados han sido los terrestres por sobre los ecosistemas acuáticos continentales y marinos – costeros.

En cuanto al tipo de servicios estudiados, en Chile destacan aquellos relacionados con el turismo y la provisión de agua dulce para beber (De la Barrera *et al.*, 2015).

Respecto a la distribución espacial de dichas investigaciones, según De la Barrera *et al.* (2015), existe una concentración de éstas en áreas de la zona central y centro sur del país, por lo que existen vacíos de información en ecosistemas desérticos, zonas montañosas y con presencia de glaciares, ecosistemas de origen antrópico y ecosistemas marino – costeros e insulares.

Considerando lo anterior, surge la importancia del área de estudio, por encontrarse en la zona sur austral y a su vez, por encontrarse inserta en un ecosistema compuesto por bosques de especies nativas, zonas montañosas y con presencia de glaciares en la cabecera de la cuenca.

2.5. MAPEO DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Para llevar a cabo el mapeo de servicios ecosistémicos, a nivel internacional y nacional se han desarrollado una serie de metodologías enfocadas en la espacialización de servicios ecosistémicos.

Una de estas metodologías, de carácter internacional, es el protocolo colaborativo de evaluación y mapeo de servicios ecosistémicos y vulnerabilidad socio-ecológica para el ordenamiento territorial (ECOSER). Esta metodología se fundamenta en la evaluación cuantitativa de funciones ecosistémicas y/o paisajes donde predomina la selección de una serie de atributos que son integrados en conjunto a variables sustitutas o proxys fundamentados en índices o modelos de procesos que representan funciones ecosistémicas, las cuales dan origen a diferentes servicios ecosistémicos (Latterra *et al.*, 2015).

Por otro lado, Burkhard *et al.* (2009) propone una metodología más general, basada en el mapeo de servicios ecosistémicos en función de la evaluación por parte de un panel de expertos, el cual tiene por objetivo evaluar cualitativamente la capacidad de un determinado paisaje para proveer servicios ecosistémicos.

Otros autores tales como Koschke *et al.* (2012), proponen una estimación cualitativa para obtener el potencial regional para proveer servicios ecosistémicos desde un enfoque multicriterio, a partir de la participación de actores regionales e interesados a través de un método de transferencia de beneficios y evaluaciones basadas en la opinión de expertos.

En cuanto a experiencias de mapeo nacionales, Esse *et al.* (2014) plantea el desarrollo de un Modelo Espacial de Análisis Multicriterio (AEMC) basado en la aplicación de tres modelos algebraicos de primer orden a partir de la percepción de un panel de expertos y actores locales.

CAPÍTULO 3: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

El propósito principal de esta investigación es identificar y analizar la provisión potencial de servicios ecosistémicos asociados a los ecosistemas existentes representados a través de las coberturas identificadas para el área de estudio seleccionada en una parte de la cuenca del río Vodudahue.

En este apartado, se exponen los materiales y métodos utilizados para la resolución de los objetivos específicos planteados anteriormente. Para el desarrollo de los objetivos, se consideró información cuantitativa y cualitativa procedente de fuentes primarias y secundarias. Por otro lado, el método de investigación utilizado en este estudio se basó principalmente en la fotointerpretación y la implementación del Modelo de Análisis Espacial Multicriterio (AEMC) propuesto por Esse *et al.* (2014).

Durante el mes de noviembre de 2017 se efectuó el trabajo en terreno que consistió en la comprobación de información generada mediante fotointerpretación previa a la visita y la recopilación de datos desde actores locales y regionales. La recopilación de datos mediante encuesta se realizó en las localidades de Huinay, Vodudahue y la ciudad de Puerto Montt.

Con la información generada durante el trabajo previo al terreno y el levantamiento de datos, se procedió al análisis espacial de la información mediante la utilización de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

3.1. IDENTIFICACIÓN DE USOS Y/O COBERTURAS TERRESTRES PRESENTES EN LA CUENCA DE VODUDAHUE

Las superficies presentes en el área de estudio, se identificaron a través de fotointerpretación de los usos y coberturas. Las categorías de cubiertas terrestres identificadas en la cuenca de Vodudahue fueron definidas a partir de la propuesta de clasificación europea CORINE *land cover classes* (Tabla 7). El uso de dicha nomenclatura se fundamenta en la premisa de que en Chile no existe una terminología común para identificar usos y coberturas existentes en los espacios no urbanos.

Para la interpretación visual de imágenes satelitales, se trabajó con el software ArcGIS versión 10.2 y el empleo del basemap de éste a una escala de 1:5.000. Dicho basemap se compone de un fotomosaico con imágenes disponibles para el 3 de enero del año 2014 y el 22 de octubre de 2015, ambas con una resolución espacial de 0,5 metros. La fuente de dichas imágenes es *Digital Globe*, empresa que trabaja con los sensores WorldView-1, GeoEye-1, WorldView-2, WorldView-3 y WorldView-4. Como software de apoyo para la visualización del área de estudio se utilizó el software libre *Google Earth Pro*.

El trabajo en Sistemas de Información Geográfica (SIG), consistió principalmente en la creación de nuevas capas o *shapefiles* a través de ArcCatalog de ArcGis. Dichas capas o *shapefiles* dieron origen a las distintas coberturas existentes en el área de estudio, las cuales fueron bosquejadas mediante el dibujo de polígonos sobre el basemap de *ArcMap* a través de fotointerpretación.

Cabe destacar que, las coberturas extraídas desde la nomenclatura CORINE *land cover classes* fueron modificadas con la finalidad de adaptarlas a la realidad presente en el área de estudio. En cuanto a dichas modificaciones, se hizo distinción entre la roca descubierta o expuesta localizada en las laderas o cumbres de las montañas, las cuales generalmente cumplen la función de acumular agua en estado sólido. Por otra parte, también se identificó roca descubierta (Figura 7) correspondiente a depósitos de origen fluvial localizado a los costados de los cursos fluviales presentes y desembocadura del río Vodudahue, puesto que, ésta última no encajaba en la definición propuesta por CORINE referida a playas, dunas y arenas.

En la figura a continuación se exponen las nueve categorías (modificadas a partir CORINE *land cover classes*) utilizadas para la identificación de coberturas en la cuenca del río Vodudahue.

Tabla 7: Definición de coberturas utilizadas para fotointerpretación en el área de estudio.

| COBERTURA | DEFINICIÓN NOMENCLATURA CORINE LAND COVER (MODIFICADA) |
|--|---|
| Bosque | Formación vegetal compuesta principalmente de árboles, incluyendo arbustos y vegetación de sotobosque. Donde no predominan las especies pertenecientes a las coníferas ni otras especies. |
| Praderas | Pastizales de baja productividad. A menudo situadas en zonas de terreno áspero, desigual. Con frecuencia incluye zonas rocosas, zarzas y brezales. |
| Transición bosque/arbusto | Corresponde a la vegetación arbustiva o herbácea con árboles dispersos. Puede representar la degradación del bosque o la regeneración/colonización de éste. |
| Roca descubierta (afloramientos rocosos) | Acantilados, afloramientos rocosos, incluye pisos activos de erosión, y altas cumbres desprovistas de nieve. |
| Roca descubierta (depósitos fluviales) | Depósitos fluviales localizados en la desembocadura y a los costados de los cursos fluviales. |
| Áreas con poca vegetación | Incluye suelo desprovisto de vegetación o con poca vegetación. |
| Zonas húmedas | Tierras bajas inundadas generalmente en invierno y más o menos saturadas de agua durante todo el año. |
| Cursos de agua | Cursos de agua naturales o artificiales que sirven como canales de drenaje de agua. |
| Mar | Mar y zonas del límite inferior de las mareas. |

Fuente: Traducción libre en base a metodología CORINE land cover classes. FONDECYT N°1151087.

Posteriormente, aspectos de la fotointerpretación fueron corregidos en base a comprobaciones en terreno realizadas durante el mes de noviembre de 2017 a partir de una ruta marítima y terrestre (Figura 8), donde dentro de las principales dudas radicaba en la composición granulométrica de los depósitos fluviales, lo cual determinó finalmente la modificación de las categorías propuestas por la nomenclatura CORINE *land cover classes*.

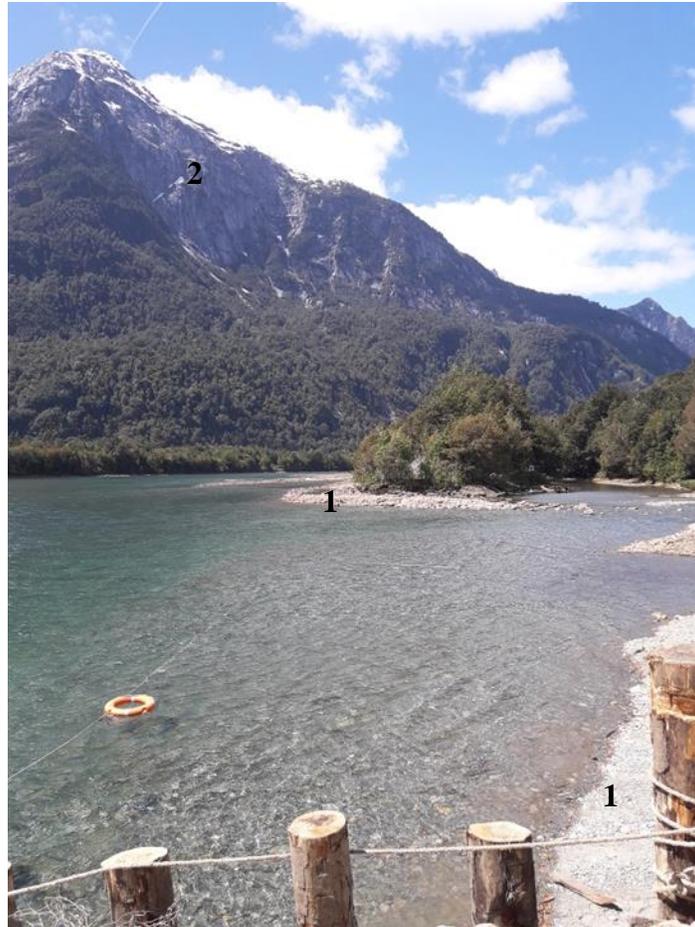


Figura 7: Vista desde el embarcadero hacia el noreste. En la imagen se puede apreciar la cobertura 1. Roca descubierta asociada a depósitos de origen fluvial y 2. Roca descubierta (cara libre) de los macizos montañosos presentes en el área de estudio. *Fuente: FONDECYT N°1151087.*

Una vez finalizada la delimitación de las coberturas, se calculó el área en kilómetros cuadrados de cada una de ellas a través de la calculadora de geometría de *ArcMap*. Luego, las tablas de atributos de las 9 capas resultantes fueron exportadas desde *ArcGis* para ser analizadas en el software *Microsoft Excel*, donde se realizaron gráficos para representar las diferencias de área identificadas para cada cobertura en el área de estudio.

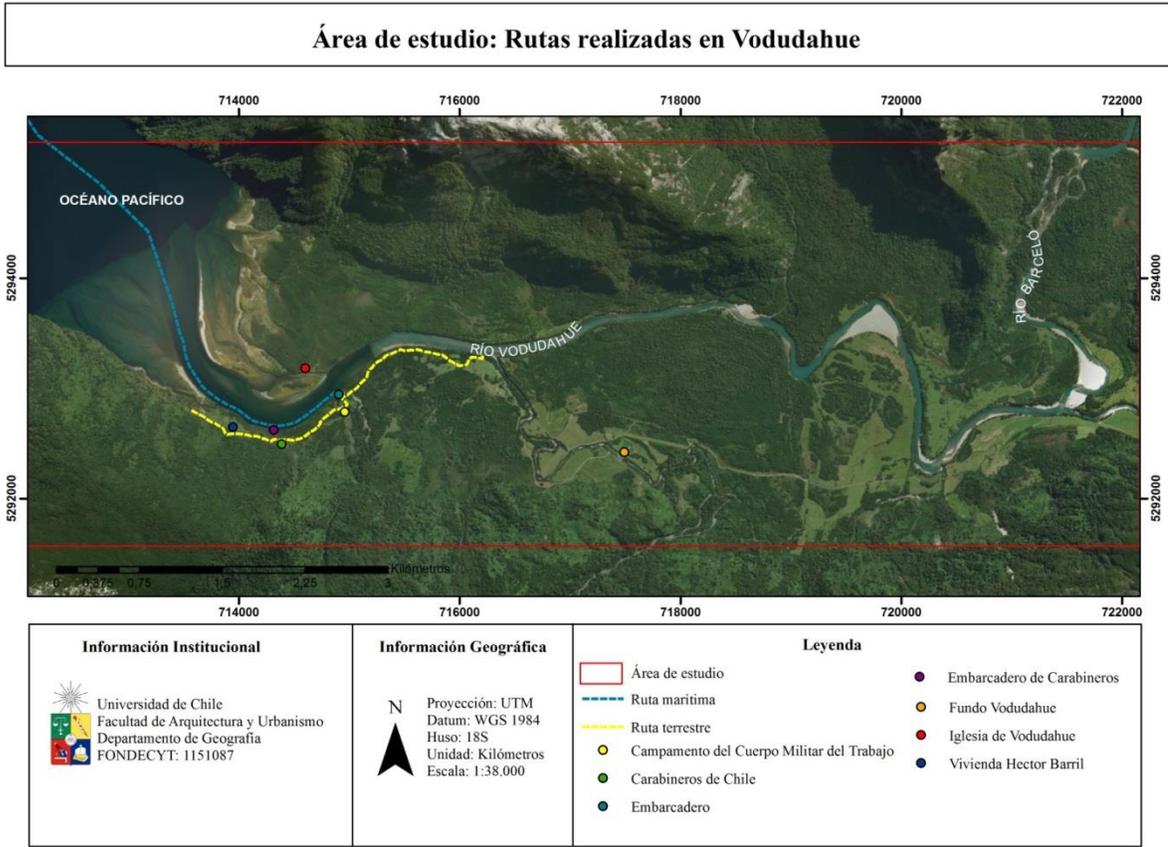


Figura 8: Rutas realizadas para la corroboración de coberturas. *Fuente: FONDECYT N°1151087.*

3.2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PRINCIPALES SERVICIOS ECOSISTÉMICOS RECONOCIDOS POR ACTORES LOCALES Y REGIONALES EN LA CUENCA DE VODUDAHUE

Con el propósito de identificar los principales servicios ecosistémicos reconocidos por los actores locales y regionales se requirieron de entrevistas presenciales con 7 actores (Tabla 8), donde se les solicitó responder de forma oral una matriz, la cual tuvo como finalidad rescatar, a partir de la percepción de cada integrante, la manera en que aporta cada cobertura identificada a la provisión de un determinado servicio ecosistémico.

En el caso de aquellos localizados en el fiordo Comau, la cantidad de actores fue seleccionada a partir de la disponibilidad de éstos, debido a que en Vodudahue el principal obstáculo fueron las grandes distancias por recorrer y la escasez de habitantes. Las entrevistas en Huinay se restringieron a habitantes del centro científico San Ignacio de Huinay, puesto que la avanzada edad de otros pobladores surgió como impedimento para aplicar la matriz.

En el caso de las entrevistas realizadas en Puerto Montt, se contactó a la Dirección General de Aguas (DGA), al Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA), a la Corporación Nacional Forestal (CONAF) y al Ministerio de Medio ambiente pertenecientes a la X región de Los Lagos. También fue contactada la oficina de turismo de la Ilustre Municipalidad de Hualaihué. Sin embargo, sólo se obtuvo disponibilidad de agendar encuentros con funcionarios pertenecientes a DGA, SERNAPESCA y CONAF. Dichas instituciones fueron seleccionadas a partir del supuesto de que los actores tuviesen nociones sobre el tema de servicios ecosistémicos, lo cual resultó ser acertado en todos los casos.

Tabla 8: Actores encuestados e información adicional.

| NOMBRE | OCUPACIÓN | LUGAR DE ENTREVISTA |
|-------------------|--|---------------------|
| Hector Barril | Propietario de empresa de turismo dedicado a la pesca deportiva en Vodudahue. | Vodudahue |
| Carlos Gamin | Encargado de vivero forestal en centro científico San Ignacio de Huinay. | Huinay |
| Ulrich Porschmann | Administrador en centro científico San Ignacio de Huinay. Biólogo. | Huinay |
| Stacey Bally | Investigadora encargada del área de Sistemas de Información Geográfica de centro científico San Ignacio de Huinay. | Huinay |
| Ana Vargas | Encargada de expedientes de la Dirección General de Aguas, X región de Los Lagos. Ingeniera Forestal. | Puerto Montt |
| Paula Muñoz | Subrogante de la unidad de gestión ambiental SERNAPESCA, X región de los Lagos. Ingeniera civil ambiental. | Puerto Montt |
| Luis Infante | Director regional de CONAF, X región de los Lagos. Ingeniero Forestal. | Puerto Montt |

Fuente: FONDECYT N°1151087.

Para identificar los principales servicios ecosistémicos, se construyó una matriz que incluyó las 9 coberturas identificadas y una lista de 17 servicios ecosistémicos extraídos desde la metodología planteada por Esse *et al.* (2014) y de las diferentes iniciativas descritas en el marco teórico. Los servicios ecosistémicos seleccionados para esta investigación se muestran según tipo a continuación en las tablas 9, 10 y 11.

Tabla 9: Servicios ecosistémicos de provisión, definición y fuente.

| SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE PROVISIÓN | DEFINICIÓN | FUENTE |
|--------------------------------------|---|---|
| Alimentos | Los ecosistemas proporcionan las condiciones necesarias para cultivar alimentos, en hábitats salvajes y en ecosistemas agrícolas gestionados. | The Economics of Ecosystems and Biodiversity (2010) |
| Materias primas | Los ecosistemas proporcionan una gran diversidad de materiales para la construcción y su uso como combustibles | The Economics of Ecosystems and Biodiversity (2010) |
| Agua dulce | Los ecosistemas proporcionan aguas superficiales y subterráneas | The Economics of Ecosystems and Biodiversity (2010) |
| Recursos genéticos y biodiversidad | Plantas y animales, terrestres y acuáticos. Incluye especies nativas y domesticadas utilizadas para la nutrición humana (Ej: ganado, peces, etc.) | Esse et al. (2014) |
| Recursos medicinales | Muchas plantas se utilizan como medicamentos tradicionales así como materias primas para el sector farmacéutico | The Economics of Ecosystems and Biodiversity (2010) |

Fuente: FONDECYT N°1151087.

Tabla 10: Servicios ecosistémicos de regulación, definición y fuente.

| SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE REGULACIÓN | DEFINICIÓN | FUENTE |
|--|---|--|
| Moderación de los desastres naturales | Los ecosistemas y los organismos vivos crean amortiguadores frente a peligros naturales como inundaciones, tormentas y deslizamientos de tierra. | The Economics of Ecosystems and Biodiversity (2010) |
| Prevención de la erosión y mantenimiento de la fertilidad del suelo | La erosión del suelo es un factor clave en el proceso de degradación y desertificación del terreno. | The Economics of Ecosystems and Biodiversity (2010) |
| Biorremediación, dilución, filtración y degradación de contaminantes | Incuye la capacidad del ambiente biofísico para la regulación de agentes contaminantes y nocivos, en especial la regulación en la calidad del agua. Ej.: fitodegradación, fitoabsorción, dilución-degradación de sustancias en cuerpos de agua. | Esse et al. (2014) |
| Mantenimiento de los flujos de agua y ciclo hidrológico | Capacidad de mantener los flujos bases para el abastecimiento de agua y descarga; como por ejemplo la recarga a través de coberturas apropiadas que captan precipitación, incluye aspectos tales como la escasez de agua y sequía. | Common International Classification of Ecosystem Services (2013) |
| Polinización y dispersión de semillas | Polinización por abejas y otros insectos; dispersión de semillas por insectos, pájaros y otros animales. | Common International Classification of Ecosystem Services (2013) |
| Mantenimiento de habitats y poblaciones | Habitat para plantas y animales, y su reproducción. Por ejemplo; algas, microestructura de ríos, etc. Hábitats para las especies: los hábitats facilitan todo lo que una planta o animal necesita para sobrevivir. Las especies migratorias necesitan hallar hábitats propicios durante sus rutas migratorias | Common International Classification of Ecosystem Services (2013) |
| Control de plagas | Control de plagas y enfermedades, incluyendo especies exóticas invasoras | Common International Classification of Ecosystem Services (2013) |
| Regulación global del clima por reducción de la concentración de gases de efecto invernadero | Regulación global del clima por el secuestro de gases de efecto invernadero por los ecosistemas terrestres, columnas de agua y sedimentos, y su respectiva biota. Transporte de carbono por los océanos. | Common International Classification of Ecosystem Services (2013) |
| Regulación local y regional del clima | Modificación de la temperatura, humedad y viento. Mantenimiento del clima y la calidad de aire en zonas urbanas y rurales, y de los patrones regionales de precipitación y temperatura. | Common International Classification of Ecosystem Services (2013) |

Fuente: FONDECYT N°1151087.

Tabla 11: Servicios ecosistémicos culturales, definición y fuente.

| SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE REGULACIÓN | DEFINICIÓN | FUENTE |
|--|---|--------------------|
| Recreación y turismo | Se relaciona con la experiencia física y psicológica del uso de los ecosistemas en actividades no extractivas. Ej.: senderismo, nado, observación de fauna, etc. | Esse et al. (2014) |
| Representaciones estéticas, espirituales y de no-uso | Incluyen todas las representaciones intelectuales y significados que el ser humano asigna a los ecosistemas. Ej.: simbolismos, cosmovisión, lugares o especies sagradas, sentido de identidad/ pertenencia al lugar, herencia cultural, valores de existencia de las especies silvestres. | Esse et al. (2014) |
| Información y conocimiento | Constituye el acervo histórico, científico y educacional de un determinado grupo humano y asociado a un espacio geográfico. Ej.: investigación científica, registro de acontecimientos históricos, establecimientos educacionales. | Esse et al. (2014) |

Fuente: FONDECYT N°1151087.

Con el objetivo de rellenar la matriz, a cada actor se le preguntó, de acuerdo a su percepción, si determinada cobertura tenía la capacidad de proveer de forma individual cada uno de los servicios seleccionados. Cabe destacar que si la respuesta era afirmativa, la celda se rellenó con el número 1, en cambio si la respuesta era negativa, la celda fue completada con el número 0. Este procedimiento se repitió para cada cobertura y servicio ecosistémico. Si bien en total se realizó la entrevista a 7 actores, sólo 6 de ellos accedieron a completar la matriz, resultando un total de 6 matrices y 7 valoraciones.

Finalmente, las celdas correspondientes a la intersección entre la misma cobertura y servicio ecosistémico de cada matriz fueron sumadas, dando como resultado la recurrencia o frecuencia de cada servicio ecosistémico, de tal forma que se reveló cuales fueron los servicios con mayor presencia en cada cobertura en el área de estudio, según las apreciaciones de los actores. Lo anterior puede ser ejemplificado entre la intersección del servicio ecosistémico de provisión de alimentos y la cobertura bosque mixto, donde el dígito 3 indica que 3 de un total de 6 actores le atribuyeron la capacidad al bosque mixto de proveer alimentos, caso que resulta diferente para la cobertura praderas en el mismo servicio ecosistémico, donde el total de los actores (6) asignaron a las praderas la capacidad de proveer alimento (Tabla 12).

Tabla 12: Matriz de servicios ecosistémicos y coberturas.

| Servicios ecosistémicos | Actores locales y regionales | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|--|----------|---------------------------|--|--|---------------------------|---------------|----------------|-----|-------|----|
| | Bosque mixto | Praderas | Transición bosque-arbusto | Roca descubierta (Afloramientos rocosos) | Roca descubierta (Depósitos fluviales) | Áreas con poca vegetación | Zonas húmedas | Cursos de agua | Mar | Total | |
| Servicios de provisión | | | | | | | | | | | |
| 1 | Alimentos | 3 | 6 | 3 | 0 | 1 | 2 | 2 | 5 | 6 | 28 |
| 2 | Materias primas | 6 | 2 | 5 | 2 | 1 | 1 | 4 | 3 | 4 | 28 |
| 3 | Agua dulce | 4 | 2 | 4 | 2 | 1 | 1 | 4 | 6 | 1 | 25 |
| 4 | Recursos genéticos y biodiversidad | 5 | 5 | 5 | 0 | 2 | 2 | 5 | 5 | 6 | 35 |
| 5 | Recursos medicinales | 4 | 4 | 5 | 0 | 0 | 1 | 3 | 1 | 4 | 22 |
| Servicios de regulación | | | | | | | | | | | |
| 6 | Moderación de los desastres naturales | 6 | 3 | 5 | 2 | 4 | 2 | 4 | 3 | 4 | 33 |
| 7 | Prevención de la erosión y mantenimiento de la fertilidad del suelo | 6 | 4 | 6 | 1 | 1 | 3 | 4 | 3 | 1 | 29 |
| 8 | Biorremediación, dilución, filtración y degradación de contaminantes | 6 | 4 | 5 | 1 | 1 | 2 | 4 | 3 | 4 | 30 |
| 9 | Mantenimiento de los flujos de agua y ciclo hidrológico | 6 | 5 | 6 | 4 | 2 | 2 | 5 | 5 | 5 | 40 |
| 10 | Polinización y dispersión de semillas | 6 | 5 | 6 | 0 | 0 | 1 | 3 | 2 | 2 | 25 |
| 11 | Mantenimiento de habitats y poblaciones | 6 | 6 | 6 | 3 | 3 | 4 | 6 | 5 | 6 | 45 |
| 12 | Control de plagas | 5 | 3 | 6 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 18 |
| 13 | Regulación global del clima por reducción de la concentración de gases de efecto invernadero | 6 | 3 | 6 | 1 | 0 | 2 | 3 | 2 | 5 | 28 |
| 14 | Regulación local y regional del clima | 6 | 3 | 5 | 2 | 1 | 2 | 4 | 3 | 6 | 32 |
| Servicios culturales | | | | | | | | | | | |
| 15 | Recreación y turismo | 6 | 5 | 6 | 3 | 4 | 3 | 6 | 6 | 6 | 45 |
| 16 | Representación estéticas, espirituales y de no-uso | 6 | 4 | 5 | 1 | 3 | 2 | 3 | 5 | 5 | 34 |
| 17 | Información y conocimiento | 6 | 4 | 5 | 3 | 3 | 3 | 4 | 5 | 6 | 39 |

Fuente: FONDECYT N°1151087.

3.3. MAPEO DE LA PROVISIÓN POTENCIAL DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE ANÁLISIS ESPACIAL MULTICRITERIO (AEMC)

Para analizar la provisión potencial de servicios ecosistémicos en la cuenca del río Vodudahue se utilizó una adaptación del Modelo de Análisis Espacial Multicriterio (AEMC) empleado por Esse *et al.* (2014) en la subcuenca del río Quepe, IX región de la Araucanía.

La escala de importancia tiene como propósito entender a partir de la percepción de los actores el nivel de relevancia que tiene actualmente la presencia de los 17 servicios ecosistémicos en el área de estudio.

Para llevar a cabo el modelo, cada actor asignó un valor de acuerdo con una escala que abarcó desde el número 1 al 3, donde 1 representó “poco relevante”, 2 “medianamente relevante” y 3 “muy relevante” (Tabla 13). Esta escala fue aplicada a cada servicio individualmente con el objetivo de obtener una medida sobre la importancia perceptual que tiene cada uno de los 17 servicios ecosistémicos para los actores. Dichos valores fueron promediados con la finalidad de asignar a cada servicio ecosistémico un puntaje en particular, el cual se tradujo en un peso relativo para cada servicio en su ecuación correspondiente con el propósito de establecer jerarquías e importancia al interior de cada ecuación.

Por otro lado, se utilizó la suma total de la recurrencia o frecuencia de cada servicio (Tabla 12) obtenida a través del objetivo número dos de esta investigación como el puntaje de cada servicio ecosistémico, con la finalidad de integrar esta medida en la ecuación.

Tabla 13: Escala de importancia en términos perceptuales asignada por los actores a cada servicio ecosistémico, promedio de dicha valoración y su respectivo peso relativo.

| Servicios ecosistémicos | Actores locales y regionales | | | | | | | | Promedio valoración | Peso relativo |
|--------------------------------|--|--------------|-------------------|--------------|------------|-------------|--------------|---|---------------------|---------------|
| | Hector Barril | Carlos Gamin | Ulrich Porschmann | Stacey Bally | Ana Vargas | Paula Muñoz | Luis Infante | | | |
| Servicios de provisión | | | | | | | | | | |
| 1 | Alimentos | 1 | 3 | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 | 2,4 | 0,20 |
| 2 | Materias primas | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 3 | 3 | 2,3 | 0,18 |
| 3 | Agua dulce | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2,9 | 0,23 |
| 4 | Recursos genéticos y biodiversidad | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2,7 | 0,22 |
| 5 | Recursos medicinales | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2,1 | 0,17 |
| Servicios de regulación | | | | | | | | | | |
| 6 | Moderación de los desastres naturales | 2 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2,3 | 0,10 |
| 7 | Prevención de la erosión y mantenimiento de la fertilidad del suelo | 2 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2,4 | 0,11 |
| 8 | Biorremediación, dilución, filtración y degradación de contaminantes | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2,3 | 0,10 |
| 9 | Mantenimiento de los flujos de agua y ciclo hidrológico | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2,7 | 0,12 |
| 10 | Polinización y dispersión de semillas | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2,7 | 0,12 |
| 11 | Mantenimiento de habitats y poblaciones | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2,7 | 0,12 |
| 12 | Control de plagas | 1 | 3 | 1 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2,0 | 0,09 |
| 13 | Regulación global del clima por reducción de la concentración de gases de efecto invernadero | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 1 | 2,4 | 0,11 |
| 14 | Regulación local y regional del clima | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2,6 | 0,12 |
| Servicios culturales | | | | | | | | | | |
| 15 | Recreación y turismo | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2,9 | 0,36 |
| 16 | Representación estéticas, espirituales y de no-uso | 3 | 3 | 3 | 1 | 3 | 2 | 2 | 2,4 | 0,30 |
| 17 | Información y conocimiento | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2,7 | 0,34 |

Fuente: FONDECYT N°1151087

Finalmente, los resultados derivados de la aplicación de las ecuaciones fueron clasificados en tres categorías donde, los valores comprendidos entre 0 y 2,3 fueron clasificados con una capacidad baja para brindar servicios ecosistémicos; entre 2,3 y 4,6 se catalogaron con una capacidad media para brindar servicios ecosistémicos y entre 4,6 y 6 una capacidad alta para brindar servicios ecosistémicos (Tabla 14). Cabe destacar que los valores de esta escala son relativos y la clasificación de éstos fue construida a partir de los resultados mediante intervalos de igual valor.

Tabla 14: Clasificación de capacidad para brindar servicios ecosistémicos.

| VALOR | CAPACIDAD PARA BRINDAR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS |
|-----------|--|
| 0 - 2,3 | Baja |
| 2,3 - 4,6 | Media |
| 4,6 - 6 | Alta |

Fuente: FONDECYT N°1151087

A continuación, se presentan las ecuaciones modificadas (Figura 9, 10 y 11) a partir de los servicios ecosistémicos seleccionados para esta investigación donde se utilizó el modelo propuesto por Esse *et al.* (2014) para representar espacialmente la provisión potencial de servicios ecosistémicos.

$$\text{PROVISIÓN} = \text{ALIMENTOS} * (0,20) + \text{MATERIAS PRIMAS} * (0,18) + \text{AGUA DULCE} * (0,23) + \text{RECURSOS GENÉTICOS Y BIODIVERSIDAD} * (0,22) + \text{RECURSOS MEDICINALES} * (0,17)$$

Figura 9: Ecuación para el cálculo de la provisión potencial de servicios ecosistémicos de provisión o suministro. *Fuente: Esse et al., 2014 (modificado), FONDECYT N°1151087.*

$$\text{REGULACIÓN} = \text{MODERACIÓN DE LOS DESASTRES NATURALES} * (0,10) + \text{PREVENCIÓN DE LA EROSIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO} * (0,11) + \text{BIORREMEDIACIÓN, DILUCIÓN, FILTRACIÓN Y DEGRADACIÓN DE CONTAMINANTES} * (0,10) + \text{MANTENIMIENTO DE LOS FLUJOS DE AGUA Y CICLO HIDROLÓGICO} * (0,12) + \text{POLINIZACIÓN Y DISPERSIÓN DE SEMILLAS} * (0,12) + \text{MANTENIMIENTO DE HABITATS Y POBLACIONES} * (0,12) + \text{CONTROL DE PESTES} * (0,09) + \text{REDUCCIÓN GLOBAL DEL CLIMA POR REDUCCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO} * (0,11) + \text{REGULACIÓN LOCAL Y REGIONAL DEL CLIMA} * (0,12)$$

Figura 10: Ecuación para el cálculo de la provisión potencial de servicios ecosistémicos de regulación. *Fuente: Esse et al., 2014 (modificado), FONDECYT N°1151087.*

$$\text{CULTURAL} = \text{RECREACIÓN Y TURISMO} * (0,36) + \text{REPRESENTACIONES ESTÉTICAS, ESPIRITUALES Y DENO - USO} * (0,30) + \text{INFORMACIÓN Y CONOCIMIENTO} * (0,34)$$

Figura 11: Ecuación para el cálculo de la provisión potencial de servicios ecosistémicos culturales. *Fuente: Esse et al., 2014 (modificado), FONDECYT N°1151087.*

CAPÍTULO 4: RESULTADOS

4.1. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS USOS Y/O COBERTURAS TERRESTRES PRESENTES EN LA CUENCA DE VODUDAHUE

A partir de la fotointerpretación y posterior corroboración presencial (Figura 15), se constató que dentro de las coberturas presentes, el bosque mixto abarca un área aproximada de 23 km², lo cual representa el 59% del total de éstas (Figura 12), siendo la cobertura que ocupa la mayor superficie al interior del área de estudio. Esta cobertura se presenta como bosque siempre verde templado andino, compuesto principalmente por *Nothofagus dombeyi* y *Saxegothaea conspicua*. Dichas especies pueden ser localizadas en las laderas occidentales medias de la cordillera de los Andes, entre los 500 y 1000 m. También, al interior del bosque mixto se encuentra el bosque resinoso templado andino de *Fitzroya cupressoides*, el cual se desarrolla entre los 700 y 1200 m. y se compone de un bosque perennifolio dominado por la especie conífera *Fitzroya cupressoides*, la cual comúnmente puede estar acompañada por *Podocarpus nubigena* y *Nothofagus nítida* o *Nothofagus betuloides* en el estrato arbóreo intermedio.

Otra categoría dentro del bosque mixto, es el bosque siempre verde templado interior de *Nothofagus nítida* y *Podocarpus nubigena*, el cual se encuentra asociado a zonas frías de laderas altas y cumbres cordilleranas costeras.

La cobertura transición bosque-arbusto (Figura 14) presentó una extensión de 5,2 kilómetros cuadrados, lo cual representa un 13,4% de la superficie total de las coberturas en el área de estudio. Esta, se presenta como la segunda cobertura de mayor extensión después de bosque mixto. Se compone de vegetación arbórea y arbustiva, menos densa que el bosque mixto, donde predomina la presencia de especies colonizadoras.

En cuanto a las praderas, es decir, aquellos pastizales de baja productividad que fueron despejados para uso humano, repoblados por gramíneas y otras especies vegetales colonizadoras, se pudo apreciar que abarcan un área de 3,8 kilómetros cuadrados, los cuales corresponden al 9,8% del total del área de estudio (Figura 14).



Figura 12: Vista hacia el río Vodudahue desde la orilla sur, en la imagen se pueden apreciar las coberturas 1. Roca descubierta (afloramientos rocosos); 2. Bosque mixto; 3. Praderas; 4. Transición bosque-arbusto; 5. Cursos de agua; 6. Zonas con poca vegetación. *Fuente: FONDECYT N°1151087.*

La cobertura correspondiente a áreas con poca vegetación representa un 1% de la superficie total del área de estudio, lo que corresponde a una extensión de 0,4 kilómetros cuadrados.

Por otro lado, el conjunto de superficies que da origen a las zonas húmedas, representan en total un 0,4% del área de estudio, lo cual se traduce en un área de 0,2 kilómetros cuadrados.

En cuanto a la roca descubierta vinculada a los depósitos fluviales, alojados en el delta del río Vodudahue y a los costados de los cursos fluviales presentes en el área de estudio, éstos presentan un área de 0,8 kilómetros cuadrados, lo que corresponde a un 2% de la extensión del área de estudio.

Por otro lado, la roca descubierta asociada a fragmentos de la cara libre del macizo montañoso se le calculó una extensión de 0,7 kilómetros cuadrados, los cuales corresponden al 1,7% del total de lo que se considera como área de estudio (Figura 14).

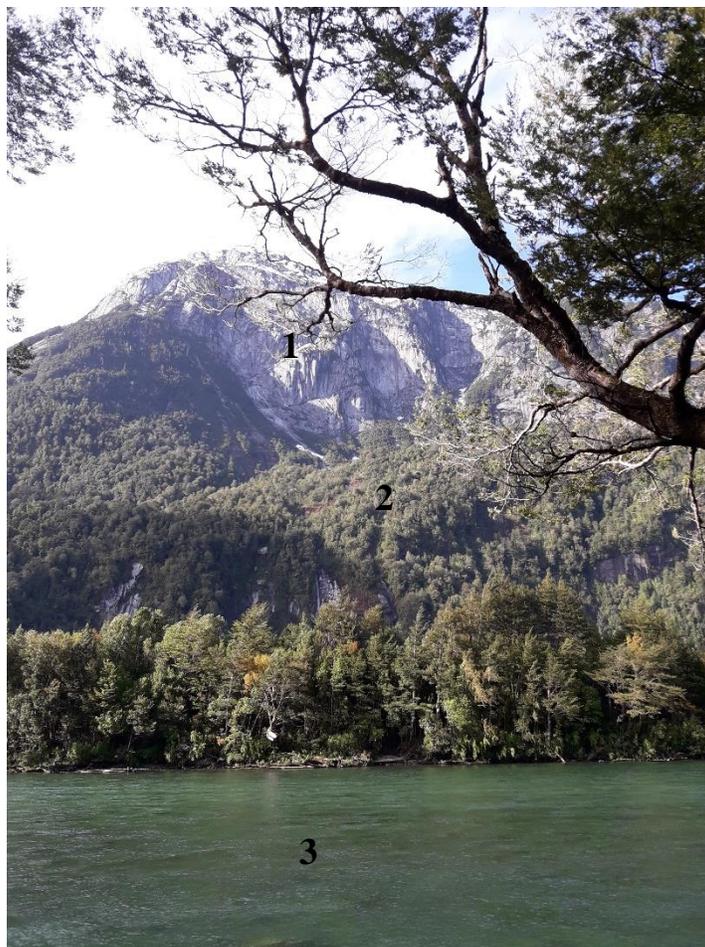


Figura 13: Vista hacia el río Vodudahue desde la orilla sur, en la imagen se pueden apreciar las coberturas 1. Roca descubierta (cara libre); 2. Bosque mixto; 3. Cursos de agua. *Fuente: FONDECYT N°1151087.*

En cuanto a la extensión de mar interior abarcada por el área de estudio, esta posee una superficie de 1,8 kilómetros cuadrados, que representan un 4,7% de la superficie total del área de estudio. Por otro lado, a partir de los cálculos generados, la cobertura cursos de agua presenta una extensión de 3,0 kilómetros cuadrados, los cuales simbolizan un 7,8%.

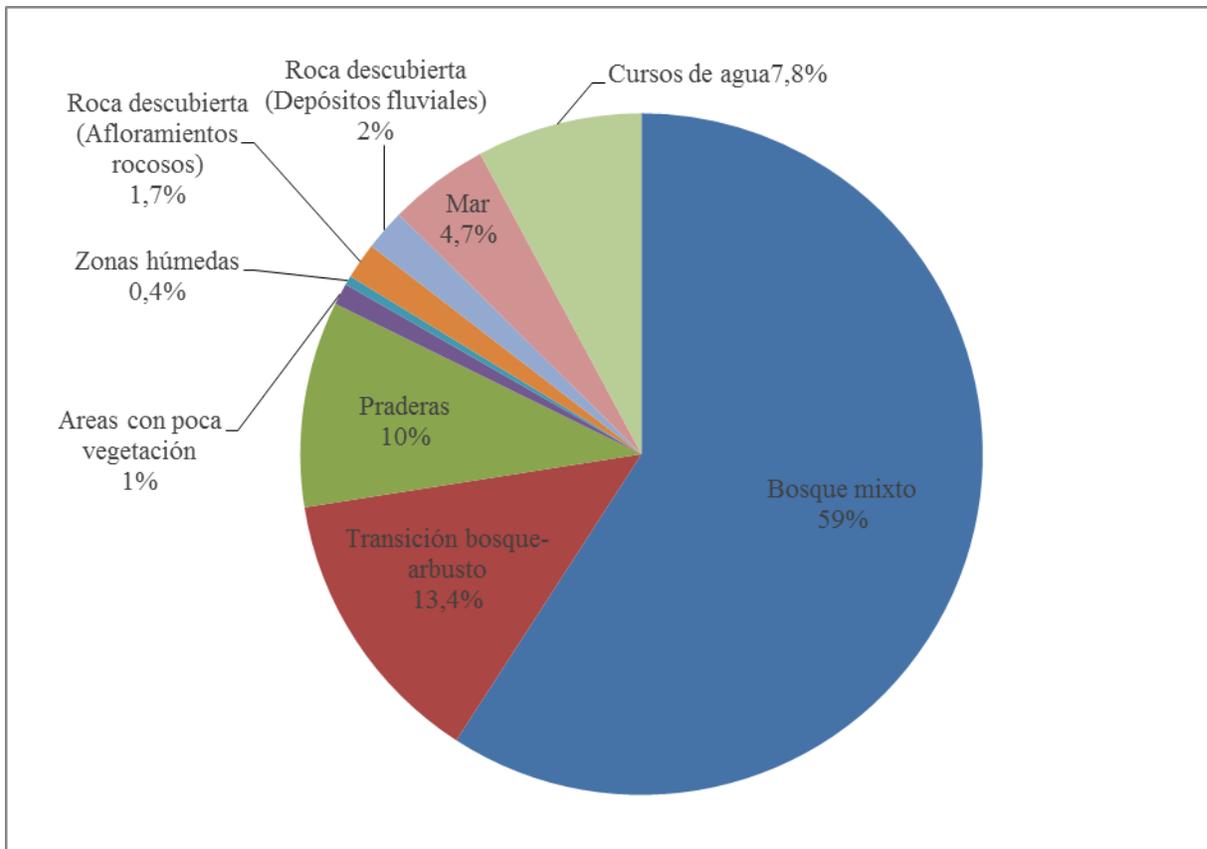


Figura 14: Distribución de coberturas en el área de estudio en porcentajes. Fuente: *European Environment Agency, 1995 (modificado), FONDECYT N°1151087.*

Figura 15: Fotointerpretación de coberturas en el área de estudio. *Fuente:*
FONDECYT N°1151087.

4.2. SERVICIOS ECOSISTÉMICOS RECONOCIDOS POR ACTORES LOCALES Y REGIONALES EN LA CUENCA DE VODUDAHUE

A modo general, entre los tipos de servicios ecosistémicos considerados en este estudio, el conjunto de servicios ecosistémicos de regulación fue reconocido con una frecuencia de 280 veces por parte de los actores locales y regionales (Tabla 16), resultando ser el tipo de servicio ecosistémico de mayor frecuencia en el área de estudio. Cabe destacar que este conjunto de servicios ecosistémicos posee una mayor cantidad de servicios (9) en comparación al grupo de servicios ecosistémicos de provisión (5) o servicios ecosistémicos culturales (3). En cuanto a estos últimos, obtuvieron una frecuencia de 138 y 118 veces, respectivamente. Sin embargo, a partir del cálculo entre la frecuencia de cada tipo de servicio ecosistémico (provisión, regulación y culturales) y el número de servicios por cada categoría se desprende que los servicios ecosistémicos culturales obtuvieron un promedio de 39,3, seguido por servicios de regulación (31,1) y de provisión (27,6). Por lo que, en promedio la categoría de servicios culturales fue la más identificada al interior del área de estudio.

En cuanto a la cantidad de servicios de provisión, regulación y culturales atribuidos a cada cobertura de forma individual, aquellas superficies cubiertas por bosque mixto registraron una repetición de 93 servicios ecosistémicos (Tabla 15) distribuidos entre servicios de provisión, regulación y culturales. Cabe destacar que, esta medida deriva de la suma entre la asociación que realizaron todos los actores entre cada cobertura del área de estudio y los 17 servicios ecosistémicos, por lo que esta medida no indica que fueron analizados 93 servicios ecosistémicos diferentes, sino más bien una sumatoria de todas las asociaciones realizadas por todos los actores.

En segundo lugar, la transición bosque-arbusto obtuvo una frecuencia de 89 servicios ecosistémicos asignados para el área de estudio (Tabla 15).

Por otra parte, los espacios dominados por el mar del fiordo Comau, la cobertura mar obtuvo una frecuencia de 72 (Tabla 15), resultando ser la tercera cobertura con una frecuencia importante de servicios ecosistémicos. Respecto a aquellos pastizales de baja productividad que fueron despejados para uso humano, repoblados por gramíneas y otras especies vegetales colonizadoras clasificadas como praderas registraron un total de 68.

Las coberturas zonas húmedas y cursos de agua alcanzaron una reiteración o frecuencia total de 65 y 64 (Tabla 15), respectivamente entre las categorías de provisión, regulación y culturales. Por otro lado, las superficies identificadas como áreas con poca vegetación, roca descubierta (depósitos) asociada a cantos rodados localizados en las riberas y delta del río Vodudahue, y la roca descubierta asociada a la cara libre de los macizos montañosos presentes al interior del área de estudio alcanzaron una recurrencia de 33, 27 y 25 (Tabla

15) entre servicios de provisión, regulación y culturales, resultando ser las coberturas con menor asociación de servicios ecosistémicos a partir de la percepción de los actores involucrados.

Tabla 15: Servicios ecosistémicos de provisión, regulación y culturales asignados por cobertura.

| SERVICIOS ECOSISTÉMICOS | COBERTURAS | | | | | | | | | |
|--|--------------|----------|---------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------|----------------|-----|---|
| | BOSQUE MIXTO | PRADERAS | TRANSICIÓN BOSQUE/ARBUSTO | ROCA DESCUBIERTA (CARA LIBRE) | ROCA DESCUBIERTA (DEPÓSITOS) | ÁREAS CON POCA VEGETACIÓN | ZONAS HÚMEDAS | CURSOS DE AGUA | MAR | FRECUENCIAS TOTALES DE CADA TIPO DE SERVICIO ECOSISTÉMICO |
| PROVISIÓN | 22 | 19 | 22 | 4 | 5 | 7 | 18 | 20 | 21 | 138 |
| REGULACIÓN | 53 | 36 | 51 | 14 | 12 | 18 | 34 | 28 | 34 | 280 |
| CULTURAL | 18 | 13 | 16 | 7 | 10 | 8 | 13 | 16 | 17 | 118 |
| TOTAL DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS ASIGNADOS SEGÚN COBERTURA | 93 | 68 | 89 | 25 | 27 | 33 | 65 | 64 | 72 | 536 |

Fuente: FONDECYT N°1151087.

4.2.1. Servicios ecosistémicos de provisión

A partir de la matriz empleada para registrar la frecuencia total otorgada por los actores locales y regionales a cada servicio ecosistémico se desprende que, el servicio ecosistémico de provisión identificado como el de mayor frecuencia en el área de estudio es el relacionado a los recursos genéticos y biodiversidad, el cual aparece nombrado con una recurrencia de 35 veces (Figura 16).

Lo anterior, puede ser desglosado a partir de la asociación que realizaron los actores entre las coberturas fotointerpretadas y la capacidad de éstas para proveer recursos genéticos y biodiversidad (Tabla 16). Donde la totalidad de los actores (6) nombró a la cobertura Mar como proveedora de recursos genéticos y biodiversidad, es decir, plantas y/o animales de origen terrestre o acuático. Por otra parte, coberturas tales como bosque mixto, praderas, transición bosque-arbusto, zonas húmedas y cursos de agua fueron nombradas una menor cantidad de veces (5) como proveedoras de este tipo de servicio ecosistémico de provisión.

En tanto que, las coberturas roca descubierta (depósitos fluviales) y áreas con poca vegetación fueron nombradas sólo 2 veces por actores como proveedoras de recursos genéticos y biodiversidad. Por otra parte ningún actor atribuyó a la roca descubierta de los afloramientos rocosos de las laderas la capacidad de suministrar dicho servicio (Tabla 16).

En este sentido, el Centro de Conservación Marina de la Pontificia Universidad Católica (s/f) reconoce que el mar del fiordo Comau alberga alta biodiversidad de invertebrados marinos, donde se incluye la existencia de corales de agua fría, esponjas, choros y cholgas. Además de la presencia de mamíferos marinos como lobos, delfines y ballenas. Petreles y

pingüinos utilizan la zona para alimentarse y anidar.

En cuanto a las coberturas bosque mixto y transición bosque-arbusto, la presencia de recursos genéticos y biodiversidad puede verse reflejada en la totalidad de especies identificadas en el sector, donde especies como el Alerce (*Fitzroya cupressoides*), Canelo (*Drimys winteri*) y Coigüe (*Nothofagus dombeyi*) resultan importantes para la conservación debido a su estado de conservación vigente, el cual corresponde a especies nativas bajo la categoría en peligro (EN) en el caso del Alerce y Canelo. Respecto al Coigüe, este presenta un estado de conservación definido como vulnerable (VU).

Por otra parte, cabe destacar que un 66,6% de las especies vegetales identificadas para el área de estudio no han sido evaluadas, por lo que se desconoce su estado de conservación vigente. Dentro de estas cifras, un 22,2 % de las especies presentan un estado definido como preocupación menor (LC), un 5,5% se encuentran bajo la categoría en peligro (EN), y un 2,7% se encuentra casi amenazada (NT) y vulnerable (VU) (2,7%). Resulta necesario destacar que la totalidad de especies identificadas son nativas.

Respecto a la biodiversidad asociada a la fauna del sector, un 26,3% se encuentra en peligro (EN), donde destacan especies como el canquén, loro choroy, carpintero negro, huillín y ranita de Darwin, y casi amenazada (NT) (26,3%). Por otra parte, un 21% se encuentra bajo la categoría de preocupación menor (LC), un 10,5% se encuentra vulnerable (VU) y un 5,2% posee un estado de conservación insuficientemente conocida, en peligro crítico (CR) (5,2%) y no evaluado (5,2%). Cabe destacar que un 94,7% de las especies identificadas corresponden a especies nativas.

En cuanto a los servicios ligados a la provisión de alimentos (frutos silvestres, peces, algas, etc.) y materias primas (leña, fibras vegetales), estos obtuvieron una frecuencia de 28 (Figura 16). Donde la cobertura asociada a una mayor provisión de alimento fue el mar del fiordo Comau y praderas (6), seguido por los cursos de agua (5). Lo anterior puede fundarse por la provisión de alimentos ligada a la acuicultura del Salmón y la función de las praderas como proveedoras de gramíneas, las cuales sirven como alimento para el ganado ovino y bobino localizado en el fundo Vodudahue. Dicha cobertura también proporciona polen para las abejas derivado de la flora silvestre (Hönigová *et al.*, 2012). Por lo que, las zonas denominadas praderas podrían estimular actividades asociadas a la ganadería y apicultura.

Por otro lado, cabe destacar que las coberturas bosque mixto y transición bosque-arbusto fueron nombradas una menor cantidad de veces (3) como proveedoras de alimento. Sin embargo, especies que componen ambas coberturas tales como la Luma (*Amomyrtus luma*), Coligüe (*Chusquea culeou*), Quila (*Chusquea quila*), Canelo (*Drimys winteri*), Avellano (*Gevuina avellana*), Zarzaparrilla (*Ribes punctatum*) producen frutos silvestres y la Nalca

(*Gunnera tinctoria*) tallos comestibles (Cordero *et al.*, 2017). En el caso de las coberturas zonas húmedas y áreas con poca vegetación, obtuvieron una frecuencia de 2. En tanto que la roca descubierta (depósitos fluviales) (1) y roca descubierta (afloramientos rocosos)(0) fueron las coberturas menos asociadas a la capacidad de brindar el servicio ecosistémico asociado a la provisión de alimento.

Como se puede ver en la Figura 16, el servicio ecosistémico de provisión de materias primas obtuvo una frecuencia de 28. Dicho servicio puede ser representado principalmente por el suministro de madera y leña para combustión. Lo anterior puede ser justificado a través de la composición de las superficies del área de estudio, donde las coberturas bosque mixto (6) y transición bosque-arbusto (5) ocupan un 72,5% de la superficie total del área de estudio. Dentro de las especies arbóreas, la luma (*Amomyrtus luma*) es ocupada como la principal fuente de combustión por los habitantes del sector. Por otra parte, las coberturas con una menor asociación a la provisión de materias primas fueron las zonas húmedas (4), mar (4), cursos de agua (3), praderas (2), roca descubierta (afloramiento rocosos) (2), roca descubierta (depósitos fluviales) (1) y áreas con poca vegetación (1).

Por otro lado, el servicio ecosistémico de provisión de agua dulce y recursos medicinales (especies vegetales medicinales) alcanzaron una frecuencia de 25 y 22 veces respectivamente (Figura 16), resultando los recursos medicinales el servicio de provisión menos identificado para el área de estudio. Si bien éste último resultó escasamente visibilizado en comparación a otros servicios, especies tales como la Luma (*Amomyrtus luma*), Coligüe (*Chusquea culeou*), Quila (*Chusquea quila*), Canelo (*Drimys winteri*), Avellano (*Gevuina avellana*), Zarzaparrilla (*Ribes punctatum*), Nalca (*Gunnera tinctoria*) y Matico (*Buddleia globulosa*) presentan efectos medicinales sobre la salud (Cordero *et al.*, 2017). En este contexto, los actores atribuyeron la capacidad de suministrar recursos medicinales a la transición bosque-arbusto (5), bosque mixto (4) y praderas (4) (Tabla 16).

También, coberturas tales como mar (4) fueron señaladas como proveedoras de recursos medicinales. Por otra parte, las superficies compuestas por las zonas húmedas (3), cursos de agua (1), áreas con poca vegetación (1) fueron las coberturas con una menor asociación de la provisión de este servicio, en tanto que ningún actor atribuyó a la roca descubierta (afloramientos rocosos) y roca descubierta (depósitos fluviales) la característica de suministrar recursos medicinales.

Respecto a la provisión de agua dulce, el suministro fue atribuido principalmente a los cursos fluviales (6) tales como el río Vodudahue y los tributarios que lo alimentan. Por otra parte, también se identificó el suministro de agua dulce por parte de las coberturas bosque mixto (4), transición bosque-arbusto (4), y zonas húmedas (4). Cabe destacar que, si bien la cobertura roca descubierta (2) asociada a las altas cumbres de los macizos montañosos cumple la función de acumular agua en forma sólida durante los meses invernales y

liberarla en la época estival, su contribución a la provisión de agua dulce fue escasamente identificada. En cuanto a las coberturas que fueron escasamente asociadas con el servicio ecosistémico de provisión de agua dulce se encuentran las praderas (2), roca descubierta ligada a depósitos fluviales (1), áreas con poca vegetación (1) y mar (1)(Tabla 16).

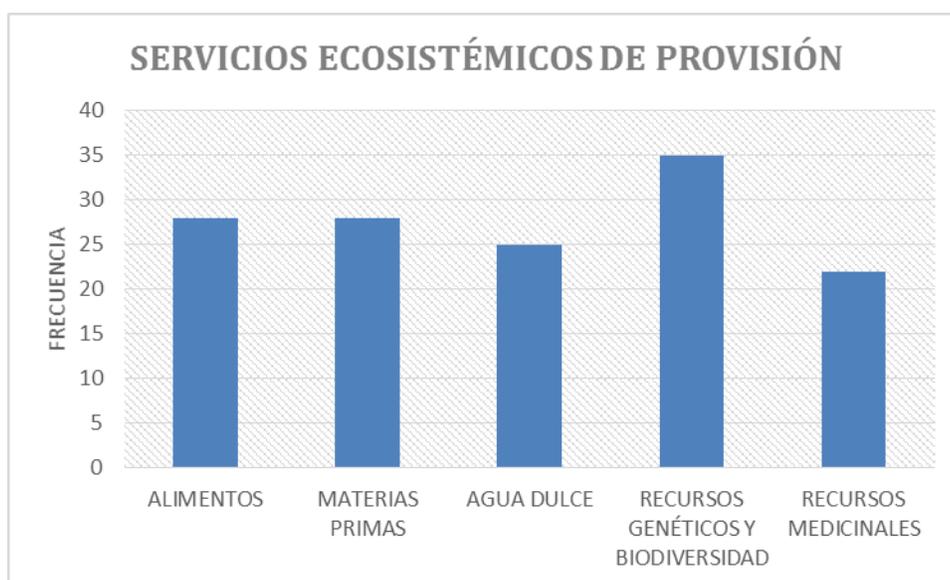


Figura 16: Frecuencia de servicios ecosistémicos de provisión atribuidos por los actores en el área de estudio. Fuente: FONDECYT N°1151087.

4.2.2. *Servicios ecosistémicos de regulación*

Dentro del conjunto de servicios ecosistémicos de regulación, puede ser observado en la Figura 17 que, el mantenimiento de hábitats y poblaciones fue nombrado 45 veces al interior del área de estudio, por lo que resultó ser el servicio de regulación más identificado por los actores. La presencia de este servicio fue atribuida principalmente a la cobertura bosque mixto (6), praderas (6), transición bosque-arbusto (6), zonas húmedas (6), mar (6) y cursos de agua (5) (Tabla 16). Dichas coberturas abarcan alrededor de un 95, 2% de la superficie del área de estudio y es a través de su existencia que contribuyen a la conservación de la diversidad debido a que albergan y funcionan como hábitat para las especies identificadas (Ruíz *et al.*, 2007). Por otra parte, las áreas con poca vegetación (4), roca descubierta compuesta por depósitos fluviales (3) alojados a los costados y delta de los cursos de agua presentes en el área de estudio y roca descubierta correspondiente a las laderas expuestas de los macizos montañosos (3) fueron las coberturas menos asociadas como parte del mantenimiento de hábitats y poblaciones.

El servicio asociado al mantenimiento de los flujos de agua y ciclo hidrológico alcanzó una frecuencia de 40 veces (Figura 17). Este servicio fue asociado principalmente a las coberturas bosque mixto (6) y transición bosque-arbusto (6), en la literatura se reconoce

que las superficies compuestas por especies vegetales nativas contribuyen a la regulación del ciclo hidrológico y abastecimiento de agua (Oyarzún *et al.*, 2005; Ruíz *et al.*, 2007). Por otra parte, la presencia de praderas (5) según Hönigová *et al.* (2012) contribuye a la regulación de los flujos de agua a través de la reducción del escurrimiento superficial. En cuanto a la contribución de los cursos de agua (5) para el mantenimiento de los flujos de agua y ciclo hidrológico, éstos se encargan de recibir, almacenar y transportar el agua lluvia (Encalada, 2010). También el servicio de mantenimiento de los flujos de agua y ciclo hidrológico fue asociado a las coberturas zonas húmedas (5) y mar (5). Por otra parte, las coberturas que fueron menos percibidas como proveedoras de este servicio son las áreas con poca vegetación (2) y la roca descubierta (depósitos fluviales) (2).

El servicio asociado a la moderación de los desastres naturales y la regulación local y regional del clima acumularon una frecuencia de 33 y 32 veces respectivamente (Figura 17). En el caso del servicio ligado a la moderación de los desastres naturales, los actores atribuyeron a las coberturas bosque mixto (6) y transición bosque-arbusto (5) la capacidad de moderar desastres naturales, lo anterior puede ser entendido a través de la presencia de bosque nativo, el cual promueve el control de la erosión y con ello la protección de los suelos, brindando estabilidad a estos (Oyarzún *et al.*, 2005; Ruíz *et al.*, 2007). Dicha acción tiene gran impacto, debido que los procesos dinámicos asociados a las remociones en masa del tipo deslizamientos de roca y suelo, y flujos de detritos son eventos recurrentes en el área de estudio (Albornoz, 2017). Las coberturas roca descubierta (depósitos fluviales), zonas húmedas y mar fueron nombradas 4 veces por los actores, como contribuidoras a la moderación de los desastres naturales.

Por otra parte, la cobertura praderas (3) y cursos de agua (3) fueron menos consideradas como capaces de moderar desastres naturales (Tabla 16). En tanto que las coberturas roca descubierta (2), asociadas a las laderas expuestas de los macizos montañosos y áreas con poca vegetación (2), resultaron ser las coberturas que menos contribuyen a la moderación de los desastres, según la percepción de los actores.

A partir de la matriz se desprende que las coberturas a las cuales se les atribuye una mayor capacidad para ejercer un efecto regulador del clima a nivel local y regional son las coberturas bosque mixto (6), mar (6) y transición bosque-arbusto (5). En tanto que, las coberturas menos asociadas a la prestación de este servicio fueron las zonas húmedas (4), cursos de agua (3), praderas (3) mientras que la roca descubierta (afloramientos rocosos) (2), áreas con poca vegetación (2) y roca descubierta (depósitos fluviales) (1) fueron escasamente asociadas a la capacidad de regular el clima a nivel local y regional.

El servicio ecosistémico biorremediación, dilución, filtración y degradación de contaminantes alcanzó una frecuencia de 30 menciones (Figura 17). Los actores atribuyeron dicha capacidad a las coberturas bosque mixto (6) y transición bosque-arbusto

(5) principalmente. Respecto a las praderas (4), zonas húmedas (4) y mar (4) fueron menos asociadas por los actores como capaces de brindar dicho servicio, sin embargo, se reconoce en la cobertura mar la función de dispersión y dilución de residuos provenientes de los sistemas terrestres, contribuyendo al mantenimiento de la calidad de las aguas costeras (Rodríguez & Reul, 2010).

Por otro lado, el servicio ecosistémico orientado a la prevención de la erosión y mantenimiento de la fertilidad del suelo fue identificado por los actores 29 veces al interior del área de estudio, seguido por la regulación global del clima por reducción de la concentración de gases de efecto invernadero, que obtuvo una frecuencia total de 28. En el caso del primer servicio mencionado, los actores encuestados atribuyeron a las coberturas bosque mixto (6) y transición bosque-arbusto (6) la capacidad de brindar protección a los suelos y controlar la erosión (Oyarzún *et al.*, 2005; Ruíz *et al.*, 2007). Mientras que las coberturas praderas (4), zonas húmedas (4), cursos de agua (3), áreas con poca vegetación (3), roca descubierta (afloramiento rocosos) (1), roca descubierta (depósitos fluviales) (1) y mar (1) fueron nombrados menos veces por los actores como coberturas que aportan a la protección de los suelos y control de la erosión.

En el caso del servicio de la reducción de la concentración de gases de efecto invernadero, los actores asociaron principalmente la provisión de este servicio a las coberturas bosque mixto (6), transición bosque-arbusto (6) y mar (5) (Tabla 16), que en este caso destacan por fijar y almacenar el carbono atmosférico (Secretaría Ejecutiva Comisión Colombiana del Océano, 2013; Ruíz *et al.*, 2007).

En cuanto a las coberturas escasamente asociadas con la capacidad de aportar a la reducción de la concentración de gases de efecto invernadero por medio del secuestro de carbono atmosférico se encuentran las praderas (3), zonas húmedas (3), áreas con poca vegetación (2), cursos de agua (2), roca descubierta (afloramientos rocosos) (1) y roca descubierta (0) referente a los depósitos fluviales localizados a los costados de los cursos fluviales presentes en el área de estudio en forma de bancos laterales y desembocadura del río Vodudahue.

La Figura 17 expone que el servicio ecosistémico asociado a la regulación de la polinización y dispersión de semillas registró una frecuencia de 25, donde las coberturas bosque mixto (6), transición bosque-arbusto (6) y praderas (5) fueron las principales coberturas asociadas a la prestación de este servicio (Tabla 16). En este sentido, las especies forestales nativas que componen el bosque mixto y la transición bosque-arbusto cumplen la función de brindar polen y hábitat para especies polinizadoras. Por otro lado, al igual que el bosque mixto y la transición bosque-arbusto, los pastizales o praderas proporcionan un hábitat importante para varias especies polinizadoras silvestres tales como avispas, abejorros y abejas (Hönigová *et al.*, 2012). Por otra parte, los actores identificaron

una menor contribución del servicio ecosistémico de polinización y dispersión de semillas a las coberturas zonas húmedas (3), cursos de agua (2), mar (2), áreas con poca vegetación (1), y una nula contribución a las superficies compuesta por la roca descubierta (afloramientos rocosos) y roca descubierta (depósitos fluviales).

El servicio de regulación asociado al control de plagas fue el menos reconocido por los actores, con una frecuencia de 18 veces (Figura 17), donde las coberturas transición bosque-arbusto (6) y bosque mixto (5) fueron identificadas por los actores como las coberturas con una mayor capacidad para brindar dicho servicio. Sin embargo, en la literatura, las praderas (3) se presentan como las principales controladoras de plagas a través de la presencia de artrópodos depredadores y otros parásitos, los cuales suprimen a las poblaciones de plagas herbívoras (Hönigová *et al.*, 2012). En tanto que los cursos de agua (2), mar (1) y zonas húmedas (1) fueron identificadas como coberturas que contribuyen en menor medida al servicio de regulación de control de plagas. En el caso de las coberturas asociadas a una nula contribución a dicho servicio ecosistémico se encuentran la roca descubierta (afloramientos rocosos) (0), áreas con poca vegetación (0) y roca descubierta (depósitos fluviales) (0) (Tabla 16).

La Figura 17 indica las frecuencias atribuidas a cada servicio ecosistémicos de regulación donde la letra A indica, moderación de los desastres naturales; B, prevención de la erosión y mantenimiento de la fertilidad del suelo; C, biorremediación, dilución, filtración y degradación de contaminantes; D, mantenimiento de los flujos de agua y ciclo hidrológico; E, polinización y dispersión de semillas; F, mantenimiento de habitats y poblaciones; G, control de plagas, H, regulación global del clima por reducción de la concentración de gases de efecto invernadero; I, regulación local y regional del clima.

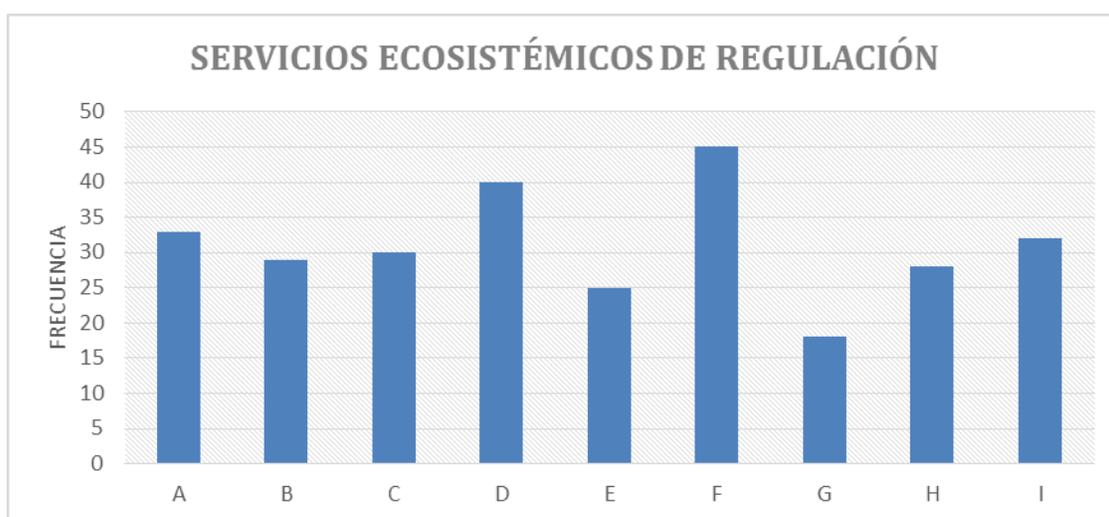


Figura 17: Frecuencia de servicios ecosistémicos de regulación atribuidos por los actores en el área de estudio. Fuente: FONDECYT N°1151087.

4.2.3. *Servicios ecosistémicos culturales*

En cuanto a los servicios ecosistémicos culturales, identificados a partir de las encuestas de percepción realizadas a actores locales y regionales se desprende que, el servicio ecosistémico vinculado a la recreación y turismo obtuvo una frecuencia de 45 (Figura 18), siendo el servicio con mayor contribución de servicios culturales por cobertura para el conjunto de servicios ecosistémicos culturales. El suministro de este servicio ecosistémico fue asociado principalmente a las coberturas bosque mixto (6), transición bosque-arbusto (6), zonas húmedas (6), cursos de agua (6), mar (6) y praderas (5) (Tabla 16). En tanto que, las coberturas roca descubierta (depósitos fluviales) (3), áreas con poca vegetación (2) y roca descubierta (afloramientos rocosos) (2) se les atribuyó una menor contribución a la existencia de dicho servicio en el área de estudio. Cabe destacar que, no existen datos relacionados al turismo en entidades como el Servicio Nacional de Turismo (SERNATUR), debido a la dificultad en la conectividad y acceso ya que sólo se puede llegar al área de estudio en transporte marítimo desde Leptepu o aéreo particular.

Durante el trabajo en terreno se visitó la vivienda de Héctor Barril, habitante de Vodudahue durante la época estival y dueño de una empresa de turismo exclusivo dedicada a la pesca deportiva que cuenta con alojamientos rústicos con capacidad para 10 personas aproximadamente. Es necesario destacar que el tipo de individuo que contrata estos servicios corresponde a personas con un alto poder adquisitivo y/o extranjeros (Arratia, 2017).

También existe la Fundación Alerce 3000, que se desarrolla en el fundo Vodudahue, al interior del área de estudio en aquellas zonas fotointerpretadas como praderas. Uno de los servicios turísticos que presta esta entidad se relaciona a programas de turismo aventura, enfocado en actividades como el senderismo, escalada, navegación en kayak, cabalgatas y actividades asociadas a la agricultura sustentable, tales como manejo apícola orgánico y producción de alimentos en huertas e invernaderos.

Por otro lado, durante los días 10 y 11 de febrero del año 2018 se desarrolló el Raid Aéreo o vuelo de aviación de larga distancia a Vodudahue. Este servicio fue realizado por la empresa *Tronador Aviation* y en él se realizaron actividades como el senderismo, pesca deportiva, senderismo en bicicleta, cabalgatas montañismo y kayak. Cabe destacar que tanto la fundación Alerce 3000 como *Tronador Aviation* son propiedad del empresario Nicolás Ibáñez, dueño del fundo Vodudahue.

En un segundo lugar, como se puede observar en la Figura 18, el servicio de información y conocimiento fue identificado por los actores 39 veces. Este servicio ecosistémico puede verse reflejado en las labores de investigación científica realizadas por la fundación San Ignacio de Huinay que pueden justificarse a través de la escasez de información respecto al fiordo Comau. En este contexto, los actores otorgaron la provisión de servicios

ecosistémicos culturales del tipo información y conocimiento principalmente a las coberturas **bosque mixto (6)** y **mar (6)** (Tabla 16). Sin embargo, los actores también nombraron a las coberturas **transición bosque-arbusto (5)** y **cursos de agua (5)** como coberturas suministradoras de información y conocimiento. Entre las coberturas que fueron identificadas con una menor contribución a este servicio se encuentran **las praderas (4)**, **zonas húmedas (4)**, **roca descubierta (afloramientos rocosos) (3)**, **áreas con poca vegetación (3)** y **roca descubierta (depósitos fluviales) (3)**.

Por otro lado, el servicio ligado a las representaciones estéticas, espirituales y de no-uso registró una frecuencia de 34, por lo que este servicio cultural se presenta como el servicio ecosistémico con menor reconocimiento de aporte de cada cobertura a la existencia de dicho servicio. El suministro de este servicio fue asociado principalmente a la cobertura **bosque mixto (6)**, a **la transición bosque-arbusto (5)**, **cursos de agua (5)** y **mar (5)** (Tabla 16). Este servicio puede verse representado a través de la existencia de especies silvestres de origen vegetal y animal. Respecto a esto, las coberturas que menos contribuyen al servicio de representaciones estéticas, espirituales y de no-uso según los actores son **las praderas (4)**, **roca descubierta (depósitos fluviales) (3)**, **zonas húmedas (3)**, **áreas con poca vegetación (2)** y **roca descubierta (afloramientos rocosos) (1)**.

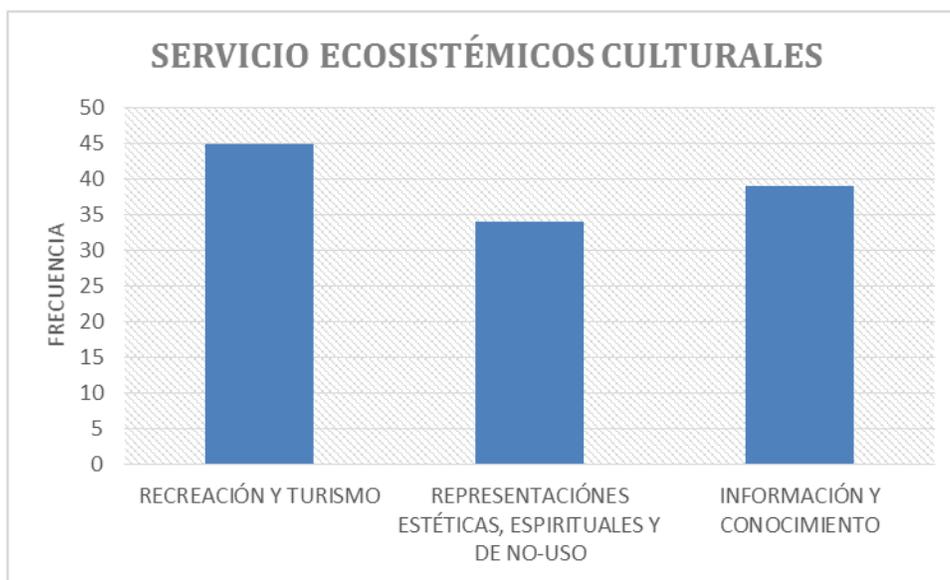


Figura 18: Frecuencia de servicios ecosistémicos culturales atribuidos por los actores en el área de estudio. Fuente: FONDECYT N°1151087.

Tabla 16: Matriz de servicios ecosistémicos y coberturas.

| Servicios ecosistémicos | Actores locales y regionales | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|--|----------|---------------------------|--|--|---------------------------|---------------|----------------|-----|-------|----|
| | Bosque mixto | Praderas | Transición bosque-arbusto | Roca descubierta (Afloramientos rocosos) | Roca descubierta (Depósitos fluviales) | Áreas con poca vegetación | Zonas húmedas | Cursos de agua | Mar | Total | |
| Servicios de provisión | | | | | | | | | | | |
| 1 | Alimentos | 3 | 6 | 3 | 0 | 1 | 2 | 2 | 5 | 6 | 28 |
| 2 | Materias primas | 6 | 2 | 5 | 2 | 1 | 1 | 4 | 3 | 4 | 28 |
| 3 | Agua dulce | 4 | 2 | 4 | 2 | 1 | 1 | 4 | 6 | 1 | 25 |
| 4 | Recursos genéticos y biodiversidad | 5 | 5 | 5 | 0 | 2 | 2 | 5 | 5 | 6 | 35 |
| 5 | Recursos medicinales | 4 | 4 | 5 | 0 | 0 | 1 | 3 | 1 | 4 | 22 |
| Servicios de regulación | | | | | | | | | | | |
| 6 | Moderación de los desastres naturales | 6 | 3 | 5 | 2 | 4 | 2 | 4 | 3 | 4 | 33 |
| 7 | Prevención de la erosión y mantenimiento de la fertilidad del suelo | 6 | 4 | 6 | 1 | 1 | 3 | 4 | 3 | 1 | 29 |
| 8 | Biorremediación, dilución, filtración y degradación de contaminantes | 6 | 4 | 5 | 1 | 1 | 2 | 4 | 3 | 4 | 30 |
| 9 | Mantenimiento de los flujos de agua y ciclo hidrológico | 6 | 5 | 6 | 4 | 2 | 2 | 5 | 5 | 5 | 40 |
| 10 | Polinización y dispersión de semillas | 6 | 5 | 6 | 0 | 0 | 1 | 3 | 2 | 2 | 25 |
| 11 | Mantenimiento de habitats y poblaciones | 6 | 6 | 6 | 3 | 3 | 4 | 6 | 5 | 6 | 45 |
| 12 | Control de plagas | 5 | 3 | 6 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 18 |
| 13 | Regulación global del clima por reducción de la concentración de gases de efecto invernadero | 6 | 3 | 6 | 1 | 0 | 2 | 3 | 2 | 5 | 28 |
| 14 | Regulación local y regional del clima | 6 | 3 | 5 | 2 | 1 | 2 | 4 | 3 | 6 | 32 |
| Servicios culturales | | | | | | | | | | | |
| 15 | Recreación y turismo | 6 | 5 | 6 | 3 | 4 | 3 | 6 | 6 | 6 | 45 |
| 16 | Representación estéticas, espirituales y de no-uso | 6 | 4 | 5 | 1 | 3 | 2 | 3 | 5 | 5 | 34 |
| 17 | Información y conocimiento | 6 | 4 | 5 | 3 | 3 | 3 | 4 | 5 | 6 | 39 |

Fuente: FONDECYT N°1151087.

4.3. ANÁLISIS DE LA PROVISIÓN POTENCIAL DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE ANÁLISIS ESPACIAL MULTICRITERIO (AEMC)

4.3.1. *Provisión potencial de servicios ecosistémicos de provisión*

La escala de importancia tiene como propósito entender a partir de la percepción de los actores el nivel de relevancia que tiene actualmente la presencia de los 17 servicios ecosistémicos en el área de estudio.

En cuanto a los resultados derivados de dicha escala, cada actor atribuyó un nivel de importancia específico a los servicios ecosistémicos evaluados mediante valores comprendidos entre el 1 y 3, donde 1 puede ser entendido como poco relevante; 2 medianamente relevante y 3 muy relevante. Como promedio de las valoraciones realizadas

por los actores, el servicio ecosistémico de provisión agua dulce obtuvo el promedio más alto, con un valor de 2,9.

El servicio ecosistémico referido a los recursos genéticos y biodiversidad presentes en el área de estudio fue evaluado con un promedio de 2,7 puntos. Por otro lado, los servicios ecosistémicos de provisión de alimentos y materias primas fueron valorados por los actores con un promedio de 2,4 y 2,3 puntos respectivamente.

Finalmente, el servicio ecosistémico recursos medicinales obtuvo un promedio de 2,1 puntos, siendo el servicio ecosistémico menos valorado por los actores relativos al área de estudio. Cabe destacar que esta valoración es de carácter relativo y expresa el promedio de las valoraciones otorgadas por los actores a través de la escala anteriormente mencionada, donde el valor máximo que puede llegar a alcanzar un servicio ecosistémico es 3.

4.3.2. Mapeo de provisión potencial de servicios ecosistémicos de provisión

La aplicación del Modelo de Análisis Espacial Multicriterio aplicado a los servicios ecosistémicos de provisión arrojó que, las coberturas bosque mixto y transición bosque-arbusto proporcionan una mayor provisión potencial de servicios ecosistémicos de este grupo, ponderando un puntaje de 4,4 puntos (Tabla 17), por lo que, dichas coberturas pueden ser clasificadas con una capacidad media para brindar servicios ecosistémicos de provisión.

En cuanto a la cobertura praderas, estas obtuvieron una ponderación de 3,8 puntos, por lo que poseerían una capacidad potencial media (Figura 19) para proveer servicios ecosistémicos de provisión. Por otro lado, la roca descubierta vinculada a la cara libre de macizos montañosos registró una ponderación de 0,8 puntos (Tabla 17), lo cual la posiciona como una cobertura con una capacidad baja para suministrar servicios de provisión.

Para el caso de la roca descubierta, ligada a los depósitos localizados a los costados de los cursos fluviales y delta del río Vodudahue, ésta ponderó un puntaje de 1,1 puntos (Tabla 17), por lo que, a partir de la escala propuesta para la matriz, ésta cobertura posee una capacidad baja para proporcionar servicios ecosistémicos de provisión. De igual forma, la cobertura referida a las áreas con poca vegetación, éstas obtuvieron un puntaje de 1,4 puntos, a partir de lo cual se puede deducir que estas zonas tienen una capacidad potencialmente baja (Figura 19) para suministrar servicios de provisión.

En cuanto a la cobertura zonas húmedas, éstas ponderaron un puntaje de 3,7 por lo que a partir de la aplicación de la matriz se puede clasificar a esta cobertura con una capacidad media para suministrar servicios ecosistémicos de provisión.

Como se puede observar en la Tabla 17, las coberturas cursos de agua y mar registraron una ponderación de 4,2 puntos por lo que ambas coberturas poseerían una capacidad media para proveer servicios de provisión. A continuación se presenta una cartografía donde se expone la capacidad de cada cobertura del área de estudio para brindar servicios ecosistémicos de provisión.

Tabla 17: Capacidad para brindar servicios ecosistémicos de provisión según cobertura en el área de estudio.

| COBERTURA | SUPERFICIE (KM ²) | PUNTAJE | CAPACIDAD PARA BRINDAR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS |
|----------------------------------|-------------------------------|---------|--|
| BOSQUE MIXTO | 23 | 4,4 | MEDIA |
| PRADERAS | 3,8 | 3,8 | MEDIA |
| TRANSICIÓN BOSQUE- ARBUSTO | 5,2 | 4,4 | MEDIA |
| ROCA DESCUBIERTA (CARA LIBRE) | 0,7 | 0,8 | BAJA |
| ROCA DESCUBIERTA (DEPÓSITOS) | 0,8 | 1,1 | BAJA |
| AREAS CON POCA VEGETACIÓN | 0,4 | 1,4 | BAJA |
| ZONAS HÚMEDAS | 0,2 | 3,7 | MEDIA |
| CURSOS DE AGUA | 3 | 4,2 | MEDIA |
| MAR | 1,8 | 4,2 | MEDIA |

Fuente: FONDECYT N°1151087.

Figura 19: Provisión potencial de servicios ecosistémicos de provisión o suministro en el área de estudio. *Fuente: FONDECYT N°1151087.*

4.3.3. *Provisión potencial de servicios ecosistémicos de regulación*

En cuanto a los resultados derivados de la escala de importancia asignada por el total de los actores a cada servicio ecosistémico evaluado, el servicio ecosistémico relacionado con la moderación de los desastres naturales obtuvo una puntuación media de 2,3 puntos, al igual que el servicio biorremediación, dilución, filtración y degradación de contaminantes.

El servicio de regulación referido a la prevención de la erosión y mantenimiento de la fertilidad del suelo obtuvo un promedio de 2,4 puntos en la escala de importancia. Con un puntaje mayor, los servicios ecosistémicos de mantenimiento de los flujos de agua y ciclo hidrológico, polinización y dispersión de semillas, y mantenimiento y hábitats de poblaciones registraron 2,7 puntos, por lo que fueron los servicios más valorados por el total de los actores.

Por otro lado, el servicio de control de plagas fue el menos valorado, con una ponderación de 2,0 puntos en la escala de importancia. En cambio, los servicios de regulación global del clima por reducción de la concentración de gases de efecto invernadero y el servicio ecosistémico de regulación global y regional del clima obtuvieron una valoración de 2,4 y 2,6 puntos respectivamente.

4.3.4. *Mapeo de provisión potencial de servicios ecosistémicos de regulación*

De acuerdo de los resultados del Modelo de Análisis Espacial Multicriterio aplicado a los servicios ecosistémicos de regulación, la cobertura bosque mixto posee una capacidad alta para proveer servicios ecosistémicos de regulación, ya que presenta una ponderación de 5,9 puntos (Tabla 18). En el caso de las superficies cubiertas por praderas, éstas registraron un puntaje de 4,0 puntos por lo que pueden ser clasificadas con una capacidad media para proveer servicios de regulación.

Como se puede observar en la Tabla 18, la cobertura transición bosque-arbusto obtuvo capacidad alta para suministrar servicios de regulación con un puntaje de 5,6. Por otro lado, las coberturas clasificadas con una capacidad baja para brindar servicios fueron la roca descubierta vinculadas a la cara libre de las montañas, la roca descubierta ligada a depósitos fluviales y las áreas con poca vegetación con una ponderación final de 1,6 , 1,3 y 2,0 puntos respectivamente.

Por otro lado, las coberturas húmedas interiores y mar obtuvieron un puntaje de 3,8, registrando una capacidad potencial media para proveer servicios ecosistémicos de regulación. Respecto a los cursos de agua presentes, éstos ponderaron una capacidad media para suministrar recursos con un puntaje 3,1 (Tabla 18).

Tabla 18: Capacidad para brindar servicios ecosistémicos de regulación según cobertura en el área de estudio.

| COBERTURA | SUPERFICIE (KM ²) | PUNTAJE | CAPACIDAD PARA BRINDAR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS |
|----------------------------------|-------------------------------|---------|--|
| BOSQUE MIXTO | 23 | 5,9 | ALTA |
| PRADERAS | 3,8 | 4 | MEDIA |
| TRANSICIÓN BOSQUE- ARBUSTO | 5,2 | 5,6 | ALTA |
| ROCA DESCUBIERTA (CARA LIBRE) | 0,7 | 1,6 | BAJA |
| ROCA DESCUBIERTA (DEPÓSITOS) | 0,8 | 1,3 | BAJA |
| AREAS CON POCA VEGETACIÓN | 0,4 | 2 | BAJA |
| ZONAS HÚMEDAS | 0,2 | 3,8 | MEDIA |
| CURSOS DE AGUA | 3 | 3,1 | MEDIA |
| MAR | 1,8 | 3,8 | MEDIA |

Fuente: FONDECYT N°1151087.

En la Figura 20 se presenta una cartografía que expone espacialmente la provisión potencial de servicios ecosistémicos de regulación para cada cobertura identificada en el área de estudio.

Figura 20: Provisión potencial de servicios ecosistémicos de regulación en el área de estudio. *Fuente:* FONDECYT N°1151087.

4.3.5. Provisión potencial de servicios ecosistémicos culturales

El servicio ecosistémico referido a la recreación y turismo obtuvo una valoración de 2,9 puntos. Por otro lado, el servicio relativo a las representaciones estéticas, espirituales y de no-uso, éste presentó una valoración de 2,4 puntos, resultando ser el servicio ecosistémico cultural menos valorado por los actores.

Respecto al servicio cultural información y conocimiento, fue valorado por los actores con un promedio de 2,7 puntos.

4.3.6. Mapeo de provisión potencial de servicios ecosistémicos culturales

La cobertura bosque mixto presenta una capacidad potencial alta para suministrar servicios ecosistémicos culturales con una ponderación final de 6,0 puntos. Por otro lado, las áreas identificadas como praderas exhibieron una capacidad media para proveer servicios culturales debido a que ponderaron 4,4 puntos.

En cuanto a la transición bosque-arbusto, esta cobertura registró una ponderación de 5,4 puntos (Tabla 19), por lo que puede ser clasificada con una capacidad potencial alta para suministrar servicios ecosistémicos culturales.

Respecto a las coberturas roca descubierta vinculada a los fragmentos de cara libre perteneciente a las altas cumbres y paredes verticales de los macizos montañosos y la roca descubierta ligada a los depósitos fluviales localizados en los cursos fluviales, ambas presentaron una capacidad media para proveer servicios culturales ya que ponderaron 2,4 y 3,4 puntos respectivamente.

Como se puede observar en la Tabla 19, las áreas con poca vegetación presentes en Vodudahue registraron una capacidad potencial media para suministrar servicios ecosistémicos culturales. Por otro lado, las zonas húmedas registraron 4,4 puntos, lo cual se podría traducir en la presencia de una capacidad media para suministrar servicios culturales.

Respecto a los recursos hídricos identificados en el área de estudio, las superficies ocupadas por cursos de agua y mar presentaron una capacidad potencial alta para proveer servicios culturales, puesto que como derivado del análisis espacial multicriterio estos ponderaron un puntaje de 5,4 y 5,7 puntos respectivamente.

Tabla 19: Capacidad para brindar servicios ecosistémicos culturales según cobertura en el área de estudio.

| COBERTURA | SUPERFICIE (KM ²) | PUNTAJE | CAPACIDAD PARA BRINDAR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS |
|----------------------------------|-------------------------------|---------|--|
| BOSQUE MIXTO | 23 | 6 | ALTA |
| PRADERAS | 3,8 | 4,4 | MEDIA |
| TRANSICIÓN BOSQUE- ARBUSTO | 5,2 | 5,4 | ALTA |
| ROCA DESCUBIERTA (CARA LIBRE) | 0,7 | 2,4 | MEDIA |
| ROCA DESCUBIERTA (DEPÓSITOS) | 0,8 | 3,4 | MEDIA |
| AREAS CON POCA VEGETACIÓN | 0,4 | 2,7 | MEDIA |
| ZONAS HÚMEDAS | 0,2 | 4,4 | MEDIA |
| CURSOS DE AGUA | 3 | 5,4 | ALTA |
| MAR | 1,8 | 5,7 | ALTA |

Fuente: FONDECYT N°1151087.

A continuación, en la Figura 21 se puede apreciar la distribución espacial de las coberturas presentes en el área de estudio y la capacidad de cada cobertura para brindar servicios ecosistémicos culturales.

Figura 21: Provisión potencial de servicios ecosistémicos culturales en el área de estudio.
Fuente: FONDECYT N°1151087.

CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

5.1. DISCUSIÓN

A continuación se discuten aspectos importantes que vinculan los antecedentes teóricos fundamentales para comprender las evidencias y realidad del caso de estudio en Vodudahue.

5.1.1. Sobre la aplicación de metodologías para el mapeo de servicios ecosistémicos en el fiordo Comau

Con el propósito de emplear una metodología para mapear la provisión potencial de servicios ecosistémicos en la localidad de Vodudahue, se revisaron diferentes autores tales como Laterra *et al.* (2015), Burkhard *et al.* (2009), Koschke *et al.* (2012) y Esse *et al.* (2014) con el objetivo de aplicar procedimientos vinculados a la información disponible referente al fiordo Comau. Donde cada una de las metodologías revisadas presenta fortalezas y debilidades vinculadas a su aplicación en el presente caso de estudio.

En este sentido, el protocolo colaborativo de evaluación y mapeo de servicios ecosistémicos y vulnerabilidad socio-ecológica para el ordenamiento territorial (ECOSER) elaborado por Laterra *et al.* (2015) se presenta como un método que se fundamenta en flujos de funciones ecosistémicas, los cuales dan origen a diferentes servicios ecosistémicos. Por lo que, requiere de información específica para llevar a cabo una evaluación de funciones ecosistémicas ya que la metodología selecciona una serie de atributos que se integran en conjunto a variables sustitutas o proxys fundamentadas en índices o modelos de procesos con la finalidad de representar dichas funciones ecosistémicas.

Dentro de la información requerida para llevar a cabo el método planteado por Laterra *et al.* (2015) se encuentra el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo, almacenamiento de carbono en biomasa, índice de productividad para determinar la fertilidad de los suelos del área de estudio y la retención de nutrientes por parte de los humedales, entre otros. Debido a las limitaciones vinculadas a la información disponible para el fiordo Comau y la necesidad de información detallada para la evaluación de funciones ecosistémicas, es que la aplicación de esta metodología no podría haberse llevado a cabo en el área de estudio ya que la falta de datos conllevaría vacíos en su empleo. Por otra parte, también puede entenderse como una limitante la falta de conocimiento e instrumentos necesarios para recoger dicha información tal como lo es en el caso del almacenamiento de carbono orgánico en el suelo o índice de productividad de los suelos, entre otros.

En cuanto a la metodología planteada por Burkhard *et al.* (2009) para el mapeo de la provisión potencial de servicios ecosistémicos, los autores proponen una matriz que evalúa

servicios ecosistémicos en base a la nomenclatura CORINE *land cover classes*, la cual identifica usos y/o coberturas terrestres. Dicha evaluación es realizada comúnmente por un panel de expertos a través de una escala numérica relativa que comprende valores entre el 0 y el 5.

Si bien el empleo de la nomenclatura CORINE *land cover classes* facilita el reconocimiento de las superficies evaluadas ya que identifica usos y/o coberturas terrestres, la metodología propuesta por Burkhard *et al.* (2009) aborda la provisión potencial de servicios ecosistémicos de forma general ya que sólo integra la evaluación por parte de un panel de expertos, que en algunos casos puede no ser necesariamente un reflejo representativo de la realidad debido que ciertos aspectos intrínsecos del territorio podrían ser ignorados por el panel de expertos en comparación a aquellos individuos que lo habitan. Debido a lo anterior, los autores explicitan que dicha evaluación sólo debe considerarse como hipótesis de investigación, la cual debe ser probada posteriormente a través de la medición de datos, modelado o evaluado por un panel de expertos adicional (Burkhard *et al.*, 2009). En este contexto, el empleo de dicha metodología no habría sido suficiente para identificar la provisión potencial de servicios ecosistémicos en el área de estudio ya que sería necesario el empleo de métodos adicionales para comprobar la veracidad de los resultados.

En el caso de la metodología propuesta por Koschke *et al.* (2012), la cual se fundamenta en la estimación cualitativa del potencial regional para proveer servicios ecosistémicos desde un enfoque multicriterio mediante los métodos de transferencia de beneficio, preferencias de los actores interesados y la evaluación de expertos. Los autores explican que la adaptabilidad del enfoque de transferencia de beneficio resulta limitado debido a la escasez de datos que coincidan con la nomenclatura CORINE *land cover classes*, por lo que la determinación de la provisión potencial por parte de un panel de expertos podría resultar un método más preciso para evaluar servicios ecosistémicos debido a la inexistencia en algunos casos de datos necesarios para realizar el método de transferencia de beneficio.

Cabe destacar que, si bien el método planteado por Koschke *et al.* integra el análisis de las preferencias de actores interesados, una de las principales dificultades que se presenta en la aplicación de esta metodología radica en la dificultad que podrían llegar a tener los actores para discriminar entre servicios similares o relacionados y expresar sus preferencias respecto de un servicio por sobre otro (Koschke *et al.*, 2012). Por otra parte, la escasez de datos que coincidan con la nomenclatura CORINE *land cover classes* se presenta como limitante para su aplicación en el área de estudio ya que en este caso se empleó dicha nomenclatura puesto que, en Chile no existe una clasificación estándar que permita fotointerpretar zonas no urbanas.

En cuanto a la metodología aplicada en el área de estudio, el Modelo Espacial de Análisis Multicriterio (AEMC) planteado por Esse *et al.* (2014), a diferencia de las metodologías

anteriormente revisadas las cuales utilizan la nomenclatura *CORINE land cover classes*, emplea las **Unidades Ambientalmente Homogéneas (UAH)** propuestas por Gómez Orea (1999). Por lo que, no necesariamente utiliza usos y/o coberturas para mapear la provisión potencial de servicios ecosistémicos, sobretodo en aquellos casos de estudio que abarcan unidades diferentes a las planteadas por CORINE. Sin embargo, para este caso de estudio, no resulta problemático permutar ambas clasificaciones debido que en sí, las coberturas planteadas por *CORINE land cover classes* sí representan el concepto de una Unidad Ambientalmente Homogénea (UAH), como su nombre lo indica.

Originalmente en el método propuesto por Esse *et al.* (2014) **se integra la evaluación de expertos y de actores locales pertenecientes a diferentes instituciones**, no obstante, no incluye las valoraciones de aquellos actores que realmente hacen uso de los servicios ecosistémicos, sin embargo, esta medida puede ser integrada con facilidad en la metodología debido a que no influye directamente sobre los parámetros utilizados en el método pero sí en su resultado. Por otra parte, es una metodología flexible en su aplicación que puede ser modificada según lo requiera el contexto, puesto que se basa en apreciaciones y valoraciones de carácter cualitativo. Cabe destacar que, su empleo resulta útil en entornos donde no existe información detallada que pueda ser utilizada como insumo, como es el caso del fiordo Comau. Sin embargo, los resultados obtenidos a partir de esta metodología son relativos debido al carácter cualitativo de los datos requeridos para llevar a cabo el método.

Si bien el Modelo Espacial de Análisis Multicriterio, el cual fue utilizado en este caso de estudio para identificar la percepción sobre la provisión potencial de servicios ecosistémicos se presenta como una metodología adecuada y de sencilla aplicación fundamentada en la reducida información disponible del área de estudio, esta presenta limitaciones reflejadas en la reducida cantidad de actores que fueron encuestados para complementar la matriz, por lo que, el empleo de dicha metodología en este caso podría no representar la realidad del área de estudio. Es debido a lo anterior que, los resultados deben ser considerados como referenciales.

Lo anterior, puede ser evidenciado a través de la asociación que realizaron los actores a la cobertura cursos de agua con la capacidad de moderar desastres naturales, donde sólo tres de un total de seis actores encuestados atribuyeron a dicha cobertura la capacidad de moderar desastres naturales, sin embargo, a través de la literatura se reconoce que los ecosistemas ribereños poseen la capacidad de contribuir a la regulación de los impactos de eventos extremos puesto que, previenen la erosión y mantienen la fertilidad del suelo (Lara *et al.*, 2013).

5.1.2. Sobre las actividades antrópicas en el fiordo Comau

El Plan de Desarrollo Comunal de Hualaihué más reciente corresponde al periodo 2014-2017. Este plan plantea como propósito principal la búsqueda de oportunidades a través del fomento productivo y la incorporación de la comuna a la conectividad territorial (Ilustre Municipalidad de Hualaihué, 2013) a través del proyecto que da continuidad a la ruta CH-7.

En términos de desarrollo productivo territorial, la comuna se presenta como un territorio rico en recursos naturales asociados principalmente al mar, donde existe un predominio de las actividades asociadas a la acuicultura del Salmón, la mitilicultura, es decir, el cultivo de moluscos y la pesca artesanal. Estas actividades son las que más empleabilidad generan en el territorio, y por tanto, absorben gran parte de la mano de obra local (Ilustre Municipalidad de Hualaihué, 2013).

Los salmones son especies exóticas, que fueron introducidas al país para pesca deportiva a comienzos del siglo XIX. Sin embargo, desde la década del 80 han sido cultivados con fines comerciales (Sepúlveda *et al.*, 2009). Episodios reciente de fugas de estas especies ocurrieron durante el mes de julio de 2018 en la región de Los Lagos, donde aproximadamente 690.000 salmones escaparon de las instalaciones de un centro salmonícola debido a eventos meteorológicos adversos (CNN CHILE, 2018).

En este contexto, la forma de cultivo de los salmónidos en balsas jaulas flotantes otorga condiciones favorables para estas especies puedan escapar al entorno marino ya sea a causa de condiciones climáticas que puedan llegar a deteriorar el estado de las instalaciones para el cultivo de peces, robo, déficits en la mantención de las estructuras de cultivo, mala manipulación de los peces cultivados o ataques por depredadores, tales como lobos marinos (Sepúlveda *et al.*, 2009). Dentro de los impactos ambientales derivados del escape de salmones se pueden identificar el efecto sobre los ecosistemas y las especies nativas a través de la depredación y/o competencia por recursos y hábitat, el “asilvestramiento” de los salmones escapados y la transmisión de patógenos y enfermedades (Sepúlveda *et al.*, 2009).

Por otra parte, desde la literatura se reconoce que, uno de los principales daños medioambientales derivados de la industria salmonícola, son los desechos, los cuales abarcan desde diversos tipos de plástico y estructuras metálicas procedentes de las instalaciones para el cultivo de peces hasta alimento no ingerido y materia fecal proveniente de los peces cultivados. Por acción de la gravedad, el alimento no ingerido y la materia fecal son depositados en el fondo marino, donde el aumento de materia orgánica y nutrientes desde los sedimentos hacia la columna de agua podrían generar una disminución del oxígeno puesto que, se incrementa el ingreso de nitrógeno (N) y fósforo (P) (Buschmann, 2001).

Lo anterior, podría generar graves consecuencias sobre la biodiversidad marina presente en el área de estudio puesto que, el descenso del oxígeno presente en la columna de agua podría contribuir en la disminución de la biodiversidad biológica del sector, donde sólo prevalecerá la supervivencia de aquellas especies que logren adaptarse a las nuevas condiciones del medio (Doren & Gabella, 2001).

En este sentido, puede ser identificada la expansión de la salmonicultura que en este caso, puede ser representada a través de 242,66 hectáreas empleadas para el cultivo de salmónidos como una amenaza potencial a los ecosistemas nativos debido que las implicancias ecológicas que tienen actualmente los escapes e impactos generados por esta actividad podrían llegar a afectar gravemente al ecosistema marino del área de estudio.

Respecto a la actividad turística, la Ilustre Municipalidad de Hualaihué (2013) declara en su PLADECO que, durante el último tiempo se han originado conflictos debido al uso de los espacios, con mayor énfasis en la afectación que podrían tener las actividades turísticas sobre los recursos naturales y el paisaje. Sin embargo, el potencial turístico de la zona radica principalmente en la riqueza de sus recursos naturales y por ende, ecosistemas. Es debido a lo anterior que destaca la reciente definición del sector turismo como eje estratégico, transversal y articulador del desarrollo económico del territorio, de tal forma que se generen bases para la diversificación productiva de la comuna.

En este sentido, la presencia de mar, bosque nativo y ríos, los cuales albergan y son necesarios para la existencia de biodiversidad en el área de estudio resultan fundamentales para el desarrollo de actividades turísticas basadas en la naturaleza. Sin embargo, en la actualidad no existen servicios básicos aptos para el turismo en gran parte del territorio comunal, lo cual podría limitar la regularización de iniciativas de alojamiento y alimentación (Ilustre Municipalidad de Hualaihué, 2013).

Cabe destacar que, la oferta turística podría presentar un incremento en el tiempo en respuesta a una mayor demanda de servicios derivada del proyecto que da continuidad terrestre a la Carretera Austral, ya que aumentaría el flujo de población flotante durante la época estival. Sin embargo, lo anterior podría generar un impacto significativo producto de una demanda excesiva de recursos y/o contaminación derivada de una gestión inadecuada de residuos, lo cual podría generar secuelas sobre los ecosistemas presentes en el área de estudio, puesto que los hábitats podrían llegar a degradarse y con ello, alterar la vida silvestre de las especies. (Comisión Europea, s/f).

5.2. CONCLUSIONES

La finalidad de esta investigación fue identificar y analizar la provisión potencial actual de servicios ecosistémicos en la cuenca del río Vodudahue en base a la identificación de las coberturas presentes en el área de estudio y la implementación del Modelo de Análisis Espacial Multicriterio (AEMC) propuesto por Esse *et al.* (2014).

Un aspecto destacable del AEMC es que integra la evaluación por parte de un panel de expertos y actores locales institucionales, y aunque si bien no incluye la apreciación de los actores que hacen uso real de los servicios ecosistémicos, esta puede ser incluida fácilmente como se realizó en este caso de estudio.

A partir de la implementación del Modelo Espacial de Análisis Multicriterio se desprende que, las coberturas bosque mixto, transición bosque-arbusto, praderas, cursos de agua, mar y zonas húmedas presentaron una capacidad media para proveer servicios ecosistémicos de provisión. Por otra parte, las coberturas roca descubierta (cara libre), roca descubierta (depósitos fluviales) y áreas con poca vegetación exhibieron una capacidad baja para suministrar servicios ecosistémicos de provisión.

En cuanto a la provisión potencial de servicios ecosistémicos de regulación, las coberturas bosque mixto y transición bosque-arbusto presentaron una capacidad alta para proveer dicho servicio. Por otra parte, las coberturas praderas, zonas húmedas, cursos de agua y mar expusieron una capacidad media para suministrar servicios ecosistémicos de regulación. Mientras que, coberturas tales como roca descubierta (cara libre), roca descubierta (depósitos fluviales) y áreas con poca vegetación presentaron una capacidad baja.

En términos de la capacidad para brindar servicios ecosistémicos culturales, las coberturas bosque mixto, transición bosque-arbusto, cursos de agua y mar presentaron una capacidad alta para proveer este tipo de servicio. Mientras que, las coberturas praderas, roca descubierta (cara libre), roca descubierta (depósitos fluviales), áreas con poca vegetación y zonas húmedas expusieron una capacidad media para suministrar servicios ecosistémicos culturales.

Si bien, los ecosistemas del área de estudio han sido poco intervenidos en el tiempo, el bosque nativo presente en el área de estudio ha sido ancestralmente explotado para extracción maderera (Ramírez, 1996). En este sentido es necesario plantear que, el uso del bosque para extracción de madera no responde a un uso sustentable y sostenible de los recursos naturales en el tiempo, por lo que se hace necesario hacer usufructo del bosque fundamentado en el aprovechamiento de los recursos no visibilizados, tales como el

empleo de hierbas, frutos silvestres, materias primas para artesanías y otros productos (Ilustre Municipalidad de Hualaihué, 2013). En este sentido, actividades tales como la producción de miel y productos derivados de frutos y fibras silvestres se presentan como una actividad alternativa a la explotación de esta cobertura, las cuales se han presentado como actividades en aumento mediante la puesta en marcha de pequeñas iniciativas locales al interior de la comuna de Hualaihué (Ilustre Municipalidad de Hualaihué, 2013).

A partir de los resultados obtenidos se concluye que, las coberturas bosque mixto, transición bosque-arbusto, praderas, mar, cursos de agua y zonas húmedas presentan una capacidad importante para brindar servicios ecosistémicos en comparación a las superficies o coberturas asociadas a la roca descubierta de depósitos fluviales, laderas expuestas y áreas con poca vegetación. También se reconoce el potencial excepcional que tiene el área de estudio para desarrollar actividades asociadas al turismo y contemplación de la naturaleza, tales como escalada en roca, senderismo, pesca, avistamiento de aves, etc.

De manera paralela a la generación de actividades y servicios, y debido al explosivo crecimiento que la actividad turística podría representar producto de la pavimentación y continuidad terrestre que se le dará a la Carretera Austral, es que se hace necesaria la elaboración instrumentos y estrategias claras que permitan proteger los recursos naturales, el paisaje y las tradiciones locales, los cuales en algunos casos ya se encuentran en conflictos por uso, como por ejemplo la afectación del paisaje y biodiversidad producto de la instalación de balsas jaulas en el mar y existencia de industria salmonícola al interior del área de estudio.

Es debido a lo anterior que resulta necesario explorar usos sustentables basados en las características intrínsecas del territorio, impulsando actividades productivas de bajo impacto, tanto para los recursos naturales como en los habitantes y que generen empleo e ingresos a quienes las desarrollen, que potencien el patrimonio natural y el desarrollo sustentable. Y que tenga en consideración los impactos que se generarán sobre las diferentes coberturas y biodiversidad con la llegada de población flotante durante la época estival.

BIBLIOGRAFÍA

ALBORNOZ , F. (2017). *Geodinámica de laderas en el fiordo Comau, región de los Lagos, Chile. Tesis para optar al grado de Magíster en Geografía*. Santiago: Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile.

ARRATIA QUINTANA, P. B. (2017). *Análisis de la vulnerabilidad y el riesgo de las actividades económicas: pesca, acuicultura y turismo, frente a las amenazas de origen natural en el fiordo Comau, región de Los Lagos*. Santiago: Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile.

BACHMANN, P., DE LA BARRERA, F., & TIRONI, A. (2014). *Recopilación y sistematización de información relativa a estudios de evaluación, mapeo y valorización de servicios ecosistémicos en Chile*. Obtenido de <http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2014/10/Informe-final.pdf>

BURKHARD, B., KROLL, F., MÜLLER, F., & WINDHORST, W. (2009). Landscapes capacities to provide ecosystem services- a concept for land- cover based assessments. *Landscape online*, 1-22. doi:10.3097

BUSCHMANN , A. H. (2001). *Impacto ambiental de la acuicultura: El estado de la investigación en Chile y el Mundo*. Santiago: Terram publicaciones.

CARPENTER, S., DEFRIES, R., DIETZ, T., MOONEY, H., POLASKY, S., REID, W., & SCHOLLES, R. (2006). Millennium Ecosystem Assessment: Research Needs. *Science*, 257-258.

CENTRO DE CONSERVACIÓN MARINA UC. (s/f). *Fiordo Comau*. Obtenido de Postales Áreas Marinas Protegidas: <http://chileesmar.cl/wp-content/uploads/2016/11/Postales-%C3%81reas-Marinas-Protegidas-1.pdf>

CNN CHILE. (20 de Julio de 2018). *Advierten que escape de salmones equivale a plaga de 140 millones de ratones*. Obtenido de CNN CHILE : https://www.cnnchile.com/pais/advierten-que-escape-de-salmones-equivale-a-plaga-de-140-millones-de-ratones_20180720/

COMISIÓN EUROPEA. (s/f). *Biodiversidad en breve 9: Turismo y biodiversidad*.

COMMON INTERNATIONAL CLASSIFICATION OF ECOSYSTEM SERVICES. (2013). *Common International Classification of Ecosystem Services V4.3*.

COMUNIDADES EUROPEAS. (2008). *La Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad*.

CONGRESO NACIONAL. (06 de Mayo de 1995). *Promulga el Convenio sobre la Diversidad Biológica*. Obtenido de Biblioteca del Congreso Nacional de Chile: <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=18766>

CONGRESO NACIONAL. (08 de Septiembre de 2011). *Declara Área Marina y Costera Protegida para fines que indica, el sector denominado "Fiordo Comau", X región de los Lagos*. Obtenido de Biblioteca del Congreso Nacional de Chile: <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1029444>

CONSTANZA, R., D'ARGE, R., DE GROOT, R., FARBER, S., GRASSO, M., HANNON, B., . . . SUTTON, P. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-260.

CORDERO, S., ABELLO, L., & GALVEZ , F. (2017). *Plantas silvestres comestibles y medicinales de Chile y otras partes del mundo. Guía de campo*. Concepción: Ed. Corporación chilena de la madera.

DE LA BARRERA, F., BACHMANN - VARGAS, P., & TIRONI, A. (2015). La investigación de servicios ecosistémicos en Chile: una revisión sistemática. *Investigaciones geográficas*, 3-18.

DELGADO, L.E., M.B. SEPÚLVEDA & V.H. MARÍN, 2013. Provision of ecosystem services by the Aysén watershed, Chilean Patagonia, to rural households. *Ecosystem Services*, 5: 102-109.

DOREN, D., & GABELLA, J. P. (2001). *Salmonicultura en Chile: Desarrollo, proyecciones e impacto*. Santiago: Terram Publicaciones.

ENCALADA, A. (2010). Funciones ecosistémicas y diversidad de los ríos. Reflexiones sobre el caudal ecológico y su aplicación en el Ecuador. *Polémika*, 40-47.

ESSE, C., VALDIVIA, P., ENCINA-MONTOYA, F., AGUAYO, C., GUERRERO, M., & FIGUEROA, D. (2014). Modelo de análisis espacial multicriterio (AEMC) para el mapeo de servicios ecosistémicos en cuencas forestales del sur de Chile. *Bosque*, 289-299.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. (1995). *CORINE land cover*. Obtenido de <https://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>

EVALUACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS DEL MILENIO. (2003). *Ecosistemas y Bienestar Humano: Marco para la evaluación*. Washington DC.: Island Press.

EVALUACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS DEL MILENIO. (2005). *Los Ecosistemas y el Bienestar Humano: Humedales y Agua. Informe de síntesis*. Washington DC.: World Resources Institute.

FITZEK, R. (2014). *Restauración ecológica de bosque siempreverde templado andino y de bosques de Fitzroya cupressoides y Pilgerodendron uviferum en Huinay, región de los Lagos, Chile*. Valdivia: Universidad Austral de Chile.

FUNDACIÓN RA PHILIPPI. (s/f). *Ugni candollei*. Obtenido de Fundación RA Philippi de estudios Naturales: <http://fundacionphilippi.cl/catalogo/ugni-candollei>

FUNDACIÓN SAN IGNACIO DE HUINAY. (2016). *Área Marina Protegida*. Obtenido de Investigación Científica: <http://www.huinay.cl/site/sp/investigacion.html>

FUNDACIÓN SAN IGNACIO DE HUINAY. (s/f). *Fauna Marina*. Obtenido de Entorno Marino: <http://www.huinay.cl/site/files/entornomarino/fauna-marina.pdf>

GÓMEZ-OREA, D. 1999. Evaluación de impacto ambiental. Un instrumento preventivo para la gestión ambiental. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa. Editorial Agrícola Española. 701 p.

GONZÁLEZ, N. (2016). *Análisis y caracterización temporo-espacial de la morfología Fan-Delta en la localidad de Huinay, fiordo Comau, región de Los Lagos*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.

HAINES-YOUNG, R., & POTSCHIN, M. (2013). *CICES V4.3-Revised report prepared followin consultation on CICES Version 4*.

HÖNIGOVÁ, I., VACKÁR, D., LORENCOVÁ, E., MELICHAR, J., GÖTZL, M., SONDEREGGER, G., . . . CHOBOT, K. (2012). *Survey on glassland ecosystem services. Report of the European Topic Centre on Biological Diversity*. Prague: Nature Conservation Agency of the Czech Republic.

ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE HUALAIHUÉ. (2013). *Plan de Desarrollo Comunal Hualaihué 2014-2017*.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INE). (2016). *División política administrativa*. Obtenido de Infraestructura de Datos Geoespaciales: <http://www.ide.cl/descarga/capas/item/division-politica-administrativa-poligonos.html>

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INE). (2017). *Censo de Población y Vivienda*.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. (25 de Octubre de 2018). *Resultados CENSO 2017*. Obtenido de Servicio de mapas del CENSO 2017: <http://ine-chile.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=bc3cfbd4feec49699c11e813ae9a629f>

- KOSCHKE, L., FÜRST , C., FRANK, S., & MAKESCHIN, F. (2012). A multi-criteria approach for an integrated land-cover-based assessment of ecosystem services provision to support landscape planning. *Ecological Indicators*, 54-66.
- LARA, A., LATERRA, P., MANSON, R., & BARRANTES, G. (2013). *Servicios ecosistémicos hídricos: Estudios de caso en América Latina y El Caribe*. Valdivia: Red ProAgua CYTED.
- LATERRA, P., BARRAL, M. P., CARMONA, A., & NAHUELHUAL, L. (Septiembre de 2015). *Protocolo Colaborativo de evaluación y mapeo de servicios ecosistémicos y vulnerabilidad socio-ecológica para el ordenamiento territorial*. Obtenido de ECO-SER: http://eco-ser.com.ar/uploads/documentos/manual_ecoser.pdf
- LITTLE, C. & LARA, A., 2010. Restauración ecológica para aumentar la provisión de agua como un servicio ecosistémico en cuencas forestales del centro-sur de Chile. *Bosque*, 31(3): 175-178.
- LUEBERT , F., & PLISCOFF, P. (2006). *Sinopsis bioclimática y vegetal de Chile*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. (2003). *Ecosystem and Human Well-Being: General Synthesis*. Washington DC.: Island Press.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. (2014). *Pisos vegetacionales* . Obtenido de Infraestructura de Datos Geoespaciales (IDE): <http://www.ide.cl/download/capas/advanced-search/233.html>
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. (s/f). *Buscador por especie*. Obtenido de Inventario Nacional de especies de Chile: http://especies.mma.gob.cl/CNMWeb/Web/WebCiudadana/WebCiudadana_Busqueda.aspx
- MORALES, R., FERNÁNDEZ ALONSO, J. L., FITZEK, R., MEDINA, L., & MUÑOZ GARMENDIA, F. (2016). Catálogo provisional de la flora de San Ignacio de Huinay, Chile . *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 1-24.
- NAHUELHUAL, L., P. DONOSO, A. LARA, D. NÚÑEZ, C. OYARZÚN & E. NEIRA, 2007. Valuing ecosystem services of Chilean temperate rainforests. *Environment, Development and Sustainability*, 9: 481-499.
- NIEMEYER, H. (1980). *Hoyas hidrográficas de Chile: Décima región*. Dirección General de Aguas.
- OYARZÚN, C. E., NAHUELHUAL, L., & NÚÑEZ, D. (2005). Los servicios ecosistémicos del bosque templado lluvioso: producción de agua y su valoración económica. *Revista Ambiente y Desarrollo de CIPMA*, 88-95.

- PARQUES PARA CHILE. (2018). *Glosario*. Obtenido de Flora y Fauna Chilena: http://www.parquesparachile.cl/index.php?option=com_glossary&func=display&Itemid=124&catid=18
- RAMÍREZ, F. (1996). Ecohistoria y destrucción en Chiloé Continental: El valle del Vodudahue 1700-1996. *Actas de la VII Jornada Nacional de Historia Regional de Chile*, 225-257.
- RAULINTAL. (2015). *Diversidad Biológica*. Obtenido de Patrimonio Natural: http://www.raulintal.cl/diversidad_biologica.html
- RIEDEMANN, M. P., TEILLIER, S., & ALDUANATE, G. (2014). *Guía de Campo. Arbustos nativos ornamentales del centro-sur de Chile*. Concepción: Corporación Chilena de la Madera. Obtenido de Corporación Chilena de la Madera (CORMA): http://www.corma.cl/_file/material/arbustos-para-web.pdf
- RODRÍGUEZ, J., & REUL, A. (2010). Biodiversidad y servicios de los ecosistemas marinos. *Uciencia*, 34-37.
- ROVIRA, J., & HERREROS, J. (2016). *Clasificación de ecosistemas marinos chilenos de la zona económica exclusiva*. Obtenido de Departamento de Planificación y Políticas en Biodiversidad, División de Recursos Naturales y Biodiversidad. Ministerio del Medio Ambiente: <http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/03/Clasificacion-ecosistemas-marinos-de-Chile.pdf>
- RUDOLPH A., MEDINA, P., AHUMADA, R. & NOVOA, V., 2011. Calidad ecotoxicológica de los sedimentos en fiordos del sur de Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. Vol. 46, N°1: 79-84, abril de 2011
- RUIZ PÉREZ M., GARCÍA FERNÁNDEZ, C., & SAYER, J. A. (2007). Los servicios ambientales de los bosques. *Ecosistemas*, 81-90.
- RUIZ, A., & CAMACHO, V. (2011). Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos. *Revista Bio ciencias*, 3-15.
- SACHS, J., & REID, W. (2006). Investments Toward Sustainable Development. *Science*, 1002.
- SARRICOLEA, P., HERRERA OSANDÓN, M., & MESEGUER RUIZ, Ó. (2017). Climatic regionalisation of continental Chile. *Journal of Maps*, 66-73.
- SECRETARÍA EJECUTIVA COMISIÓN COLOMBIANA DEL OCÉANO. (2013). *El Océano, Maravilla Terrestre*. Bogotá.
- SEPÚLVEDA, M., FARIAS, F., & ROMÁN, E. (2009). *Escapes de Salmones en Chile. Eventos, impactos, mitigación y prevención*. Valdivia: WWF.

SUBSECRETARÍA DE DESARROLLO REGIONAL Y ADMINISTRATIVO, (SUBDERE). (2013). *Guía análisis y zonificación de cuencas hidrográficas para el ordenamiento territorial*. Santiago.

THE ECONOMICS OF ECOSYSTEM AND BIODIVERSITY. (2010). *Mainstreaming the Economics of Nature: A Synthesis of the Approach, Conclusions and Recommendations of TEEB*.

UNIÓN EUROPEA. (2009). *Bienes y servicios ecosistémicos*. Oficina de publicaciones de la Unión Europea.