



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

**PRIORIZACIÓN ESPACIAL PARA LA CONSERVACIÓN DE
SERVICIOS ECOSISTÉMICOS, SOBRE LA BASE DE UNA
VALORACIÓN SOCIAL Y LA DINÁMICA DE ELEMENTOS DEL
PAISAJE NATURAL.**

VALLE DE ELQUI, REGIÓN DE COQUIMBO

Memoria para optar al título de Geógrafa

BELÉN SAVA VIDAL CUITIÑO

Profesor guía: Dr. Hugo Romero Aravena

Profesora co-guía: Dra. Milen Duarte Muñoz

SANTIAGO - CHILE

2021

Agradecimientos

Agradecer a todas las personas que fueron parte de este camino, que me acompañaron, apoyaron, y entregaron amor en esta etapa. A mi familia por siempre estar, a mis amigas y amigos por los buenos momentos y la contención en los no tan buenos. A los trabajadores de la facultad por mantener el espacio propicio para formarme, a las tías y tíos de la unidad de aseo que junto a la Escuela Popular FAU me mostraron la importancia del trabajo colaborativo y la solidaridad, para conseguir cualquier meta que nos propongamos.

Al profesor Hugo Romero por guiarme en este proceso y a Milen Duarte por permitirme trabajar con ella en conjunto con la ONG CODECIAM y la comunidad del Valle del Elqui, pudiendo ser parte de su lucha por la defensa de su territorio.

A todos ellos y ellas estoy profundamente agradecida.

Resumen

Frente a la progresiva disminución de sistemas naturales, principalmente por causas antrópicas, y ante ausencia de ordenamiento territorial en Chile, se hace necesario generar estrategias de conservación y gestión territorial desde las comunidades, en que se reconozca la naturaleza, tanto como sujeta de derecho, como por los beneficios que otorgan a la sociedad.

Para este fin, resulta necesario conocer el entorno y su funcionamiento, en ese sentido, la presente memoria de título se plantea como objetivo generar una priorización espacial para la conservación de Servicios Ecosistémicos (SE), sobre la base de una valoración social complementada con la dinámica del paisaje natural de la subcuenca Rio Claro, Valle de Elqui, que servirá como insumo para una gestión territorial local promoviendo un desarrollo integral entre las personas y los ecosistemas que habitan.

Dicha priorización espacial se desarrolló mediante una metodología mixta que integró técnicas cualitativas y cuantitativas. Específicamente, la valoración social se basó en una sistematización de mapeos participativos realizados y facilitados por la ONG CODECIAM. El análisis de la dinámica del paisaje natural se basó en la variación de los indicadores de cobertura vegetal y humedad del suelo para los años 1986 y 2019 mediante el cálculo de los índices NDVI y NDWI, debido a que estos elementos se constituyen como fuentes generadoras de SE. Finalmente, la selección de sitios prioritarios se ejecutó mediante el software Marxan, programa diseñado para generar sistemas de reservas naturales, pero que puede ser aplicado para distintos tipos de conservación, ya que en él se puede integrar múltiple información según lo que se busque conservar. Para este caso, permitió integrar la valoración social y la variación de la dinámica del paisaje natural de manera óptima.

Mediante la sistematización de la valoración social se obtuvo que se da principal importancia a los ríos Cochiguaz y Claro o Derecho y a la quebrada Paihuano, luego al sector de Estero Derecho. El análisis de la dinámica del paisaje natural revela que las elevadas altitudes y el sector sur de la subcuenca presentan mantenimiento de vegetación y humedad, la cordillera presenta las principales pérdidas de humedad y se da un escaso aumento de ambos elementos. En base a lo anterior, los sitios prioritarios fueron constatado en 4 zonas principales: La primera en la zona norte, en el sector distal de la quebrada Paihuano de 21 km²; otra en la zona centro norte, en el sector de Cochiguaz y sus alrededores de 59 km²; la tercera se ubica al sector suroeste de la subcuenca, que comprende parte del valle del río Claro y del Santuario Natural de Estero Derecho, de 220 km²; la última se ubica al límite sureste de la zona sobre 90 km², y presenta una gran cantidad de humedales altoandinos y glaciares de roca.

Los resultados obtenidos del estudio se consideran un aporte a la gestión territorial local, debido a presentar zonas que, de acuerdo con la valoración social y la integración de la dinámica de elementos del medio natural realizada, son consideradas como importantes de conservar, debido a su constitución como sitios prestadores de Servicios Ecosistémicos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN	7
1.1 Introducción	7
1.2 Planteamiento del problema	9
1.3 Objetivos	13
1.3.1 Objetivo General:	13
1.3.2 Objetivos Específicos:	13
1.4 Área de estudio.....	13
CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ASUNTO	16
2.1 Servicios Ecosistémicos	16
2.1.1 Valoración de Servicios Ecosistémicos.....	17
2.2 Estimación de la dinámica del paisaje natural basada en los Índices de diferencia normalizada de vegetación (NDVI) y humedad (NDWI).....	20
2.3 Identificación de zonas prioritarias de servicios ecosistémicos con Marxan	21
CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO	24
3.1 Sistematización de la valoración social de servicios ecosistémicos.....	24
3.2 Identificación de los cambios temporo-espaciales de la cobertura vegetal y humedad del suelo como indicadores de la dinámica del paisaje natural	28
3.3 Priorización espacial basada en la valoración social y dinámica del paisaje natural	31
CAPÍTULO 4: RESULTADOS	34
4.1 Espacialización de la valoración social	34
4.2 Dinámica del paisaje natural para los años 1986 y 2019	45
4.2.1 Variación de la cobertura vegetal sobre la base del índice NDVI.....	45
4.2.2 Variación de la humedad del suelo sobre la base del índice NDWI.....	46
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES.....	52
REFERENCIAS	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Infografía sobre amenaza de proyectos mineros.....	10
Figura 2: Cartografía del área de estudio, Subcuenca Rio Claro, Valle de Elqui.	15
Figura 3: Clasificación de SE y aportes al bienestar.	17
Figura 4 Esquema metodológico.	24
Figura 5: Gráfico de área/perímetro para definir el modificador de longitud de frontera (BLM).....	33
Figura 6: Fotografía de la cartografía participativa del SE de Agua registrada en el taller realizado en Horcón.....	35
Figura 7: Fotografía de la cartografía participativa del SE de Recolección de materiales registrada en el taller realizado en Cochiguaz.	35
Figura 8: Zonificación de la valoración social de reconocimiento y/o uso del SE de Agua. Subcuenca Rio Claro, Valle de Elqui.	36
Figura 9: Zonificación de la valoración social de reconocimiento y/o uso del SE de Agricultura. Subcuenca Rio Claro, Valle de Elqui.....	37
Figura 10: Zonificación de la valoración social de reconocimiento y/o uso del SE de Ganadería. Subcuenca Rio Claro, Valle de Elqui.....	38
Figura 11: Zonificación de la valoración social de reconocimiento y/o uso del SE de Recolección de hierbas y frutos. Subcuenca Rio Claro, Valle de Elqui.....	39
Figura 12: Zonificación de la valoración social de reconocimiento y/o uso del SE de Recolección de materiales de construcción y artesanías. Subcuenca Rio Claro, Valle de Elqui.	40
Figura 13: Zonificación de la valoración social de reconocimiento y/o uso del SE de Turismo. Subcuenca Rio Claro, Valle de Elqui.	41
Figura 14: Zonificación de la valoración social de reconocimiento y/o uso del SE de Biodiversidad. Subcuenca Rio Claro, Valle de Elqui.....	42
Figura 15: Zonificación de la valoración social de reconocimiento y/o uso de servicios ecosistémicos. Subcuenca Rio Claro, Valle de Elqui.	44
Figura 16: Zonificación con base a la variación del NDVI entre los años el 1986 y 2019..	46
Figura 17: Zonificación con base a la variación del NDWI entre los años el 1986 y 2019.	47
Figura 18: Zonificación de la dinámica del paisaje natural sobre la base de indicadores de cobertura vegetal y humedad del suelo en el tiempo. Subcuenca Rio Claro, Valle de Elqui.	49
Figura 19: Priorización espacial para la conservación de servicios ecosistémicos sobre la base de una valoración social integrada por indicadores del medio natural.....	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Detalle de capas elaboradas y obtenidas de páginas web de datos georreferenciados.	27
Tabla 2 Clasificación de valores con base en los mapeos participativos.	28
Tabla 3: Reclasificación Índice NDVI	29
Tabla 4 Reclasificación Índice NDWI.....	29
Tabla 5: Matriz de cambio según NDVI para los años 1986 y 2019.....	30
Tabla 6: Matriz de cambio según NDWI para los años 1986 y 2019.....	30
Tabla 7: Reclasificación de códigos con base a la variación del NDVI Y NDWI.....	30
Tabla 8: Matriz de superposición NDVI + NDWI	31
Tabla 9: Clasificación de las combinaciones obtenidas de la superposición de NDVI y NDWI	31
Tabla 10: Objetos por conservar con sus metas de conservación en porcentaje y superficie.	32

CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN

1.1 Introducción

La Tierra es considerada un sistema abierto y dinámico que está en constante cambio, sin embargo, con el desarrollo de actividades humanas, estas transformaciones se han intensificado, especialmente durante los últimos 60 años, en que los cambios de usos de suelo, la sobreexplotación de recursos naturales, la contaminación ambiental y el cambio climático, han sido los principales causantes de la pérdida de ecosistemas naturales y de la degradación de la biodiversidad (Badii et al., 2015)

Estos procesos, principalmente antropogénicos, repercuten en los distintos territorios afectando sus componentes bióticos y abióticos, y con ello los servicios ecosistémicos (SE), los que representan los beneficios que las personas recibimos desde el medio ambiente o la naturaleza (Millennium Ecosystem Assessment, 2005a). La afectación de los servicios ecosistémicos puede repercutir directamente en el desarrollo y bienestar de las personas, por lo que reconocer a la naturaleza como sujeta de derecho (Gudynas, 2010), y además como prestadora de servicios a la sociedad, demanda generar planes que eviten impactos sobre ella.

Con relación a lo anterior, el ordenamiento territorial; entendido como la potestad de cada Estado de administrar el territorio nacional mediante directrices y lineamientos de ocupación del espacio en sus distintas escalas, y la planificación territorial; definida como la materialización de dichos principios mediante instrumentos de planificación territorial, cumplen un rol fundamental en la configuración y el desarrollo de un territorio (Fuentes, 2015). No obstante, en Chile, no se cuenta con un ordenamiento territorial jurídico, y la administración del territorio nacional queda supeditada a políticas sectoriales e instrumentos de planificación territorial ineficientes, dirigidos exclusivamente hacia lo urbano (Precht et al., 2016), priorizando un desarrollo económico que provoca disparidades y desequilibrios territoriales (Romero & Vásquez, 2005)

En este contexto, la subcuenca Río Claro, situada en la cabecera del Valle del Elqui, zona centro-norte del país, históricamente se ha configurado como un territorio rural dedicado a la agricultura, ganadería, y desde comienzo de siglo al turismo, por la valoración de su cultura y naturaleza (Nicolas-Artero, Velut, & Aliste, 2018). Si bien, las y los habitantes de esta subcuenca han reconocido transformaciones socioespaciales en el último periodo asociadas al turismo, actualmente se encuentran preocupados por la creciente disminución del elemento hídrico y la amenaza de proyectos mineros que conllevan al deterioro del paisaje y sus servicios ambientales (La Region de Coquimbo, 2021 ; El Día, 2020; El Día, 2018; CODECIAM, 2019; Elqui Valle Sagrado, 2021). Frente a esta situación, se requieren esfuerzos que apunten a una comprensión del territorio y reconocimiento de la importancia de sus ecosistemas para generar planes de administración de los recursos y conservación de

la naturaleza desde lo local, acorde a las necesidades ambientales del territorio y sus modos de vida.

De esta manera, la disciplina geográfica, al tener como objeto de estudio el espacio -el cual se entiende dialécticamente como contenedor y su vez como contenido de procesos sociales y sus representaciones materiales e inmateriales- permite abordar los temas ambientales con una visión integradora, haciendo dialogar conceptos como: medio ambiente; para referirse al ambiente construido por relaciones sociales (Bocco & Urquijo, 2015), ecosistemas; para referirse a la interacción entre organismos bióticos con su entorno abiótico (Armenteras et al., 2016), paisaje; como lo observado y percibido, lugar; como la experiencia de una localización desde la cotidianidad (Aliste Almuna, 2011) y territorio, como el espacio construido y apropiado mediante relaciones de poder (Arreola & Saldívar, 2017). Para así, poder incidir en la toma de decisiones sobre gestión territorial.

En este sentido, la presente memoria de título tiene como objetivo principal priorizar espacialmente los Servicios Ecosistémicos de la comuna de Paihuano sobre la base de una valoración social y la dinámica del paisaje natural en el tiempo, con el fin de integrar conocimiento y generar insumos que aporten a una gestión del territorio desde lo local, que promueva el desarrollo armónico entre la sociedad y naturaleza. Esto, en el marco del estudio de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos de Valle de Elqui que está llevando a cabo la Corporación para el Desarrollo de las Ciencias Ambientales, ONG CODECIAM , en conjunto con el Instituto de Ecología y Biodiversidad IEB-Chile y la ONG local Elqui Valle Sagrado desde el año 2019, el cual ha consistido en dos campañas de terreno, una para la identificación de biodiversidad y servicios ecosistémicos (otoño 2019) y otra, para la valoración de los SE ya identificados, mediante cartografías participativas realizadas con las y los habitantes del valle (primavera 2019).

En el primer capítulo de esta memoria se expone el planteamiento del problema de investigación, los objetivos y área de estudio. En el segundo capítulo se desarrolla el estado del asunto, abordando los conceptos de servicios ecosistémicos y priorización espacial. En el tercer capítulo se explica la metodología para cumplir con los objetivos expuestos en el capítulo primero. En el cuarto capítulo se exponen los resultados obtenidos por cada uno de los objetivos propuestos. Finalmente, en el capítulo quinto se desarrollan las conclusiones, limitaciones y recomendaciones.

1.2 Planteamiento del problema

Desde la disciplina geográfica el territorio se define como un sistema compuesto por la relación integrada entre la sociedad y la naturaleza, que involucra apropiación y pertenencia por parte de la primera mediante el proceso de territorialización. La territorialización es, a su vez, un proceso de construcción de territorios con un contenido que es producto de la interacción de una dimensión subjetiva, relacionada a lo identitario, una objetiva, relacionada a los usos de recursos y una abstracta, relacionada a las normas establecidas (Arreola & Saldívar, 2017).

A escala nacional, en Chile existe una territorialización fundada en gran medida por el proyecto neoliberal instaurado por la dictadura militar, caracterizado por un Estado de tipo subsidiario que genera políticas públicas para favorecer el actuar del libre mercado bajo el argumento de generar un mayor desarrollo económico (Urzúa, 2019). Su modo de operar ha sido mediante la transformación de la totalidad de bienes y servicios -incluido el territorio y sus servicios ambientales- en mercancías transables en el mercado, basándose en el valor de cambio y despreciando otros valores como los afectivos o identitarios, lo que ha generado una configuración territorial desigual expresada en disparidades económicas, sociales y ambientales (Romero & Vásquez, 2005).

Estas disparidades territoriales, entendidas como el resultado de la ausencia de ordenamiento territorial público, y la consecuente ocupación del territorio siguiendo mecanismos del mercado, ha provocado la emergencia de múltiples instrumentos de planificación territorial por parte de distintas instituciones sectoriales que no responden a principios de ocupación ambientalmente sustentables del espacio ni a una política local, regional o nacional (Fuentes, 2015) que se oriente a estos fines. Frente a esto, existe una necesidad de un ordenamiento y planificación territorial que promueva el desarrollo de la sociedad garantizando la conservación de la biodiversidad y el equilibrio de los ecosistemas.

En este marco, la comuna de Paihuano, perteneciente a la subcuenca Río Claro, cuenta con una incipiente planificación territorial, dictando sus primeras normas de urbanización en abril del año 2019 establecidas dentro del Plan Regulador Intercomunal de la provincia del Elqui, y en su primer Plan Regulador Comunal formalizado en julio de ese mismo año (Ilustre Municipalidad de Paiguano, 2019). Sin embargo, este instrumento se vuelve ineficiente, por abarcar solo a tres poblados que se conforman como áreas urbanas y no a la totalidad de la comuna, además de que no contempla aspectos de preservación de los sistemas naturales.

Por otro lado, existe una amenaza latente causada por empresas mineras que desean instalarse en la comuna, pronosticándose con ello, una consecuente degradación ambiental que preocupa a la población local. Específicamente, el año 2018 la empresa de capitales japoneses Pan Pacific Copper, envió una solicitud a la comunidad de Estero Derecho emplazada en el sector de Alcohuaz, para utilizar su camino y llegar a sus pertenencias con el fin de realizar

exploraciones de mensura, paso previo para la realización de un proyecto minero (La Región de Coquimbo, 2018) lo que ha llevado a la comunidad a organizarse desde ese momento, formando un movimiento socioambiental llamado Elqui sin Mineras, que lucha por impedir que este territorio se transforme en una comuna minera extractiva (ver Figura 1) (Elqui Valle Sagrado, 2020).



Figura 1: Infografía sobre amenaza de proyectos mineros.
Fuente: Elqui sin Mineras, ONG Valle Sagrado (2020).

Si bien, aún no se concreta el ingreso de ningún proyecto de inversión minera al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental que busque emplazarse en este sector, a fines del año 2020 ingresó uno que busca emplazarse en la comuna de Vicuña, aledaña a la comuna de Paihuano, con el objetivo de producir concentrado de cobre mediante un yacimiento de explotación

subterráneo y una planta procesadora (Elqui Valle Sagrado, 2020), provocando un fuerte rechazo por parte de toda la población perteneciente al Valle de Elqui.

La oposición a estos proyectos está dada por los múltiples impactos ambientales que provoca la actividad minera, los cuales consisten en la afectación a los componentes biológico, físico y social del ecosistema, degradando el paisaje natural y perturbando su biodiversidad (Gratzfeld, 2004), además de producir contaminación atmosférica, provocada por la emisión de gases y partículas en los procesos de fundición y generación de energía; y contaminación del agua por efluentes líquidos con metales, que provocan a la vez contaminación de suelo, y que consumen una alta cantidad de agua para el desarrollo de sus procesos, ocupando principalmente el agua de acuíferos subterráneos (Sánchez & Enríquez, 1996).

Estos impactos toman especial importancia en zonas áridas y semiáridas, debido al sobreuso del recurso hídrico, sin embargo el contrargumento por parte de las empresas, es que prefieren esta localización ya que se reduce el impacto socioambiental por ser zonas desérticas (Sánchez & Enríquez, 1996). Pero, este análisis reduccionista pasa por alto las múltiples sinergias que existen en cuanto a, interacciones ecológicas en la alta montaña (Squeo et al., 2006), la gran biodiversidad que albergan sus cerros y quebradas (CODECIAM, 2019b) y, los problemas de escasez hídrica que ya afectan a esta zona (CR2, 2015), dedicada principalmente a la agricultura y en segundo lugar al turismo, por lo que la amenaza al deterioro del paisaje se considera relevante.

En base a lo mencionado, dada la ausencia de ordenamiento territorial nacional y la aplicación de instrumentos de planificación ineficientes para la conservación de ecosistemas, dentro de un Estado que favorece el actuar del mercado, se demanda una apropiación del territorio por parte de la comunidad, mediante la generación planes o iniciativas de conservación de sus ecosistemas y de gestión de sus territorios, que apunten a un desarrollo armónico entre personas y el medio que habitan, incidiendo en las instancias de toma de decisiones. Es por ello, que se reconoce la importancia de continuar generando conocimiento sobre la relevancia de los ecosistemas y los beneficios que otorgan a las sociedades. Desde la perspectiva de la geografía ambiental, con su visión integradora, se puede abordar este problema, permitiendo comprender el espacio como una construcción social, mediante una relación caótica entre la sociedad y naturaleza que se basa en el aprovechamiento de ella para su desarrollo (Vargas, 2005), posicionándose de una manera optimista, poniendo en valor la importancia de los sistemas naturales, tanto como sujetos de derechos como por los beneficios que le otorgan a las sociedades (Carvajal, 2010), abogando por un desarrollo armónico de los territorios incidiendo en la toma de decisiones sobre los usos de suelo y gestión de los recursos naturales.

En concreto, la presente memoria de título tiene como objetivo generar una priorización espacial para la conservación de servicios ecosistémicos (SE), basada en: la sistematización de una valoración social realizada por la ONG CODECIAM, mediante la elaboración de cartografías participativas de su uso y reconocimiento de SE; y, la dinámica temporo-espacial

del paisaje natural, mediante los indicadores de cobertura vegetal y humedad del suelo, ya que estos se constituyen como elementos importantes para la generación de SE.

La valoración social de servicios ecosistémicos consiste en conocer la importancia que las personas les otorgan a estos, mediante opiniones, preferencias, y usos. Para realizar esta valoración, la cartografía participativa se reconoce como una herramienta metodológica idónea, debido que las comunidades logran generar mapas mediante la conversación y el consenso, incluyendo aspectos materiales e inmateriales del territorio que buscan preservar.

A su vez, se considera necesario conocer la dinámica temporo-espacial del paisaje natural mediante los indicadores de vegetación y humedad del suelo, para prestar atención a los sitios donde se encuentran estos elementos considerados posibilitadores de distintos SE de regulación y soporte (Viglizzo et al., 2011).

Generar una priorización para la conservación de servicios ecosistémicos con este abordaje espacial, se ve facilitada por los softwares de sistemas de información geográfica, específicamente ArcGIS, QGIS y Marxan que tienen la capacidad de proporcionar insumos para una administración territorial que considere al medio ambiente como conjunto de relaciones entre la sociedad y los ecosistemas, reconociendo valoraciones que van más allá de lo monetario y que son indispensables para el desarrollo integral de las personas y su entorno. El software Marxan, creado para diseñar sistemas de reservas, se ha posicionado como una herramienta útil para la conservación de ecosistemas y sus servicios ecosistémicos (Hernández, 2014; Vollmer et al., 2015) ya que funciona seleccionando sitios prioritarios sobre la base de múltiples sectores que tienen potencialidad para ser conservados. Es decir, la persona que ejecute el programa introduce distintas capas de información georreferenciada, que considere relevantes de ser conservadas; estas se conformarán como sectores potenciales a conservar, y Marxan generara una selección de ellas, en base a distintos objetivos que se le asignen, los cuales serán explicados más adelante.

En esta memoria de título, los sitios con potencialidad a ser conservados se refieren a áreas donde se reconocen y/o hacen uso de los servicios ecosistémicos, y, donde se ha mantenido aumentado o perdido la cobertura vegetal y humedad del suelo. De esta manera, Marxan se ajusta precisamente a la investigación, ya que permite dialogar dos tipos de conocimientos para generar un resultado final; uno basado en las preferencias de las personas y otro en herramientas de percepción remota.

En relación con lo mencionado, la geografía ambiental es idónea para abordar los servicios ecosistémicos, dada la relación de sociedad naturaleza que propone el concepto, poniendo en valor la idea de que las sociedades se benefician de los ecosistemas por lo que preservarlos se hace necesario. Esto en un escenario en existe cada vez más presión mercantil sobre los sistemas naturales, por lo que además, la disciplina geográfica puede aportar con su visión integradora para comprender los problemas ambientales y así incidir en la organización y ocupación del territorio (Carvajal, 2010).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General:

Proponer zonas prioritarias para la conservación de los servicios ecosistémico (SE), desde una integración de su valoración social con la dinámica de la cobertura de vegetación y humedad del suelo, en la subcuenca Río Claro, Valle de Elqui.

1.3.2 Objetivos Específicos:

1. Espacializar la valoración social de servicios ecosistémicos sobre la base de mapeos participativos comunitarios.
2. Identificar los cambios temporo-espaciales de la cobertura vegetal y humedad del suelo como indicadores de la dinámica del paisaje natural
3. Integrar la valoración social con la dinámica del paisaje natural para generar sitios prioritarios de conservación de servicios ecosistémicos.

1.4 Área de estudio

La subcuenca Río Claro forma parte de la cabecera de la cuenca del Río Elqui (Figura 2), la cual comienza en la cordillera de Los Andes, con el nacimiento de los ríos Cochiguaz y Claro, también llamado río Estero Derecho, y termina con su desembocadura en la bahía de Coquimbo, constituyendo uno de los valles transversales del Norte Chico de Chile; el Valle de Elqui. Administrativamente pertenece a la Provincia del Elqui, Región de Coquimbo.

La extensión de la subcuenca Río Claro (Figura 2) coincide con la de la comuna de Paihuano y abarca una superficie de 1495 km² (Instituto Nacional de Estadísticas, 2017). Limita con la subcuenca Río Turbio al norte, perteneciente a la comuna de Vicuña; con la subcuenca Río Turbio y la República de Argentina al este; con la subcuenca y comuna Río Hurtado al sur y suroeste, y con la subcuenca Elqui Medio al oeste.

En cuanto al medio natural, se trata de una subcuenca afectada por la megasequía que enfrenta la zona norte del país (CR2, 2015) por lo que el elemento hídrico es un tema de especial importancia. Hacia la cordillera se encuentran 98 glaciares rocosos, como se observa en la Figura 2 (no se alcanzan a percibir todos), según el inventario de la DGA (2014), no obstante, un estudio reciente en terreno, sobre un sector dentro de la subcuenca, ha comparado sus hallazgos con dicho inventario, revelando la existencia de una mayor cantidad de glaciares

de roca de los que se habían contabilizado, por lo que se infiere que el número total debe ser superior (Pino, 2018).

Respecto a los cursos de agua, desde los cordones cordilleranos, en el sector sur, nacen los ríos Cochiguaz y Claro o Derecho, con un flujo orientación sur-norte, que confluyen a la altura de Monte Grande formando solo el río Claro (ver Figura 2), el cual, a su vez, es tributario del río Elqui más hacia el norte en el sector de Rivadavia (Cepeda & Robles, 2004). En las nacientes de los ríos se puede observar, mediante la Figura 2, que se encuentran varios humedales altoandinos, los cuales se caracterizan por albergar una gran cantidad de flora y fauna (Squeo et al., 2006), además, estudios recientes tratan la biodiversidad que contienen las quebradas de esta subcuenca, destacando el hallazgo de más de 20 tipos de abejas, una gran cantidad vegetación y animales nativos, comprendiendo a fauna catalogada bajo amenaza (CODECIAM, 2019a, 2019b). En cuanto a la geología de este sector, se caracteriza por la constitución de rocas mesozoicas y rocas volcánicas paleozoicas, con intercalaciones de rocas sedimentarias. Estas formaciones contienen depósitos de diferentes minerales como cobre, oro y plata, lo que hace que sea muy atractiva para la empresa minera (Novoa & Llópez, 2001)

En cuanto al medio social, según los resultados del Censo (Instituto Nacional de Estadísticas, 2017), se estima que posee una población de 4.497 personas, las cuales se distribuyen en las localidades emplazadas en el fondo de valle del río Claro y Cochiguaz (Figura 2). Esta subcuenca, correspondiente a la comuna de Paihuano, se constituye como un territorio rural que sólo desde el 2019 cuenta con un Plan Regulador Comunal, pero que solo se aplica a sus áreas tres urbanas; el pueblo de Paihuano, Monte Grande y Pisco Elqui (Ilustre Municipalidad de Paiguano, 2019), por lo que el extenso territorio que queda fuera de esta clasificación no cuenta con regulación administrativa.

La configuración socioespacial de esta comuna se da principalmente por sus actividades económicas, que corresponden preferentemente a la agricultura y al turismo (Ilustre Municipalidad de Paihuano, 2016). Con relación a la primera, algunos sectores se organizan mediante el sistema de comunidades agrícolas, con propiedad colectiva de tierras y aguas, y viven de la crianza de cabras, agricultura de subsistencia, producción de carbón y de otros objetos. En cuanto al turismo, es una actividad comienza a principios de siglo y que se sigue potenciando desde la misma población local, se destacan múltiples atractivos naturales que dan reconocimiento a esta zona, especialmente los cielos claros y despejados, que a nivel internacional han promovido el desarrollo del turismo astronómico (Cepeda & Robles, 2004). Además, cuenta con un Santuario de la Naturaleza (Figura 2), declarado el año 2015, y se encuentra en tramitación la declaración de otro santuario en el sector de Canihuante, Valle Cochiguaz, y de un Monumento Natural en la zona norte, sector de Tres Cruces, esto gracias a la agencia de la comunidad junto con distintas ONG y la municipalidad (Comunidad Agrícola Estancia Estero Derecho, 2015).

En este sentido, la comuna posee un ecosistema natural que otorga múltiples beneficios a la población; pero que se encuentra amenazado por el interés que existe de parte de la actividad minera en su geología, y por la ausencia de una planificación territorial que abarque al territorio en su totalidad y que considere la conservación de su ambiente.

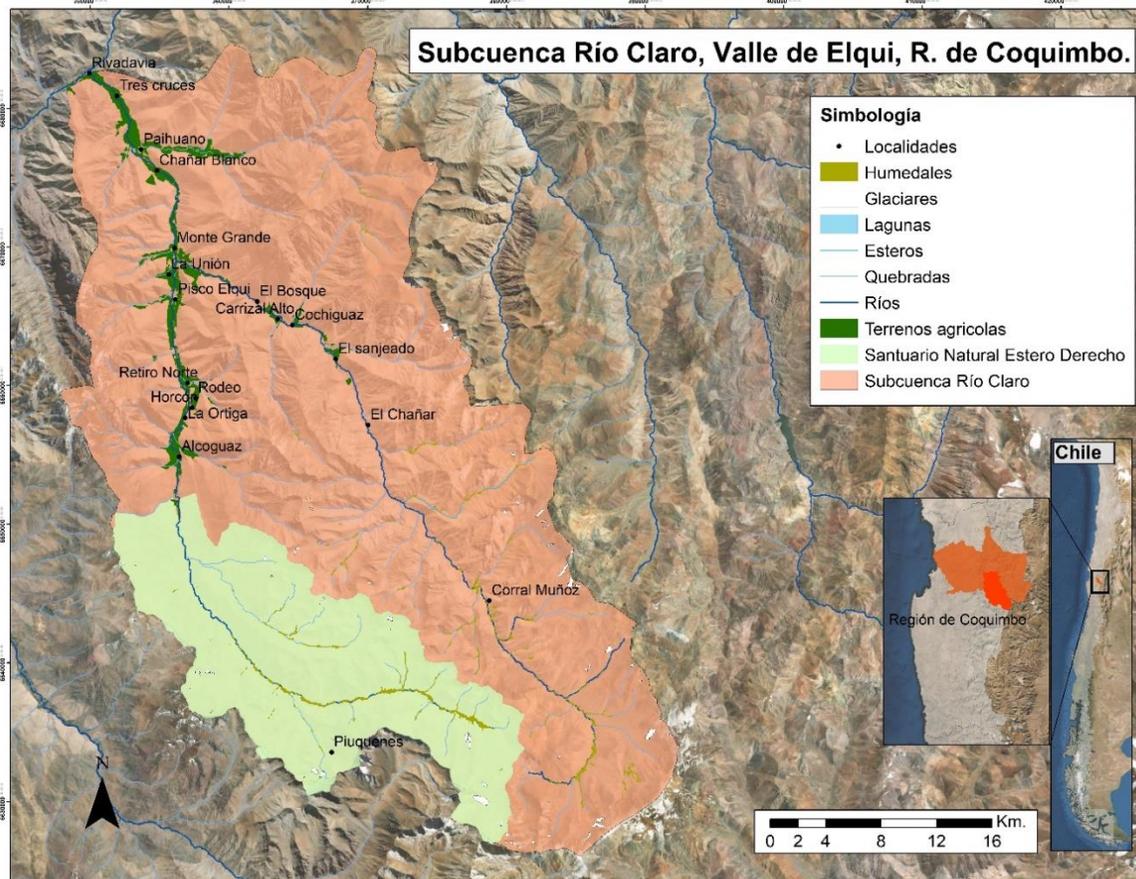


Figura 2: Área de estudio, Subcuenca Río Claro, Valle de Elqui.
Fuente: Elaboración propia (2021).

CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ASUNTO

En el siguiente capítulo se desarrolla el estado del conocimiento sobre los dos temas estructurales de esta investigación; por un lado, los servicios ecosistémicos (SE) y sus formas de valorarlos, y por otro, la priorización espacial y la utilidad del software Marxan.

2.1 Servicios ecosistémicos

Este concepto surge a fines del siglo XX para referirse a los beneficios que los ecosistemas otorgan a los seres humanos (Millennium Ecosystem Assessment, 2005a), en un escenario de depredación ambiental, en que si bien se reconoce que el homo sapiens siempre ha dependido de ellos para su subsistencia, en la actualidad es necesario ponerlo en valor, sirviendo como herramienta teórico-metodológica al momento de la toma de decisiones sobre el aprovechamiento de los recursos y paisajes naturales (Camacho Valdez & Ruiz Luna, 2012).

Desde su origen diversos autores han definido a los servicios ecosistémicos de manera aparentemente similar. La primera definición fue la planteada por Daily et al. (1997) como “condiciones y procesos a través de los cuales los ecosistemas naturales, y las especies que lo constituyen, sustentan y satisfacen a la vida humana”.

A comienzos de siglo XXI las definiciones se fueron complejizando, asignándole importancia a las funciones del ecosistema y sus relaciones para contribuir al bienestar social. De ellas destaca la elaborada por Groot et al. (2002 en Camacho Valdez & Ruiz Luna, 2012) que reconceptualiza el término a “bienes y servicios ecosistémicos” y los define como “funciones del ecosistema; la capacidad de los procesos y componentes naturales para proporcionar bienes y servicios que satisfacen las necesidades humanas, directa o indirectamente”, considerándolos como un subconjunto de la complejidad ecológica, que son observadas y valoradas por las personas (Corantioquia & UNAL, 2012) Años más tarde, Boyd y Banzhaf (en Quétier et al., 2007) definen a los servicios ecosistémicos como “componentes de la naturaleza, disfrutados, consumidos o directamente usados para producir bienestar humano”. De aquí se distinguen los beneficios (productos materiales o inmateriales) de los servicios ecosistémicos (una o más propiedades ecológicas relevantes para un beneficio y beneficiario específico) (Quétier et al., 2007).

Para este trabajo se entenderán como beneficios que aportan los ecosistemas al bienestar de la sociedad, mediante la clasificación de la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (MEA), consolidada como un referente en esta temática (Figura N°3): servicios de abastecimiento (provisión de bienes tangibles), regulación (de los ecosistemas naturales), culturales

(asociado a lo inmaterial) y de soporte (base para el adecuado funcionamiento de los ecosistemas y su continuidad) (Millennium Ecosystem Assessment, 2005a).



Figura 3: Clasificación de SE y aportes al bienestar.
Fuente: Millennium Ecosystem Assessment (2005)

2.1.1 Valoración de servicios ecosistémicos

Para que los servicios ecosistémicos se constituyan como una herramienta teórico-metodológica útil se precisa de su valoración, entendida como el acto de evaluar los elementos de los ecosistemas desde una perspectiva social, ecológica y/o económica (Méndez, 2018). En el último periodo se han desarrollado cada vez más investigaciones y literatura relacionadas a la valoración de ellos (Campillay, 2018; Corantioquia & UNAL, 2012; Méndez, 2018; Rincón-Ruíz et al., 2014; Rosa-Velazquez & Ruiz-Luna, 2020). En ellas se reconoce que existen distintas formas de valorar los servicios ecosistémicos y que una manera integrada es lo idóneo para abarcar un territorio en su complejidad, aunque aún no existe una precisión en cómo abordar esta temática.

La valoración integrada de los servicios ecosistémicos se plantea como un desafío especialmente considerando la falta de precisión y consolidación en sus definiciones y métodos; no obstante, integrar distintos lenguajes de valoración que permitan dialogar diferentes perspectivas es una forma de acercarse a la complejidad de interacciones que existen en los ecosistemas.

2.1.1.1 Valoración económica

La valoración económica es la forma que genera mayor controversia debido a que existe una gran cantidad de autores que rechazan la idea de asignarle un valor monetario a la naturaleza; sin embargo, es la forma más utilizada (Méndez, 2018) debido a que es funcional en términos argumentativos dentro del modelo económico neoliberal. El valor económico total está compuesto por dos grupos, valor de uso y el valor de no uso; el primero comprende valores de uso directo e indirecto, mientras que el segundo se refiere a la satisfacción derivada de la existencia del recurso. Para su cálculo existen distintas metodologías que derivan del análisis costo-beneficio (Corantioquia & UNAL, 2012).

2.1.1.2 Valoración ecológica

La valoración ecológica o biofísica tiene como objetivo aportar conocimiento sobre el estado de los componentes del ecosistema y la capacidad de proveer servicios (Corantioquia & UNAL, 2012). Se refiere a procesos ecosistémicos producidos por interacciones de componentes bióticos y abióticos que generan servicios ecosistémicos. Debido a la complejidad de estos procesos difícilmente se pueden evaluar en su totalidad por lo que usualmente se realiza una valoración cuantitativa de aquellos con los que se cuente información suficiente (Rincón-Ruíz et al., 2014).

2.1.1.3 Valoración sociocultural

Se refiere a una valoración basada en las opiniones y preferencias de las personas de manera no monetaria; pretende conocer la importancia que le otorgan los seres humanos a los servicios ecosistémicos en base a sus percepciones, dadas por la relación histórica que se tiene entre los ecosistemas y la población, que incluye aspectos materiales e inmateriales (Corantioquia & UNAL, 2012). Esta valoración está determinada por los significados y valores que cada cultura le atribuye a cada servicio, por lo que refuerza la identidad cultural y aporta conocimiento y consideraciones locales para conservar o gestionar un territorio, aspecto poco considerado en las tomas de decisiones desde la institucionalidad (Méndez, 2018).

2.1.1.3.1 Cartografías Participativas

Dentro de la valorización social, la cartografía participativa, o también llamada mapeo participativo, se constituye como una herramienta metodológica ampliamente utilizada, ya que permite un diálogo de saberes entre técnicos y pobladores, es adaptable a cada contexto, es de fácil aplicación, y permite plasmar en un mapa a escala, ideas y percepciones mediante

el consenso, lo que genera una producción social de conocimiento de fuentes primarias para el proceso de planificación y/o gestión del territorio (Rosa-Velazquez & Ruiz-Luna, 2020).

Esta herramienta metodológica consiste en analizar, representar y medir información espacial de los aspectos fisionómicos, recursos naturales y usos de suelo, entre otros, desde la perspectiva de la comunidad local, mediante la conversación e intercambio de ideas que plasman en las cartografías, permitiendo obtener la percepción de su territorio y entorno socioambiental (Agüero et al., 2018). Además, es una herramienta que contribuye a la toma de decisiones al alcance de la comunidad (Montañez, 2018), lo que fomenta los procesos de gobernanza. De esta manera, se generan instancias de participación local que permiten conocer las demandas sobre el territorio, las percepciones y valores sobre los ecosistemas para la toma de decisiones y la planificación territorial (Valderrama, 2013).

2.1.1.3.2 Valoración social realizada por la ONG CODECIAM

En este apartado se hace necesario explicar que, en el presente estudio se sistematizará la valoración social de servicios ecosistémicos realizada por la ONG CODECIAM, la cual se obtuvo a partir de cartografías participativas con sus respectivas actas, llevadas a cabo en cuatro localidades de la subcuenca: Paihuano, Pisco Elqui, Cochihuaz y Horcón. Allí, las personas asistentes marcaron sitios donde reconocen y/o hacen uso de servicios ecosistémicos en una escala de 1 a 5; siendo 1 muy bajo reconocimiento y/o uso, y 5 muy alto reconocimiento y/o uso. Trabajaron en siete mapas sobre servicios ecosistémicos, proporcionando un total de 28 cartografías.

Los siete SE valorados se desprendieron del informe de línea de base de Servicios Ecosistémicos de Valle de Elqui, elaborado por la ONG CODECIAM (2019). Este informe tuvo como propósito evaluar cuales aspectos del sistema socioecológico generan beneficios directos para las personas de la subcuenca Río Claro. El cual, fue elaborado con base en dos campañas de terreno, donde aplicaron encuestas y entrevistas logrando obtener un listado de SE, basados en la clasificación de MEA (2005), que se resumieron en los siguientes:

1. Agua: incluye los servicios de abastecimiento, cultural-espiritual, regulación y soporte.
2. Agricultura, incluye los servicios de abastecimiento y cultural-espiritual. En los primeros se considera el rol de hortalizas y frutales, y en los segundos, cultivos de porotos y procedimientos asociados, como por ejemplo el intercambio de semillas.
3. Ganadería, se relaciona con servicio de abastecimiento y cultural-espiritual, debido a que la trashumancia de animales es una actividad identitaria del sector, y fuente de abastecimiento de carne y lácteos.

4. Recolección de hierbas y frutas corresponde al servicio de abastecimiento y cultural-espiritual, debido a que recolectan en las laderas en base a conocimientos entregados de generación en generación.
5. Recolección de materiales de construcción y artesanía, incluida en los servicios de abastecimiento y cultural-espiritual, al incluir principalmente madera y adobe.
6. Turismo, que considera el servicio cultural-espiritual debido a la valoración de la recreación en ambientes naturales, la belleza escénica y la astronomía.
7. Biodiversidad, incluye el servicio cultural-espiritual, de soporte y de regulación.

2.2 Estimación de la dinámica del paisaje natural basada en los Índices de diferencia normalizada de vegetación (NDVI) y humedad (NDWI).

Los elementos de vegetación y humedad aportan diferentes servicios ecosistémicos, como por ejemplo la regulación del clima (Corredor et al., 2006), protección del suelo (Viglizzo et al., 2011) o la producción primaria, la cual, si bien se constituye como servicios de soporte, también es a la vez una de las principales fuentes generadoras de otros (Briones et al., 2018; Viglizzo et al., 2011) por lo que conocer la dinámica espacial de estos elementos se vuelve relevante para la conservación de los SE tanto para identificar áreas con presencia de estos elementos como para identificar las áreas en que han disminuido.

Para conocer el emplazamiento de estos elementos naturales y su dinámica temporo-espacial se pueden operar herramientas de teledetección, específicamente Análisis de Índices de Diferencias Normalizada de Vegetación y Humedad del Suelo mediante imágenes multiespectrales que son registradas mediante imágenes satelitales (Muñoz, 2016).

El índice de vegetación más reconocido es el de diferencia normalizada de las coberturas vegetales o NDVI, que muestra la cantidad y calidad de la vegetación calculada en base a la ecuación 1, y que arroja valores que van del -1 al 1, los valores negativos significan ausencia de vegetación y el 0,15 se define como el umbral que marca presencia de vegetación escasa o enferma (con poca reflectividad). A medida que los valores positivos aumentan significa mayor cantidad de vegetación sana (Cartaya et al., 2014).

$$(1) NDVI = \frac{B_{IRC} - B_R}{B_{IRC} + B_R}$$

En donde B_{IRC} corresponde a la banda infrarrojo cercano y B_R a la banda roja.

Cabe mencionar que existen diversos índices para estimar la cobertura vegetal que pueden ser más precisos para distintos ambientes, como zonas con vegetación dispersa con poca capacidad de reflectancia. Además, es reconocido que el índice NDVI presenta limitaciones

en discriminar la influencia del suelo y de la atmósfera (Lozano, 2016) y que está estrechamente relacionado a las precipitaciones (Iglesias et al., 2010). No obstante, se caracteriza por su sencillez y eficacia, siendo ampliamente utilizado en zonas semiáridas arrojando óptimos resultados en cuanto a identificación de cobertura vegetal (Cartaya et al., 2014; Lozano, 2016; Pettorelli et al., 2011; Rodríguez-Moreno & Bullock, 2013; Salinas-Zavala et al., 2017).

El cálculo del índice de diferencia normalizada de agua contenida en el suelo o NDWI se obtiene mediante la ecuación 2. De forma similar al NDVI, muestra la cantidad de humedad en el suelo y vegetación acorde a su reflectividad espectral en imágenes satelitales, arrojando valores que van del -1 al 1, siendo en este caso 0 el umbral que marca la presencia de humedad y expresando un aumento de cantidad proporcionalmente aumenta su valor (Muñoz, 2016).

$$(2) NDWI = \frac{B_V - B_{IRC}}{B_V + B_{IRC}}$$

En donde B_V corresponde a la banda verde y B_{IRC} a la banda infrarrojo cercano.

2.3 Identificación de zonas prioritarias de servicios ecosistémicos con Marxan

Identificar zonas prioritarias para la conservación de servicios ecosistémicos contribuye al desarrollo integral de las sociedades que se benefician de ellos. Existen múltiples maneras y herramientas para generar una priorización espacial (Chávez González et al., 2018; Zárate et al., 2016), una de ellas es mediante el software Marxan (Hernández, 2014; Villarreal-Rosas et al., 2020; Vollmer et al., 2015), creado para la priorización de sitios a conservar en el diseño de reservas marinas, pero que se puede aplicar perfectamente sobre espacios terrestres (Ball et al., 2009).

Su objetivo es priorizar áreas para el diseño de reservas naturales, no obstante, se puede aplicar para conservación de servicios ecosistémicos, o para seleccionar sitios según los objetivos de cada persona que ejecute el programa (Hernández, 2014). Consiste en generar una selección de áreas a partir de un gran número de sitios potenciales a conservar, basada en la complementariedad y baja fragmentación, en otras palabras, si sobre un área existen múltiples entidades de interés para conservar, seleccionará una combinación de porciones de ellas, generando un resultado final que sea una muestra representativa de lo que se busca priorizar con la menor fragmentación posible, de manera que se reduzcan los costos al implementar estrategias de conservación. Este programa se puede ejecutar como un complemento en QGIS, con la extensión llamada CLUZ (Zonificación del uso de la Tierra para la conservación), ayudando a trabajar los datos de manera gráfica obteniendo los resultados espacializados dentro de un sistema de información geográfico (Game & Grantham, 2008).

Para seleccionar las áreas prioritarias se precisa que la(s) persona(s) que ejecute el programa defina los siguientes criterios en base a sus objetivos (Game & Grantham, 2008): el primero corresponde a determinar los objetos de conservación, esto se refiere a las entidades que se buscan conservar, por ejemplo, zonas de avistamiento de aves, cuerpos de agua, o en este caso, sitios donde se encuentran SE reconocidos por las personas y componentes del medio natural que posibilitan la generación de ellos. Estos objetos deben contar con metas, es decir, la cantidad mínima que debe ser representada en la selección final. Opcionalmente se le puede asignar una penalidad en caso de no cumplir tal meta, esto funciona para prestar mayor atención a sitios que son indispensables para la muestra final. El segundo criterio corresponde a los costos, los cuales pueden ser monetarios, sociales o ambientales. Si no se incluye ninguno se asignará como costo el área a conservar, bajo la lógica de que una mayor área implicará mayores costos para aplicar estrategias de conservación.

Otro criterio que definir es la longitud de frontera o BLM. Este, corresponde a un número que opera para minimizar el perímetro total de los sitios seleccionados, es decir, genera áreas más compactas. Por último, se deberá definir la cantidad de corridas o repeticiones en la ejecución que realizará Marxan, que corresponde a la cantidad de soluciones generadas. Estas soluciones son la base de la selección final, es decir, los sitios que se repiten en una mayor cantidad de soluciones son los que cumplen de mejor manera las metas estipuladas, por lo que se constituirán como sitios prioritarios (Game & Grantham, 2008).

Marxan se utiliza para resolver distintos problemas de priorización espacial, más allá del diseño de reservas, debido a su flexibilidad y sencillez, multifuncionalidad para la toma de decisiones, y su capacidad de interactuar con distintos sistemas de información geográfica (Ball et al., 2009; Possingham et al., 2006). Por lo tanto, este software se constituye como un método original, sistemático y replicable, con la finalidad de resaltar las áreas importantes a preservar y con esto determinar espacios prioritarios para proteger.

En cuanto a los estudios sobre priorización de SE mediante Marxan, Chan, et al (2006), realizaron uso de este software, ocupando el marco de la planificación de la conservación para explorar las compensaciones y oportunidades existentes, en cuanto alinear objetivos de conservación de la biodiversidad con seis SE (reservas de C, control de inundaciones, producción de forraje, recreación al aire libre, polinización de cultivos y suministro de agua), en la costa central de California, Estados Unidos. Los resultados revelaron asociaciones positivas y negativas entre las áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad y los flujos de los seis SE cuando fueron combinados. Vollmer et al. (2015), utilizaron Marxan para priorizar servicios ecosistémicos ante los riesgos provocados por la creciente urbanización en la zona metropolitana de Yakarta, Indonesia, los autores encontraron posibles sinergias entre, por ejemplo, la conservación de la biodiversidad y el control de la erosión, que normalmente son considerados y planificados por grupos de partes interesadas independientes. Flores (2017), ocupó este software para la identificación de áreas prioritarias de restauración ecológica de manglares basados en el abastecimiento de servicios

ecosistémicos (SE) en el Parque Nacional Blanca Jeannette Kawas Fernández (PNJK), Honduras. Hizo una combinación del suministro potencial de las reservas de C, provisión de alimento y protección costera, seleccionando las áreas de restauración compatibles con el objetivo de maximizar la provisión de los SE. La selección de las áreas para restaurar manglares con base al potencial de las reservas de C garantizó en su mayoría la restauración de los otros SE investigados.

CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO

Este estudio fue de tipo exploratorio-descriptivo, basado en una metodología mixta que incluye técnicas cuantitativas y cualitativas, ya que, si bien, existen estudios que han utilizado Marxan para la priorización espacial de servicios ecosistémicos, ninguno ha abordado este tema desde una valoración social integrando elementos del paisaje natural. Para llevar a cabo la selección de sitios prioritarios, se ideó una forma de sistematizar la valoración social de servicios ecosistémicos realizada por la ONG CODECIAM. Además, se complementó con la espacialización de la variación de indicadores del medio físico natural, que se constituyen como fuentes generadoras de servicio ecosistémicos.

En el siguiente esquema se detallan las etapas que se desarrollaron (Figura 4).

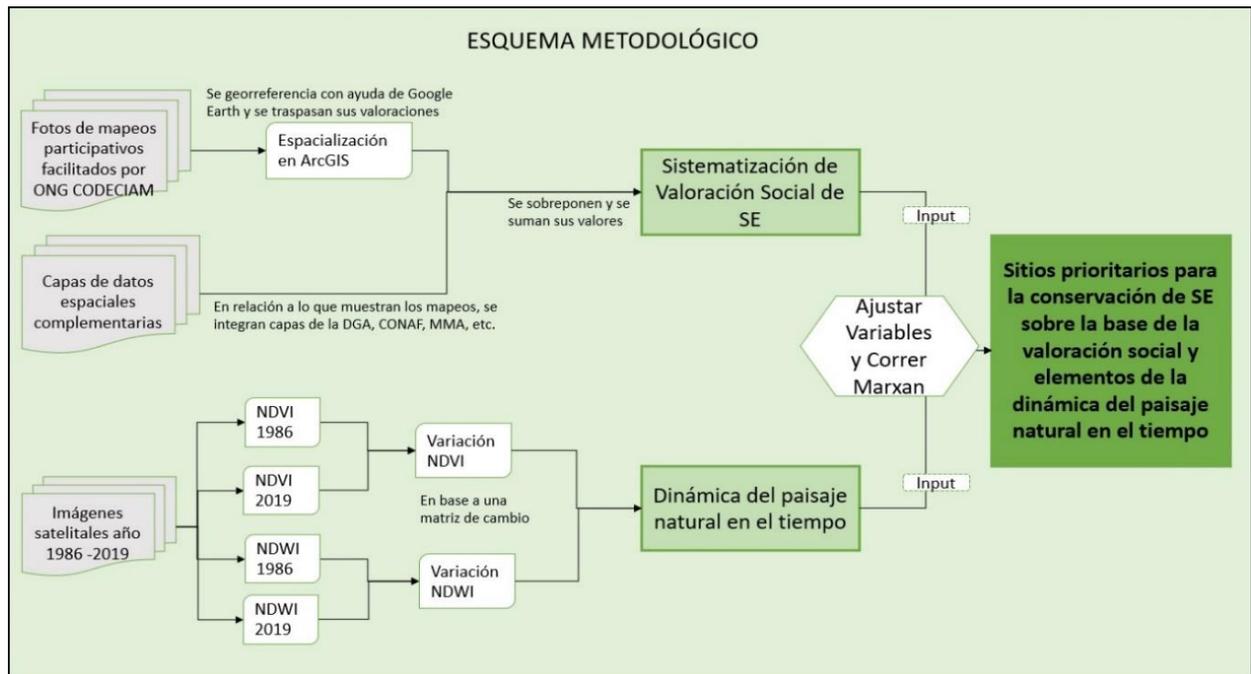


Figura 4 Esquema metodológico. Fuente: elaboración propia (2021).

3.1 Sistematización de la valoración social de servicios ecosistémicos

La espacialización de la valoración social de SE consistió en sistematizar en ArcGIS 10.3 un total de 28 cartografías participativas, obtenidas por la ONG CODECIAM mediante la realización de cuatro talleres en distintas localidades, en donde las y los asistentes trabajaron en mapas de siete SE distintos, marcando en ellos, los sitios donde reconocen y/o hacen uso

de estos SE, utilizando la siguiente escala de valoración: muy bajo, bajo medio, alto, muy alto.

Espacialización de las cartografías participativas en ArcGIS:

Para espacializar la información en ArcGIS, se procedió a analizar los mapas generados en los talleres con sus respectivas actas. Sobre la base de este análisis se elaboraron siete cartografías con capas de puntos y polígonos por cada uno de los SE valorados (ver Tabla 1), registrando en sus tablas de atributos el valor de reconocimiento y/o uso de SE otorgado en el taller, con números que van del 1 al 5; siendo 1 muy bajo reconocimiento y/o uso, y 5 muy alto reconocimiento y/o uso. Si lo marcado en el mapeo ya contaba con una georreferenciación en alguna página web de información territorial, se integraron dichas capas, para tener mayor precisión en cuanto a su delimitación. Por ejemplo, si marcaron lagunas, en vez de generar tales polígonos, se agregaron las lagunas pertenecientes al shape de uso de suelo y vegetación de la Región de Coquimbo, 2014, de la Corporación Nacional Forestal (CONAF), disponible en la página web del Instituto de Datos Espaciales (IDE).

Capas elaboradas	Capas obtenidas de internet
SE de Agua	
<ul style="list-style-type: none"> -Cumbres de alta montaña, puntos que representan las cotas superiores a 2500 m.s.n.m., obtenidas de las curvas de nivel de la comuna de Paihuano. -Majada, fuentes y nacientes, puntos georreferenciados, a partir de lo mapeado en el taller. -Ladera oeste, polígono georreferenciado en Google Earth, a partir de lo mapeado en el taller. 	<ul style="list-style-type: none"> -Cursos de agua, línea obtenidos de la red hidrográfica de la sección de mapas vectoriales de la Biblioteca del Congreso Nacional (BCN). -Glaciares, polígonos obtenidos del inventario de glaciar oficial de la mapoteca virtual de la Dirección General de Agua (DGA) -Vegas y humedales, polígonos obtenidos del catastro de uso de suelo y vegetación de la Región de Coquimbo, 2014, de la CONAF, de la página de Infraestructura de Datos Geoespaciales Chile (IDE) -Lagunas, del catastro de uso de suelo y vegetación de la Región de Coquimbo, 2014, de la CONAF, obtenidos de IDE.
SE de Agricultura	

-Puntos de localización de cultivos, georreferenciados en Google Earth, a partir de lo mapeado en el taller.	
SE de Ganadería	
-Puntos de localización de ganado, georreferenciado en Google Earth, a partir de lo mapeado en el taller.	-Santuario de la Naturaleza Estero Derecho, polígono obtenido del registro nacional de áreas protegidas del Ministerio del Medio Ambiente.
SE de Recolección de hierbas y frutos	
-Valle del río Cochiguaz, polígono georreferenciado en Google Earth, a partir de lo mapeado en el taller. -Laderas del río Claro, polígonos georreferenciados en Google Earth, a partir de lo mapeado en el taller. -Puntos de localización de hierbas y frutos, georreferenciado en Google Earth, a partir de lo mapeado en el taller.	-Cordillera, polígono extraído del shape de unidades geomorfológicas de la red CEDEUS. -Santuario de la Naturaleza Estero Derecho, polígono obtenido del registro nacional de áreas protegidas del Ministerio del Medio Ambiente. -Áreas con presencia de yareta, polígonos del catastro de uso de suelo y vegetación de la Región de Coquimbo, 2014, de la CONAF, obtenidos de IDE
SE de Recolección de materiales de construcción y artesanías	
-Puntos de localización de materiales diversos, georreferenciado en Google Earth, a partir de lo mapeado en el taller.	-Cursos de agua, líneas obtenidas de la red hidrográfica de la sección de mapas vectoriales de BCN, a la cual se le agregó un área de influencia, obteniendo un polígono para representar el borde de río.
SE de Turismo	
-Puntos de localización de zonas turísticas georreferenciadas en Google Earth, a partir de lo mapeado en el taller. -Quebrada el Pangué, polígono georreferenciado en Google Earth, a partir de lo mapeado en el taller. -Quebrada Paihuano, polígono georreferenciado en Google Earth, a partir de lo mapeado en el taller.	-Lagunas, polígonos obtenidos del catastro de uso de suelo y vegetación de la Región de Coquimbo, 2014, de la CONAF, del IDE. -Cursos de agua, líneas obtenidas de la red hidrográfica de la sección de mapas vectoriales de BCN, a la cual se le agregó un área de influencia generando un polígono, para representar el borde de río.

<p>-Valle del río Cochiguaz, polígono georreferenciado en Google Earth, a partir de lo mapeado en el taller.</p>	<p>-Santuario de la Naturaleza Estero Derecho, obtenido del registro nacional de áreas protegidas del Ministerio del Medio Ambiente.</p> <p>-Comuna de Paihuano, polígono obtenido de la división comunal de la sección de mapas vectoriales de BCN.</p>
<p>SE de Biodiversidad</p>	
<p>-Puntos de localización de zonas con biodiversidad, georreferenciadas en Google Earth, a partir de lo mapeado en el taller.</p> <p>-Quebrada Pisco Elqui, polígono georreferenciado en Google Earth, a partir de lo mapeado en el taller.</p> <p>-Valle del río Claro, polígono georreferenciado en Google Earth, a partir de lo mapeado en el taller.</p> <p>-Cumbres de alta montaña, puntos que representan las cotas superiores a 2500 m.s.n.m., obtenidas de las curvas de nivel de la comuna de Paihuano.</p>	<p>-Santuario de la Naturaleza Estero Derecho, polígono obtenido del registro nacional de áreas protegidas del Ministerio del Medio Ambiente.</p> <p>-Comuna de Paihuano, polígono obtenido de la división comunal de la sección de mapas vectoriales de BCN.</p>

Tabla 1 Detalle de capas elaboradas y obtenidas de páginas web de datos georreferenciados.

Fuente: elaboración propia (2021).

Sistematización de las cartografías en ArcGIS:

Estas siete cartografías conformadas por múltiples capas de puntos y polígonos, con sus respectivos valores, precisaron de una sistematización para poder visualizar los sitios que cuentan con alto valor de reconocimiento y/o uso por cada SE. Para esto, se superpusieron las capas de puntos y polígonos de cada SE sobre una grilla hexagonal de 1km² de área, en concordancia con la escala utilizada en los talleres, sumando los valores superpuestos sobre cada celda. Cabe destacar que se ocupa una grilla con forma hexagonal, ya que permite representar mejor las curvas de los datos espacializados (Birch et al., 2007). Luego, los valores obtenidos se agruparon en 5 intervalos para visualizar lo mapeado con la misma jerarquización utilizada en los talleres.

Finalmente, se superpuso la información de las siete cartografías, sumando sus respectivos valores sobre la misma grilla de 1km² de área, obteniendo valores que van de 18 a 162, los cuales se volvieron a agrupar en 5 intervalos (ver tabla 2) logrando obtener una zonificación final basada en la valoración de las y los habitantes del lugar.

Dato registrado en la tabla de atributos	Valor de reconocimiento y/o uso
>133 - 162	Muy alto
>104 – 133	Alto
>75 – 104	Medio
>46 – 75	Bajo
18 - 46	Muy bajo

Tabla 2: Clasificación de valores con base en los mapeos participativos.
Fuente: Elaboración propia (2021).

3.2 Identificación de los cambios temporo-espaciales de la cobertura vegetal y humedad del suelo como indicadores de la dinámica del paisaje natural

Con el objetivo de identificar la variación espacial de la cobertura vegetal y de humedad del suelo en el tiempo, se realizó un análisis de percepción remota mediante imágenes satelitales multiespectrales, calculando los índices NDVI y NDWI en la subcuenca Río Claro para los últimos 30 años, para obtener su dinámica en cuanto a disminución, mantenimiento y aumento.

Obtención de imágenes multiespectrales:

En primer lugar, se descargaron dos imágenes satelitales multiespectrales derivadas del satélite Landsat, y obtenidas del sitio web USGS, para el momento inicial y final del periodo: 14 de diciembre de 1986 del Landsat 5 y 25 de diciembre de 2019 del Landsat 8. La elección de estas fechas es para poder disponer de la imagen más antigua y más reciente proporcionadas por satélites Landsat, que cuentan con una resolución espacial de 30 metros (Muñoz, 2016), además de no presentar nubosidad, y ser tomada en verano para desprestigiar la influencia pluviométrica (Iglesias et al., 2010).

Cálculo de índices de diferencia normalizada de vegetación y humedad:

Posteriormente, se realizaron los cálculos de los índices espectrales NDVI y NDWI sobre las imágenes satelitales mediante el software ArcGIS 10.3, y los valores arrojados se reclasificaron según presencia o ausencia de humedad y vegetación, como se muestra en las tablas 3 y 4. Los umbrales para definir la presencia del elemento en ambos índices se basó en diferentes estudios que utilizaron NDVI (Cartaya et al., 2014; Iglesias et al., 2010; Lozano, 2016; Olivares & Treimun, 2014) y NDWI (Muñoz, 2016; Olivares & Treimun, 2014). Respecto al primero, cabe destacar que existen más umbrales que pueden definir distintos tipos y calidad de vegetación, no obstante, aquí se busca reconocer únicamente los sitios donde hay presencia de ella, considerando que una zona semiárida arrojará valores bajos por su poca reflectancia (Lozano, 2016). Luego, se reclasificaron estos valores en ambos años para poder generar una matriz de cambio.

Debido al interés solo en las coberturas naturales del suelo, se excluyeron las zonas con uso de suelo agrícola, plantación forestal y asentamiento humano, a partir de la información proporcionada por el Catastro de Uso de Suelo de CONAF (2014) para identificar el estado de las zonas con menor intervención antrópica.

Valores NDVI	Descripción	Clase 1986	Clase 2019
-1 - 0,15	Ausencia de vegetación	0	0
>0,15 - 1	Presencia de vegetación	10	1

Tabla 3: Reclasificación Índice NDVI

Fuente: basado en clasificación propuesta por Cartaya et al. (2014)

Valores NDWI	Descripción	Clase 1986	Clase 2019
-1 - 0	Ausencia de humedad	0	0
>0 - 1	Presencia de humedad	10	1

Tabla 4 Reclasificación Índice NDWI

Fuente: Muñoz (2017).

Variación de la cubierta vegetal y de humedad del suelo en el tiempo:

La comparación de las zonificaciones obtenidas por ambos años, según cada índice, permitió generar matrices de cambio que expresan pérdida, mantenimiento o aumento de la productividad vegetal y presencia de humedad en el suelo (ver tabla 5 y 6).

Año 1986 / 2019	0 (ausencia)	1 (presencia)
0 (ausencia)	0 (no registra presencia)	1 (aumento)
1 (presencia)	10 (pérdida)	11 (mantenimiento)

Tabla 5: Matriz de cambio según NDVI para los años 1986 y 2019
Fuente: Elaboración propia (2021).

Año 1986 / 2019	0 (ausencia)	1 (presencia)
0 (ausencia)	0 (no registra presencia)	1 (aumento)
1 (presencia)	10 (pérdida)	11 (mantenimiento)

Tabla 6: Matriz de cambio según NDWI para los años 1986 y 2019
Fuente: Elaboración propia (2021).

Posteriormente, se procedió a reclasificar los códigos generados con anterioridad (ver tabla 7) de la siguiente manera:

Dato matriz	Significado	Código NDVI	Código NDWI
0	No registra presencia	10	1
1	Aumento	20	2
10	Pérdida	30	3
11	Mantenimiento	40	4

Tabla 7: Reclasificación de códigos con base a la variación del NDVI Y NDWI
Fuente: Elaboración propia (2021).

Dinámica del paisaje natural basada en los indicadores de vegetación y humedad en el tiempo:

Respecto a los mapas de variación de cobertura vegetal y de humedad del suelo, estos se superpusieron para generar otra matriz de cambio (ver tabla 8). La primera fila y columna expresa la variación del índice de vegetación y humedad respectivamente, en términos de mantenimiento, pérdida, aumento y que no registra presencia (ver tabla 7). Los valores obtenidos dentro de la matriz expresan distintas clasificaciones basadas en la variación de ambos índices: presencia (ver tabla 9)

NDVI/NDWI	1	2	3	4
10	11	12	13	14
20	21	22	23	24
30	31	32	33	34
40	41	42	43	44

Tabla 8: Matriz de superposición NDVI + NDWI
Fuente: Elaboración propia (2021).

Datos	Significado
14,24,34,41,42,43,44	Presencia estable de NDVI y/o NDWI
13,23,31,32,33	Presencia en la imagen antigua de NDVI y/o NDWI
12,22,21	Presencia en la imagen reciente de NDVI y/o NDWI
11	Nunca se registró presencia de ningún elemento

Tabla 9: Clasificación de las combinaciones obtenidas de la superposición de NDVI y NDWI.
Fuente: Elaboración propia (2021).

3.3 Priorización espacial basada en la valoración social y dinámica del paisaje natural

La determinación de zonas prioritarias para la conservación de servicios ecosistémicos se obtuvo, incorporando los resultados de la sistematización de la valoración social, complementándola con la dinámica de cobertura vegetal y de humedad del suelo en el tiempo, mediante el software Marxan, específicamente a través de su extensión CLUZ disponible para QGIS.

Para determinar los sitios prioritarios, en primer lugar, se generó una red hexagonal sobre el área de estudio debido a que esta forma se adapta mejor a la curva de datos espacializados (Birch et al., 2007), y en ella, se superpusieron los objetos que se buscan conservar. Para este trabajo se construyó una red de hexágonos de 1km² de área, en concordancia a la escala

utilizada en las cartografías participativas. Los objetos por conservar correspondieron a las clasificaciones de valoración social y de la dinámica temporo-espacial del paisaje natural.

La meta de los objetos a conservar (ver tabla 10), es decir, la cantidad mínima de superficie de cada objeto que se espera que sea representada en la priorización final, fue definida de manera arbitraria, estableciendo porcentajes basados en la jerarquización establecida en la valoración social de reconocimiento y/o uso de servicios ecosistémicos. Cabe precisar, que en este criterio, se consideraron los sitios donde hay pérdidas de los indicadores de la dinámica del paisaje natural, ya que se localizan principalmente en la alta montaña, sector del que dependen las reservas hídricas que alimentan las subcuencas (Pino, 2018), situación que preocupa a la población local (La Region de Coquimbo, 2021).

Característica	Área total (km ²)	Porcentaje por conservar	Área por conservar(km ²)
Muy alto uso y/o reconocimiento de SE	59,76	50%	28,88
Alto uso y/o reconocimiento de SE	205,05	40%	82,02
Medio uso y/o reconocimiento de SE	355,26	30%	106,59
Bajo uso y/o reconocimiento de SE	553,84	20%	110,77
Muy bajo uso y/o reconocimiento de SE	326,00	10%	32,6
Mantenimiento de NDVI y/o NDWI	26,266	50%	13,13
Aumento de NDVI y/o NDWI	7,439	30%	2,23
Perdida de NDVI y/o NDWI	153,707	10%	15,37

Tabla 10: Objetos por conservar con sus metas de conservación en porcentaje y superficie.

Fuente: Elaboración propia (2021).

Otro parámetro que se definió fue el modificador de longitud de frontera (BLM); un número que opera para generar áreas más compactas. De este número dependerá de cada geometría y escala particular, por lo que se debe hacer una prueba para seleccionar el más adecuado. Stewart y Possingham (2005), citado en el Manual del Usuario de Marxan (Game & Grantham, (2008), proponen un método factible para determinarlo, que consiste en realizar alrededor de 10 ejecuciones de prueba, dejando los demás parámetros constantes (objetivo, penalización y costos) e ir variando únicamente el BLM , registrando el total de perímetros y áreas resultantes en cada ejecución. Luego, se genera un gráfico de perímetro y área, para

determinar el punto crítico, que corresponde al punto en que el aumento del área se considera alto conforme a la disminución del perímetro - desde la lógica que, un área muy elevada significaría sitios muy extensos lo que aumentarían los costos de conservación-. Para este caso se realizó el siguiente gráfico (ver Figura 5) y se determinó como punto crítico: $BLM = 0,001$ ya que desde este punto hacia el siguiente (de $BLM = 0,01$) se observa que en el eje X el área aumenta mucho, conforme disminuye el perímetro en el eje Y.

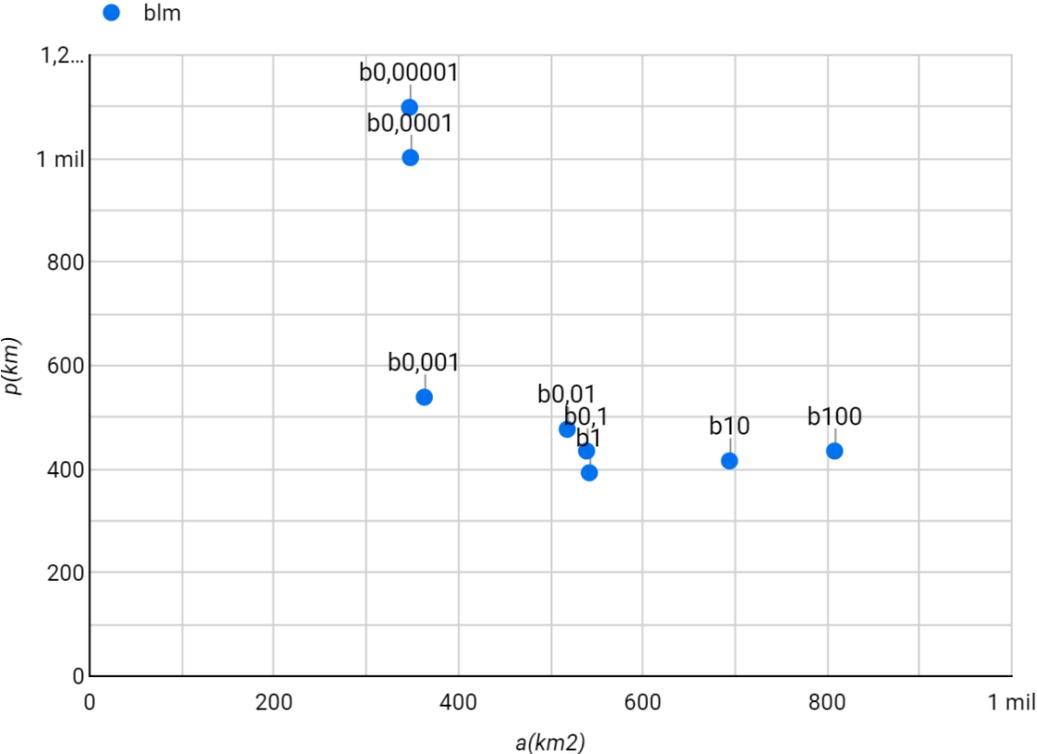


Figura 5: Gráfico de área/perímetro para definir el modificador de longitud de frontera (BLM).
Fuente: Elaboración propia (2021).

Finalmente, para obtener el modelado espacial definitivo se seleccionó el número de repeticiones, que fue de 1000 corridas, basado en lo que se aconseja en el Manual del Usuario de Marxan (2010). De esto se obtuvo un mapa de selección final correspondiente a los sitios prioritarios a conservar, basado en las soluciones generadas en cada corrida y el BLM.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS

En el presente capítulo se exponen los resultados del estudio con el propósito de dar cuenta del logro de los objetivos planteados. Estos muestran, en primer lugar, la espacialización de los servicios ecosistémicos desde una sistematización de la valoración social, basada en cartografías participativas obtenidas en estudios previos. En segundo lugar, se expone la dinámica del paisaje natural basada en los indicadores de la cobertura vegetal y humedad del suelo. En tercer lugar, se expone la priorización espacial para la conservación de los servicios ecosistémicos (SE), a partir de la integración de los resultados expuestos anteriormente.

4.1 Espacialización de la valoración social

La espacialización de la valoración social se obtuvo a partir de la sistematización de veintiocho cartografías participativas con sus respectivas actas, obtenidas de cuatro talleres realizados en distintas localidades de la subcuenca: Paihuano, Pisco Elqui, Cochiguaz, Horcón. En estos mapeos, las y los participantes de la comunidad, marcaron sitios donde reconocen y/o hacen uso de siete servicios ecosistémicos: Agua, Agricultura, Ganadería, recolección de Hierbas y Frutos, Recolección de Materiales de Construcción, Turismo y Biodiversidad, los cuales se relacionan en distintas medidas, con la clasificación de abastecimiento, cultural y paisajístico, regulación, y soporte (MEA, 2005).

En primer lugar, se precisa ahondar en el análisis de las cartografías participativas para poder tener una mejor comprensión de los resultados obtenidos de la sistematización. En ellas, se señalaron los sitios según el valor de reconocimiento y/o uso, el cual fue reflejado por los colores: azul = muy bajo; celeste = bajo; verde = medio; amarillo = alto, rojo = muy alto, reconocimiento y/o uso. Las fichas que ocuparon para señalar los sitios abarcan un área de 1km² aproximadamente, las zonas de mayor tamaño fueron marcadas con lápices o escribían lo que querían plasmar.

A continuación, se presentan dos ejemplos de cartografías participativas elaboradas en distintos talleres:

En la Figura 6 se observa una imagen de una cartografía participativa realizada en el taller de Horcón sobre el servicio ecosistémico de Agua, en ella las y los participantes de la actividad señalaron sitios principalmente con color rojo, que significan un muy alto valor de reconocimiento y/o uso del servicio ecosistémico de agua, algunas zonas como bofedales o glaciares rocosos los marcaron como polígonos más grandes debido a que comprenden una mayor extensión. En este caso, al existir una delimitación oficial de glaciares en la página de la DGA, y otra de humedales elaborada por la CONAF, disponible en la página del IDE, se ocuparon dichas delimitaciones para tener resultados más precisos. En cuanto a las fichas

azules sobre la ladera oeste del valle del río Claro, significa que reconocen poco del servicio, lo que se reafirma al ser escrita la palabra “aridez”.



Figura 6: Fotografía de la cartografía participativa del SE de Agua registrada en el taller realizado en Horcón. Fuente: ONG CODECIAM (2019).

La imagen expuesta (Figura 7), correspondiente al mapeo del servicio ecosistémico de Recolección de materiales de Construcción y Artesanías, muestra que las personas marcaron principalmente las áreas ribereñas. La mayoría de los sectores fueron valorados con un muy alto reconocimiento y/o uso del servicio, es decir que allí encontraban una gran cantidad de materiales como: breca, greda y piedras, según lo señalado en la cartografía. Los sectores donde encuentran cuarzo les asignaron un alto valor, y donde encuentran arenisca un valor medio, estableciendo que se abastecen del servicio ecosistémico en menor medida.



Figura 7: Fotografía de la cartografía participativa del SE de Recolección de materiales registrada en el taller realizado en Cochiguaz. Fuente: ONG CODECIAM (2019).

Presentados los ejemplos, se procede a exponer la sistematización de cada servicio ecosistémico en particular, para finalmente, exponer una sistematización final que agrupa todas las valoraciones particulares.

De la sistematización realizada respecto de la valoración de reconocimiento y/o uso del Servicio Ecosistémico de Agua (Figura 8) sobre la base de mapeos participativos realizados en las cuatro localidades ya mencionadas, se obtiene que, se les asigna un muy alto valor a las nacientes de ríos y cumbres altas, seguido de los glaciares rocosos, humedales y luego todos los cursos de agua de la subcuenca, esto debido a que, según lo expresado en el taller realizado en Paihuano “ahora que hay menos agua nos salvamos por el glaciar de roca”.

Con relación a la ladera oeste del valle del río Claro, se le otorga un valor muy bajo, debido a que, según lo expresado en el taller realizado en Horcón, esa ladera es cada vez más árida. No obstante, los sitios que se destacan sobre esa misma ladera corresponden a pequeñas vertientes a donde recurren los animales, según lo expuesto en el taller de Pisco Elqui.

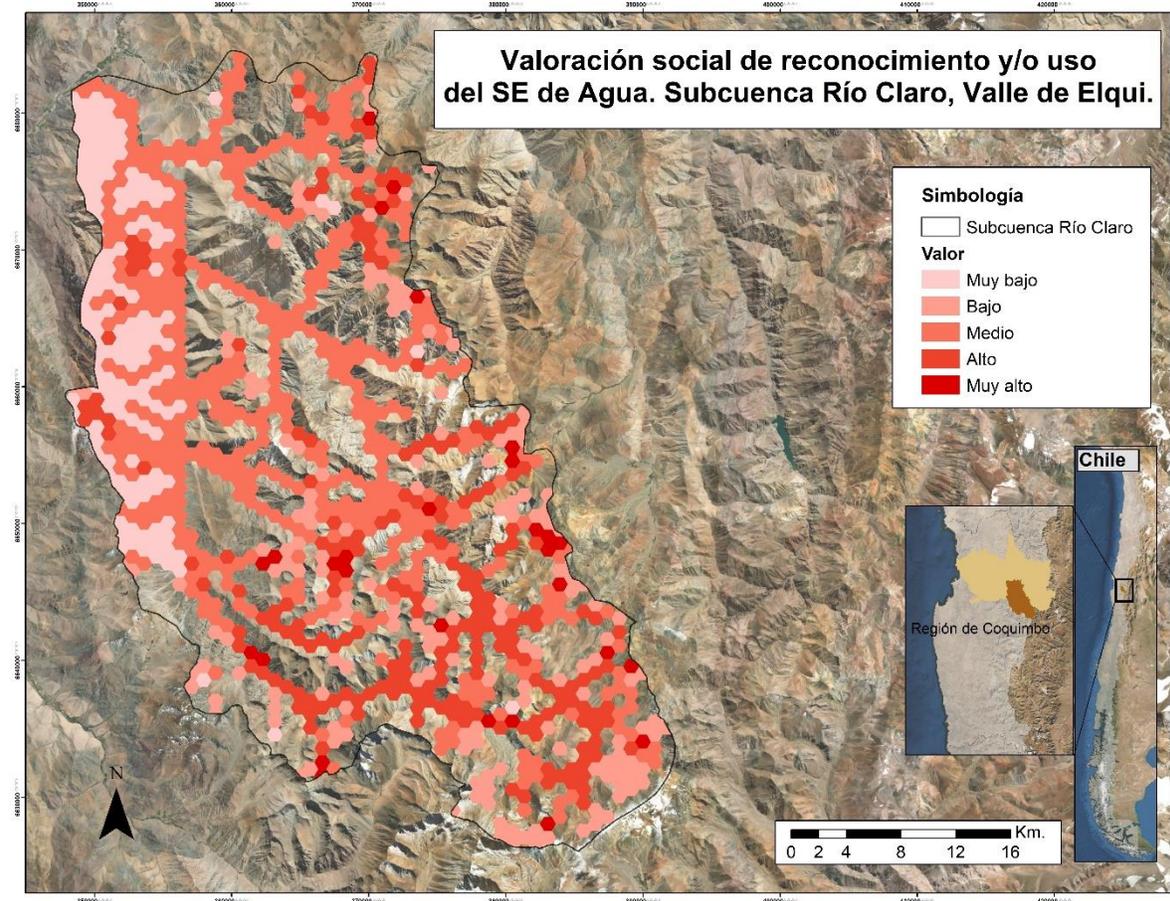


Figura 8: Zonificación de la valoración social de reconocimiento y/o uso del SE de Agua. Subcuenca Río Claro, Valle de Elqui. Fuente: Elaboración propia (2021).

Para el Servicio Ecosistémico de Agricultura (Figura 9), se obtiene con mayor valor de reconocimiento y/o uso, sitios que, se emplazan en el fondo de valle del río Claro, seguido de la quebrada Paihuano, valle del río Cochiguaz y hacia el sector de Estero Derecho. En estos dos últimos sectores destaca el cultivo de porotos por parte de los comuneros de ese sector. El emplazamiento de estos cultivos responde netamente a las condiciones de esos terrenos, en cuanto a su pendiente, suelos y presencia de agua.

El resto de los cultivos son de propiedad de los mismos lugareños y en su mayoría corresponden a huertos familiares, los cuales están desapareciendo a causa de la agricultura extensiva, según lo manifestado en el talle de Pisco Elqui, donde ejemplificaban mediante expresiones como: “mi mama tiene su huerto para arriba y casi no tiene agua para regar”.

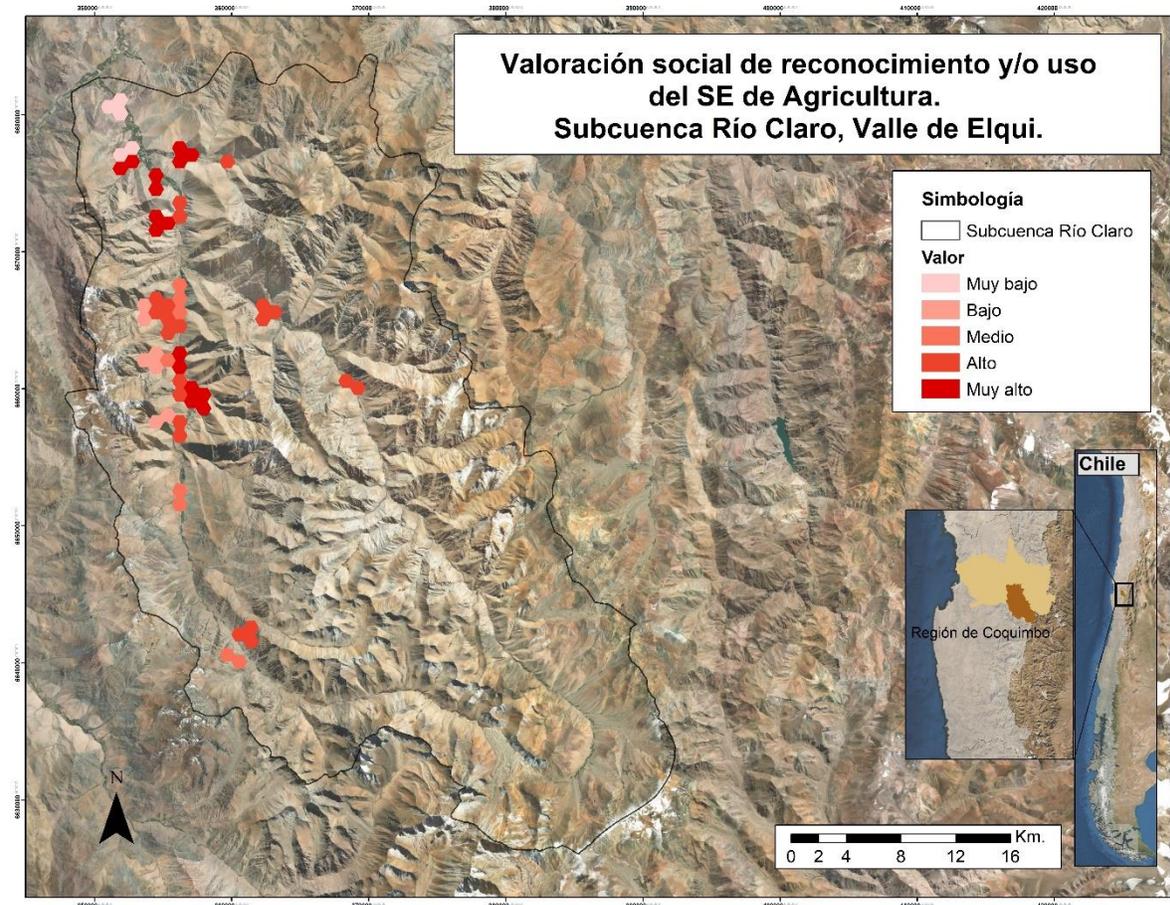


Figura 9: Zonificación de la valoración social de reconocimiento y/o uso del SE de Agricultura. Subcuenca Río Claro, Valle de Elqui. Fuente: Elaboración propia (2021).

En relación con la valoración social del SE de ganadería (Figura 10), se puede observar que las zonas con un alto y muy alto valor corresponden a Estero Derecho, ya que en todos los talleres se reconoció que a ese sitio se lleva el ganado mayor. Los otros sectores corresponden a majadas y corrales que sirven para dejar a las cabras y ovejas. Se destaca la cantidad de sitios identificados en la parte intermedia del valle del río Cochiguaz, que corresponden principalmente a sectores administrados por la comunidad Canihuante que posee animales de ganado.

En todos los talleres se manifiesta la preocupación por la disminución del agua y las consecuencias que podría traer para los animales, pero creen no dejarán de realizar esta actividad porque es parte de su identidad y la gente se seguirá adaptando como ya lo hacen mediante la trashumancia.

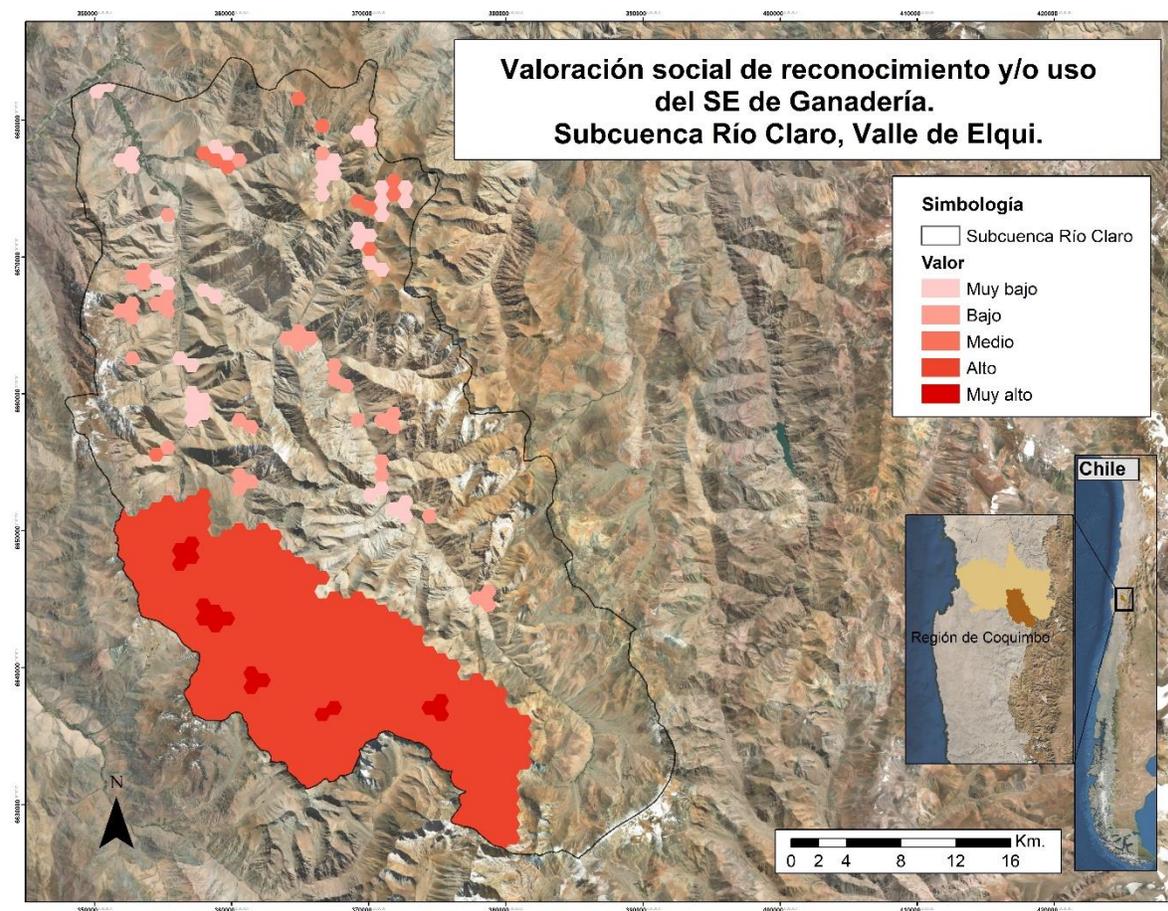


Figura 10: Zonificación de la valoración social de reconocimiento y/o uso del SE de Ganadería. Subcuenca Río Claro, Valle de Elqui. Fuente: Elaboración propia (2021).

En cuanto a la Recolección de Frutos y Hierbas (Figura 11), se obtiene que las zonas más valoradas corresponden a Estero Derecho, seguida por el valle del río Cochiguaz y luego la cordillera (que ocupa gran parte de la subcuenca, hacia el lado este), en donde se realiza la colecta de hierbas medicinales como llareta y chachacoma principalmente. Hacia el sector norte, destacan el sector de tres cruces, que es reconocido por la presencia de copaos. Las zonas de menor valor corresponden a donde hay yuyo, el cual identifican que está disminuyendo. Hacia el sector sur destaca la recolección del bailahuén.

En relación con lo mencionado, en el taller de Cochiguaz expresaban que: “antes en las laderas de Pisco había muchas plantas medicinales, pero la gente sacó tanto que ya no queda”. Aunque reconocían que en los terrenos donde viven crecían con facilidad: “tenemos la farmacia en el jardín de la casa, hay muchas hierbas medicinales y árboles como níspero y parras”. En cuanto a las hierbas medicinales, en Horcón mencionan que “Hay cabras sólo se alimentan de las hierbas medicinales de las majadas. Son cabras más sanas que las de abajo”.

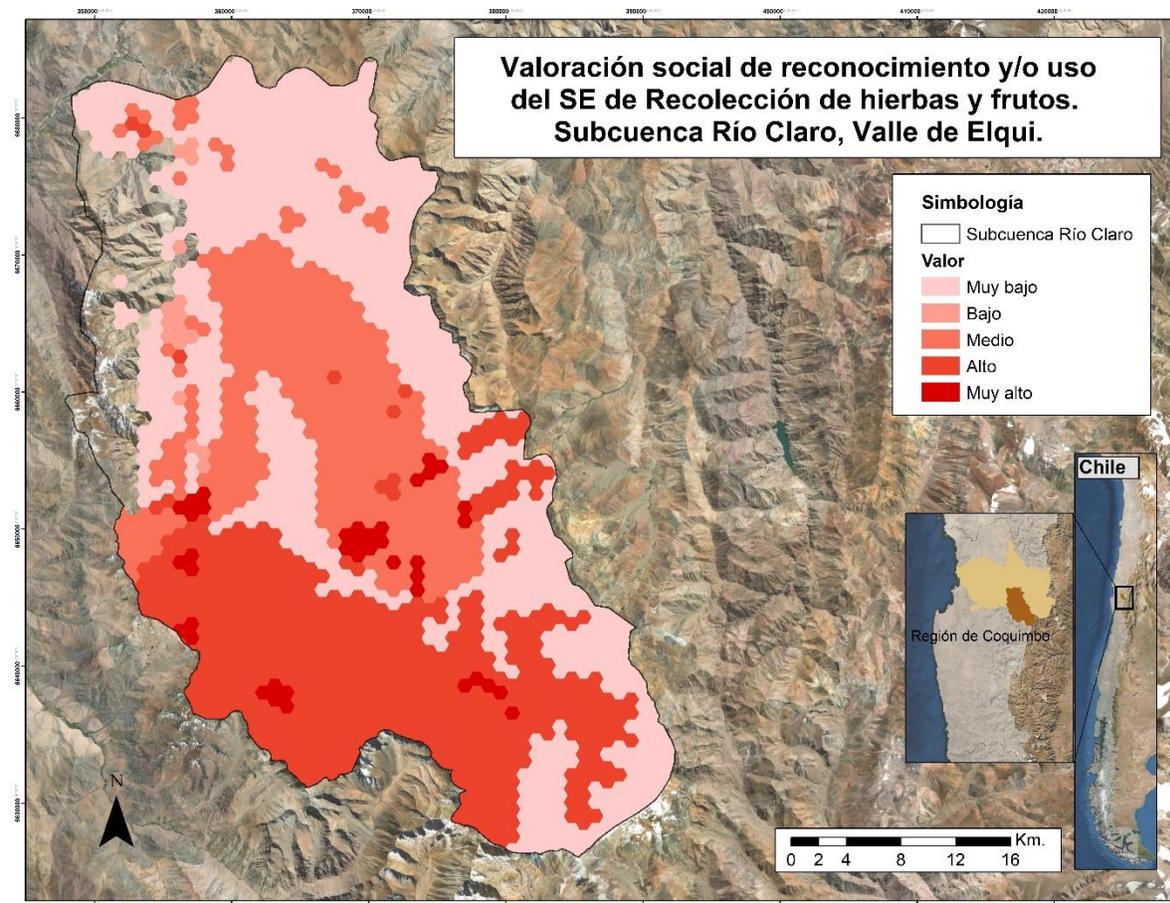


Figura 11: Zonificación de la valoración social de reconocimiento y/o uso del SE de Recolección de hierbas y frutos. Subcuenca Río Claro, Valle de Elqui. Fuente: Elaboración propia (2021).

En relación con la valoración de reconocimiento y/o uso del servicio de Recolección de Materiales de Construcción y Artesanías (Figura 12), destacan las zonas ribereñas por abastecer de brea, caña y madera. Los sitios que se extienden del río hacia las quebradas o esteros ofrecen minerales como cuarzo que es ocupado en artesanías. Específicamente, y basado a lo registrado en los talleres, se encuentran piedras en Paihuano, Pisco Elqui y Cochiguaz; cuarzo en el sector de Alcohuaz y cuarzo negro en Cochiguaz, además en horcón recolectan semillas que son utilizadas para artesanías. Hacia el sur de Pisco Elqui se encuentra mucha greda y en las laderas de Tres Cruces, al norte de Paihuano, recolectan cactus para elaborar palos de agua, mientras que de la quebrada Paihuano extraen espinos para hacerlas carbón.

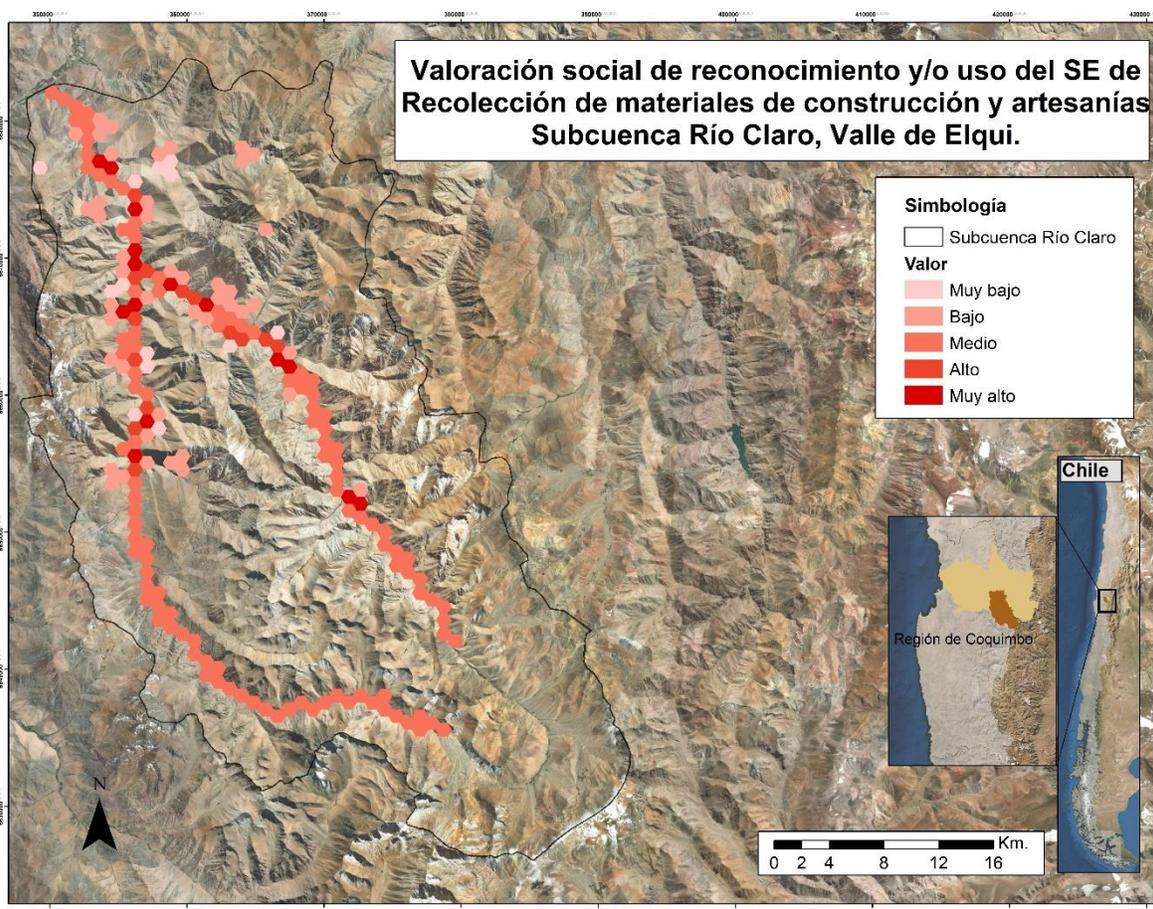


Figura 12: Zonificación de la valoración social de reconocimiento y/o uso del SE de Recolección de materiales de construcción y artesanías. Subcuenca Río Claro, Valle de Elqui. Fuente: Elaboración propia (2021).

Para el SE de Turismo (Figura 13), la subcuenca en su totalidad tiene algún valor de reconocimiento y/o uso, principalmente por sus cielos despejados y estrellados, sus ríos y humedales, destacando el valle Cochiguaz por la inexistencia de contaminación lumínica y la quebrada Paihuano por su baja intervención, que da pie al turismo rural.

En los talleres de mapeos participativos identifican observatorios en, Cochiguaz, Alcohuaz y Pisco Elqui, expresando además que “el valle del río Cochiguaz tiene turismo astronómico porque no tiene alumbrado público y el cielo se ve aún mejor, además también tiene turismo espiritual, hay un centro magnético.”

Hacia Alcohuaz y tres cruces, se reconocen sitios de importancia arqueológica y paleontológica. Luego destacan los ríos Claro y Cochiguaz, y la quebrada Paiguano, ya que se señala que son importante para los turistas. También, se refieren a la laguna el Cepo, ubicada en el sur del valle Cochiguaz, pero indican que se está destruyendo porque va mucha gente que no la cuida.

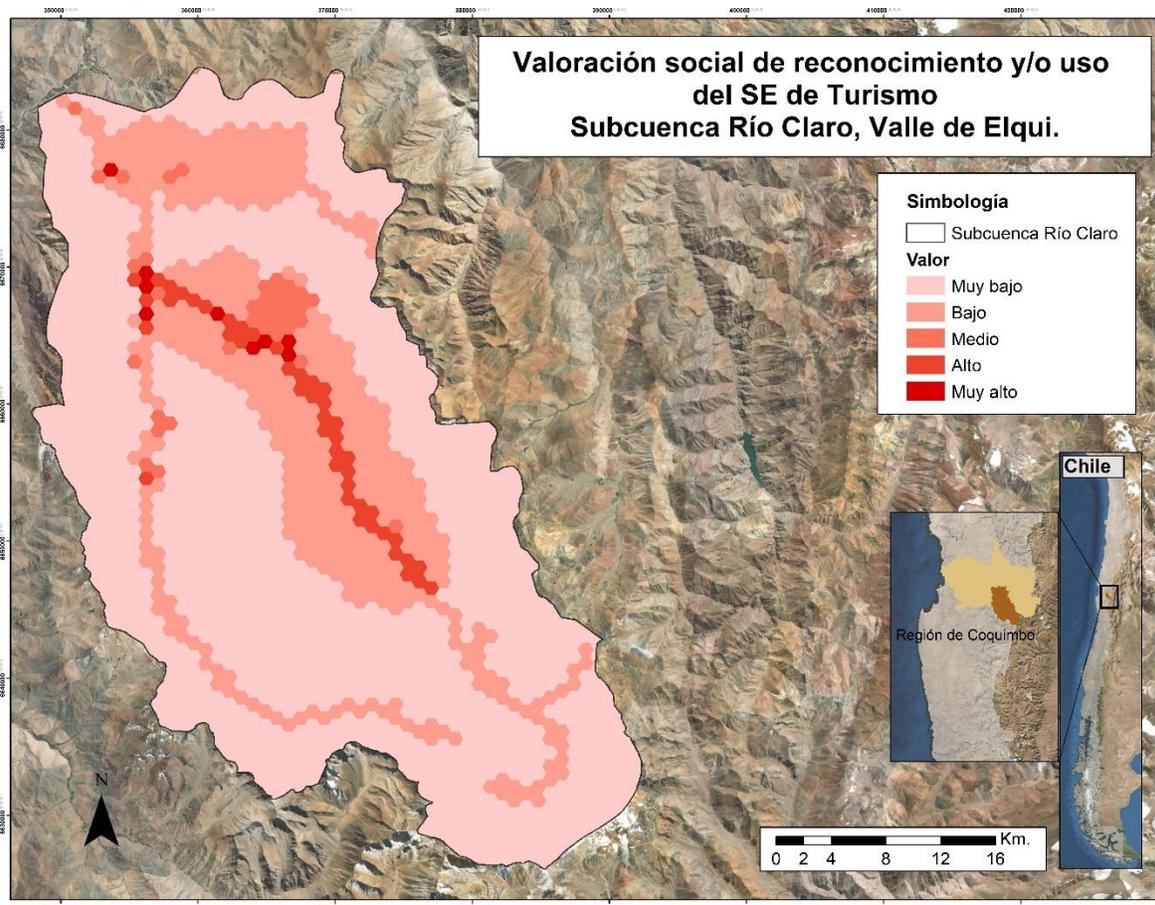


Figura 13: Zonificación de la valoración social de reconocimiento y/o uso del SE de Turismo. Subcuenca Río Claro, Valle de Elqui. Fuente: Elaboración propia (2021).

En cuanto al Servicio de Biodiversidad (Figura 14), se valora un reconocimiento y/o uso en toda la comuna. Se le da principal importancia al lado oeste del valle del río Claro, por la presencia de distintas aves migratorias, especialmente a quebradas cerca de Alcohuaz por ser zonas muy tranquilas donde se quedan las aves por un tiempo. Se destacan también las altas cumbres por contener gran biodiversidad en cuanto a flora y fauna, identificando la presencia ocasional de pumas, guanacos, liebres y cóndores. Hacia el sector de tres cruces se reconoce la presencia de copaos.

En el taller realizado en Horcón se realizó una síntesis de lo que es posible encontrar en la comuna, en donde señalaban: “Cerros y laderas están llenos de vida. Hay culebras, lagartijas, aves, árboles, etc. Muchos aguiluchos, picaflores, cóndores, golondrinas, cachuditos, tijerales, diucas, cometocino de gay, puma, vizcachas, guanacos en la cordillera, yaca, degú, etc., y en los ríos garzas, patos, huairavos, muchas gallinas ciegas”.

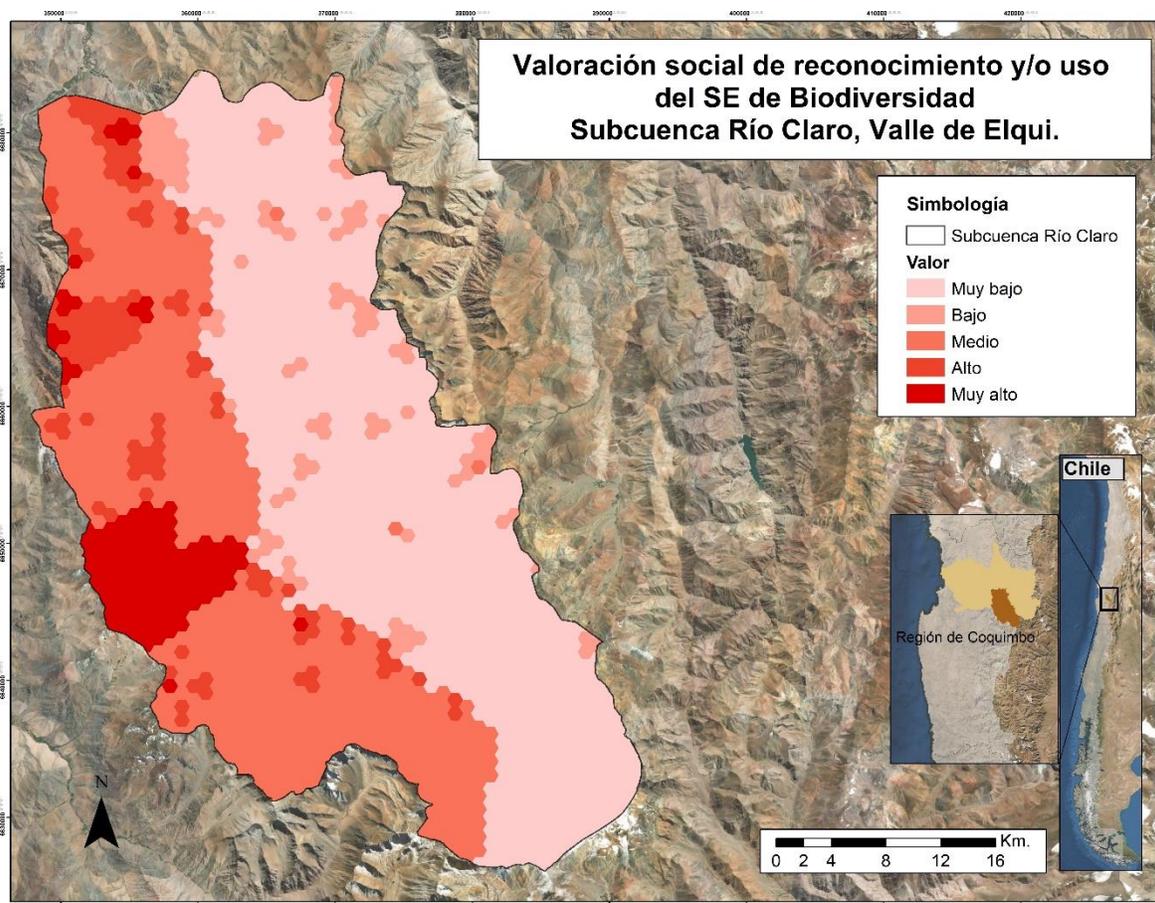


Figura 14: Zonificación de la valoración social de reconocimiento y/o uso del SE de Biodiversidad. Subcuenca Río Claro, Valle de Elqui. Fuente: Elaboración propia (2021).

En la Figura 15 se observa la cartografía de la valoración social obtenida mediante la superposición de todos los mapeos participativos con sus respectivas valoraciones de reconocimiento y/o uso de servicios ecosistémicos, en ella se distinguen 5 zonas:

Las zonas de “muy alto” valor comprenden 46,76 km² y se localizan principalmente cercanas al límite suroeste de la subcuenca, específicamente en la parte inicial del río Claro, lugar donde se emplazan parte de los humedales altoandinos del sector, elementos con una alta valoración de reconocimiento y/o uso. Esta zonificación también comprende a algunas localidades como Paiguano, Montegrande, Pisco Elqui, Horcón y Alcohuz, ya que esas zonas son reconocidas diferentes mapeos, como, en la recolección de materiales de construcción y artesanías, en la agricultura familiar y en el turismo.

Las áreas de “alto” valor social abarcan un poco más 195,76 km² y se encuentran en los fondos de valle de los ríos Cochiguaz y Claro, y la quebrada Paihuano, también se identifican sitios correspondientes a glaciares, humedales y quebradas del sector de Estero Derecho.

Los sitios con “valor medio” social se encuentran un poco más dispersos sobre la subcuenca, extendiéndose sobre 318,40 km². En ellos, se identifica el área correspondiente al Santuario Natural Estero Derecho y otras quebradas más pequeñas dispersas sobre la subcuenca.

Las zonas con “bajo” valor social, comprenden 338,55 km², y corresponde al resto de quebradas y cursos de agua, estas áreas se encuentran dispersas por toda la superficie de la subcuenca.

Zonas de “muy bajo” valor social corresponde al resto de la subcuenca comprendiendo 600,40 km², se registraron estas zonas debido a que en las cartografías de biodiversidad y turismo valoraron a la comuna en su totalidad por albergar una gran cantidad de vida y por tener cielos despejados.

Con relación a lo anteriormente mencionado, se obtiene que toda la subcuenca presenta algún valor social para los participantes de los talleres, asociado a los servicios de abastecimiento (agua, agricultura, ganadería, recolección) y cultural (agua, agricultura, ganadería, recolección y turismo) principalmente, y de soporte (biodiversidad) y regulación (agua, biodiversidad) en menor medida. Pero, se reconocen lugares mejor valorados que otros, destacando principalmente los humedales y glaciares, cursos de agua, las principales localidades señaladas en distintos servicios, y el Santuario Natural Estero Derecho, que ya se encuentra bajo protección ambiental.

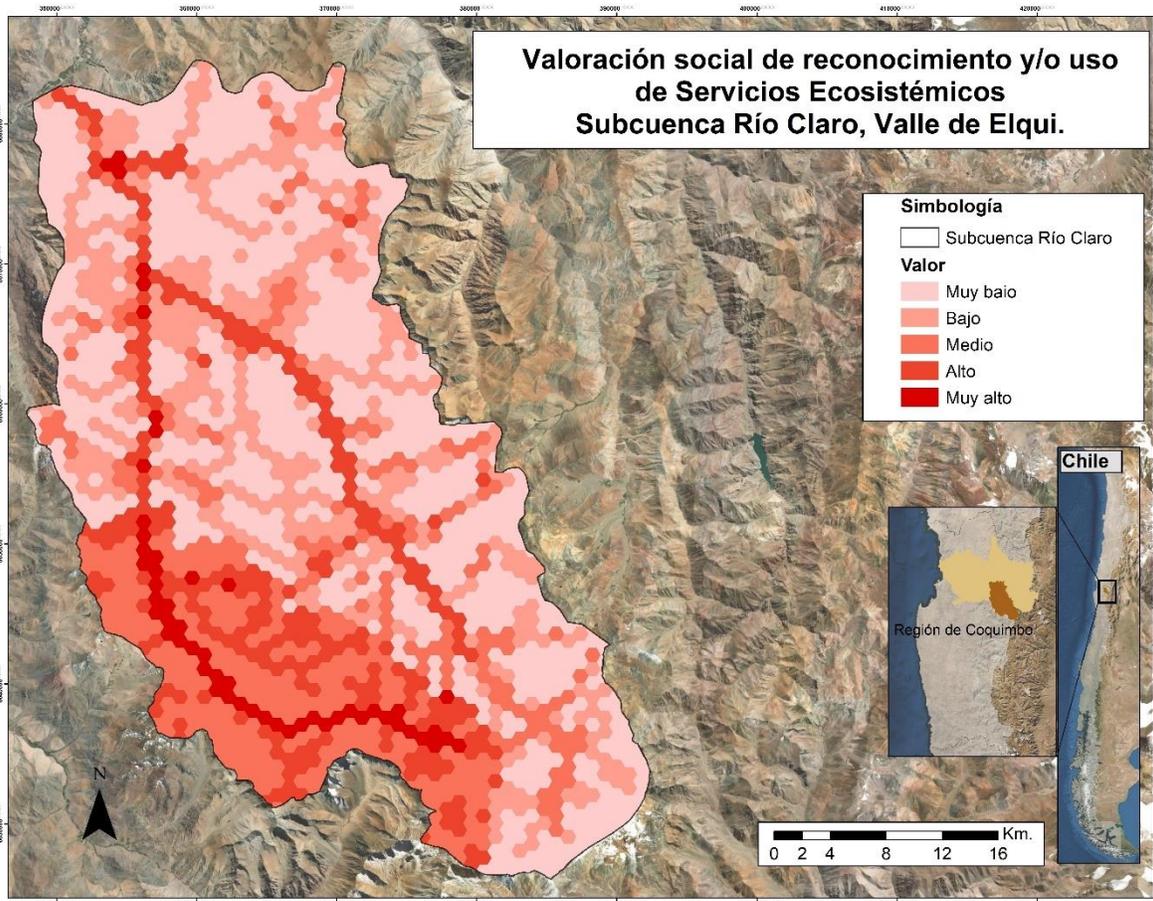


Figura 15: Zonificación de la valoración social de reconocimiento y/o uso de servicios ecosistémicos. Subcuenca Río Claro, Valle de Elqui. Fuente: Elaboración propia (2021).

4.2 Dinámica del paisaje natural para los años 1986 y 2019

La dinámica del paisaje natural para los últimos 30 años se compone del resultado de variación de los índices de diferencia normalizada de vegetación y humedad, que se exponen a continuación.

4.2.1 Variación de la cobertura vegetal sobre la base del índice NDVI

La variación del índice NDVI se observa en la Figura 16. En ella se diferencian 4 áreas que ilustran sobre el cambio en el estado de la cobertura vegetal entre los años 1986 y 2019.

Las zonas donde se ha mantenido la cobertura vegetal abarcan 18,57km² y se encuentran principalmente en la parte sur de la subcuenca, lugar donde se emplazan los humedales altoandinos y pequeñas quebradas, y, en las riberas de los ríos aguas abajo. Las zonas que expresan pérdida de vegetación comprenden 8,93km² y, se ubican principalmente en las mayores altitudes, cercanas a los humedales del límite oeste y suroeste, mientras que los lugares que muestran aumento de vegetación se encuentran esparcidos por toda la subcuenca, en zonas correspondientes a fondos de esteros y quebradas, abarcando 7,76km².

Los 1433,4km² restantes de la subcuenca, corresponden a zonas en que no se detectó cobertura vegetal en ninguna de las imágenes. Esto no significa exactamente ausencia de cobertura vegetal, sino que, la vegetación que aquí se presenta, de tipo matorral y estepa abierta (DGA, 2004), no fue percibida por el índice NDVI, ya que posee poca reflectividad y se encuentra muy dispersa (Lozano, 2016).

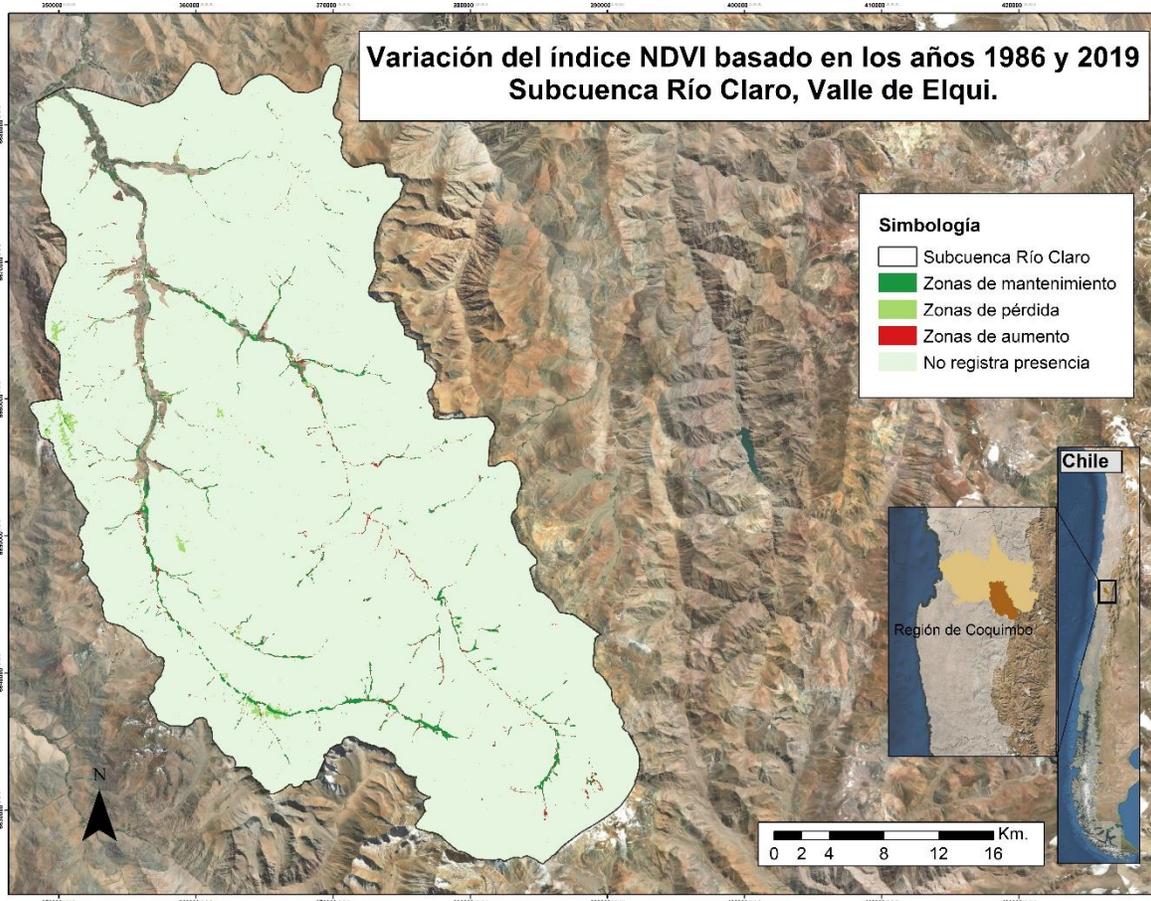


Figura 16: Zonificación con base a la variación del NDVI entre los años el 1986 y 2019.
Fuente: Elaboración propia (2021).

4.2.2 Variación de la humedad del suelo sobre la base del índice NDWI

El segundo resultado corresponde a la variación de la humedad del suelo que se expone en la Figura 17. En ella se observan, al igual que en el caso de la vegetación, áreas de cambio entre los años 1986 y 2019.

Los sitios donde se ha mantenido la humedad del suelo comprenden 6 km² y se encuentran concentrados en las mayores altitudes, específicamente sobre las lagunas que se localizan en el cuadrante sureste de la subcuenca (no se alcanza a percibir a simple vista en la figura), en sectores cercanos a los glaciares rocosos en el límite sur hacia el oeste y en la divisoria entre la quebrada Paihuano y valle Cochiguaz.

Las áreas donde se ha observado la pérdida de humedad comprenden una gran superficie, extendiéndose sobre 144,933km², estas se encuentran principalmente en áreas de mayor altitud, predominando en el sector cercano al límite sureste de la subcuenca, que bordea las zonas que han mantenido humedad y en la divisoria del valle del río Claro o Derecho y Cochiguaz. También se observan menores áreas en la ladera oeste del valle del río Claro o Derecho, esparcidas desde la zona sur en Estero Derecho hasta el sector de Rivadavia.

Las zonas que presentan aumento de humedad no se alcanzan a identificar a simple vista ya que comprenden menos de 1 km², mientras que el resto de la subcuenca, alrededor de 1317km², corresponde a zonas que en que no se detectó presencia de humedad en ninguna de las imágenes. Esto último no significa precisamente que no existe humedad en esas zonas, sino que pudo no haber sido captada por la resolución espacial de estas imágenes.

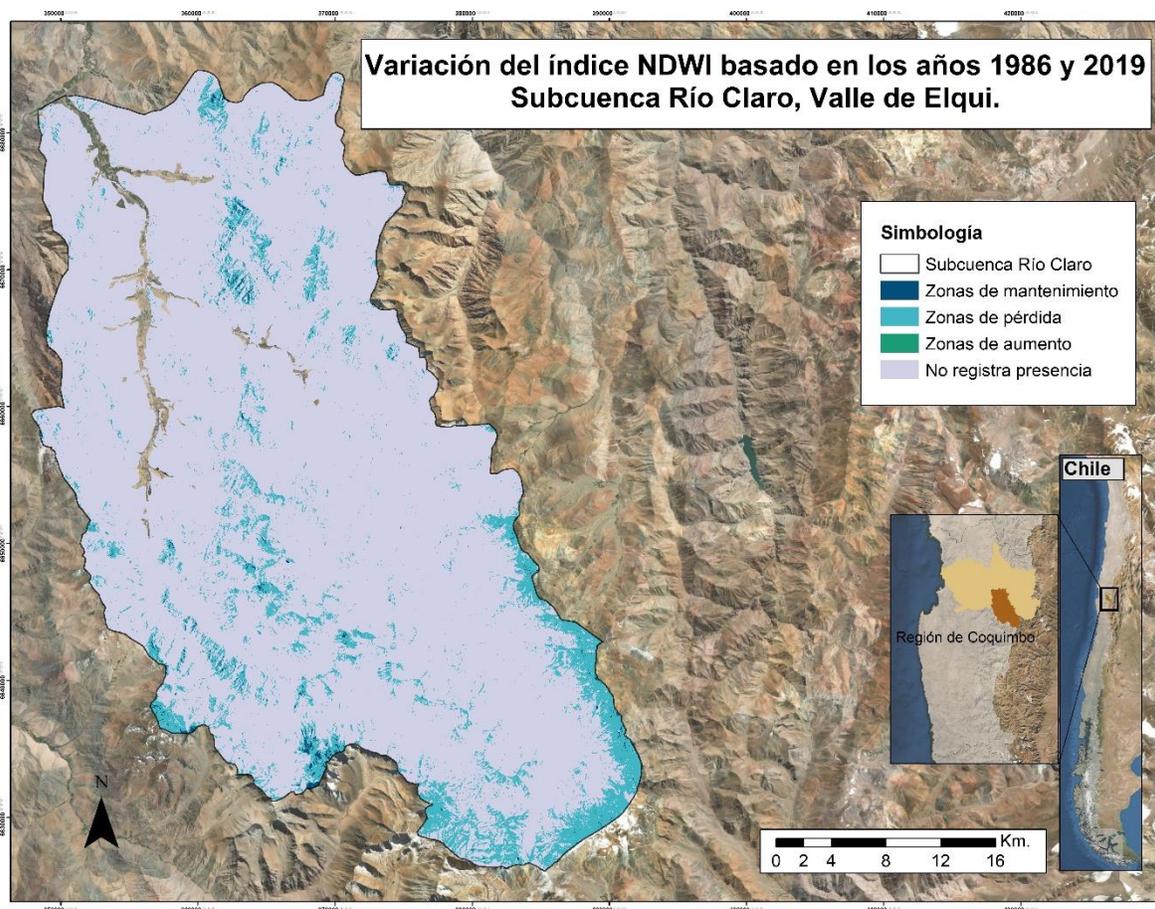


Figura 17: Zonificación con base a la variación del NDWI entre los años el 1986 y 2019.
Fuente: Elaboración propia (2021).

4.2.3 Dinámica del paisaje natural sobre la base de los indicadores de cobertura vegetal y humedad del suelo para los años 1986 y 2019

La Figura 18 muestra la dinámica del paisaje natural basada en las áreas de cambio de cobertura vegetal y humedad del suelo para los años 1986 y 2019. En ella se muestran cuatro clasificaciones:

Las zonas de mantenimiento corresponden a sitios en que la cobertura vegetal y/o la humedad del suelo han presentado estabilidad para ambos momentos. Estas zonas comprenden a 26,266 km² y se encuentran principalmente en las cabeceras de los valles de los ríos Cochiguaz y Claro, lugar de emplazamiento de los humedales altoandinos, y en la parte más baja de ambos valles. También se encuentran en menor medida, en el límite sur y norte de la subcuenca, y en la cordillera entre la quebrada Paihuano y río Cochiguaz. Esta clasificación es representada en un 65% por el mantenimiento de cobertura vegetal, y el resto se relaciona con el mantenimiento de humedad, correspondiente a los lugares de mayor altitud.

Las zonas de pérdida se refieren a sectores en donde han disminuido ambos o uno de los elementos y se extienden sobre 153,707km². Estos se localizan principalmente en las mayores altitudes y, a diferencia de la clasificación anterior, casi un 94% corresponde a la pérdida de humedad en áreas localizadas en el límite sureste de la subcuenca y en la cordillera que divide los valles de los ríos Claro y Cochiguaz, además de sectores esparcidos cercanos al límite oeste.

Las zonas de aumento comprenden áreas en que se expresan ganancias en términos de cobertura vegetal y/o la humedad del suelo. Estas abarcan a solo 7,439 km² de la subcuenca y se encuentran principalmente cerca a los bordes de río. Estas zonas son representadas significativamente por el aumento de vegetación, ya que son casi inexistentes los sitios en que ha aumentado la humedad (menos de 1 km²).

Por último, el intervalo que no registra presencia de cobertura vegetal ni humedad del suelo corresponde al resto de la subcuenca, abarcando más de 1200 km², aquí se encuentra principalmente suelo con vegetación muy escasa o desnudo y formaciones rocosas.

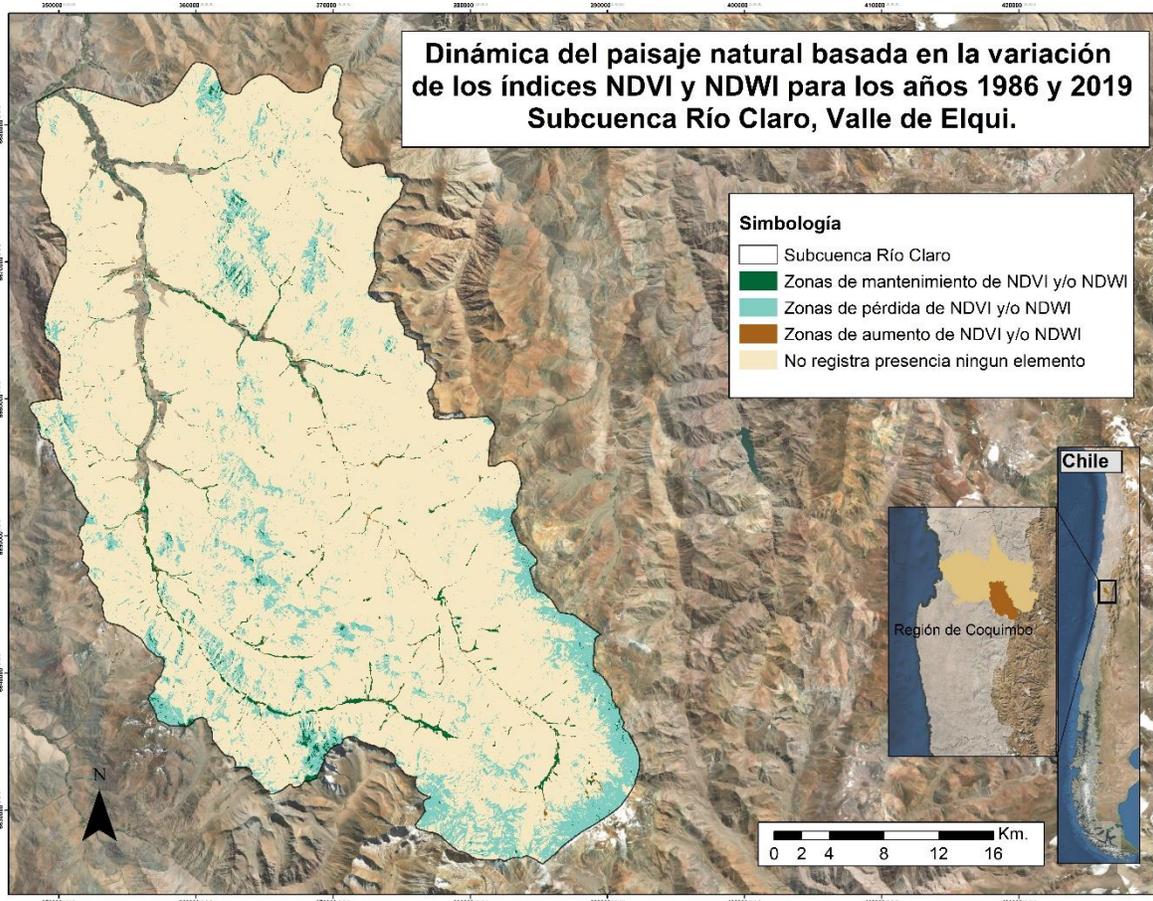


Figura 18: Zonificación de la dinámica del paisaje natural sobre la base de indicadores de cobertura vegetal y humedad del suelo en el tiempo. Subcuenca Río Claro, Valle de Elqui.
Fuente: Elaboración propia (2021).

4.3 Priorización espacial para la conservación de servicios ecosistémicos sobre la base de una valoración social y la dinámica del paisaje natural en el tiempo.

A partir de los resultados anteriormente expuestos, se obtiene la priorización de sitios a conservar que se expone en la Figura 19, la cual incluye cuatro sitios. Esta selección fue obtenida mediante el software Marxan, sobre la base de la valoración social de servicios ecosistémicos, complementada con la dinámica del paisaje natural basada en los indicadores de cobertura vegetal y humedad del suelo - debido a ser elementos propiciadores de servicios ecosistémicos-:

El área localizada en el sector norte de la subcuenca se emplaza sobre la parte distal de la quebrada Paihuano, comprendiendo a 21,75 km². Este sector ha sido valorado socialmente por presentar servicios ecosistémicos, y por comprender pequeñas zonas de mantenimiento de cobertura vegetal y de humedad del suelo.

El sector ubicado en la zona centro norte, sobre 59,75 km², comprende la parte distal del valle del río Cochiguaz y el poblado con el mismo nombre. Este sector presenta un alto valor social, sus quebradas presentan mantenimiento de cobertura vegetal, y parte de la cordillera que la divide de la quebrada Paiguano, presenta zonas con mantenimiento y pérdida de humedad.

La zona perteneciente a la parte suroeste de la subcuenca es la más extensa, abarcando una superficie sobre los 220 km². Comprende la mitad sur del valle del río Claro, incluyendo gran parte del Santuario Natural Estero Derecho y los glaciares y humedales altoandinos que allí se encuentran. Toda esta área presenta un alto valor social, y además contempla zonas de mantenimiento, aumento y disminución de los indicadores del paisaje natural.

Por último, el área ubicada en el límite sureste de la subcuenca se extiende sobre 90 km². Allí se emplazan humedales altoandinos y glaciares de roca que se caracterizan por presentar mantenimiento de vegetación y humedad y también pérdida, además de conformarse como elementos con una alta valoración por los servicios ecosistémicos que otorgan.

De esta manera, los sitios referidos anteriormente, se constituyen como zonas prioritarias para la conservación de servicios ecosistémicos sobre la base de una valoración social integrada por la dinámica del paisaje natural. En ellos se identifican múltiples servicios con un alto valor social por reconocimiento y/o uso, además de que presentan zonas de la dinámica de la cobertura vegetal y de humedad del suelo estables y sensibles, que son importantes considerar por ser fuentes generadoras de servicios ecosistémicos.

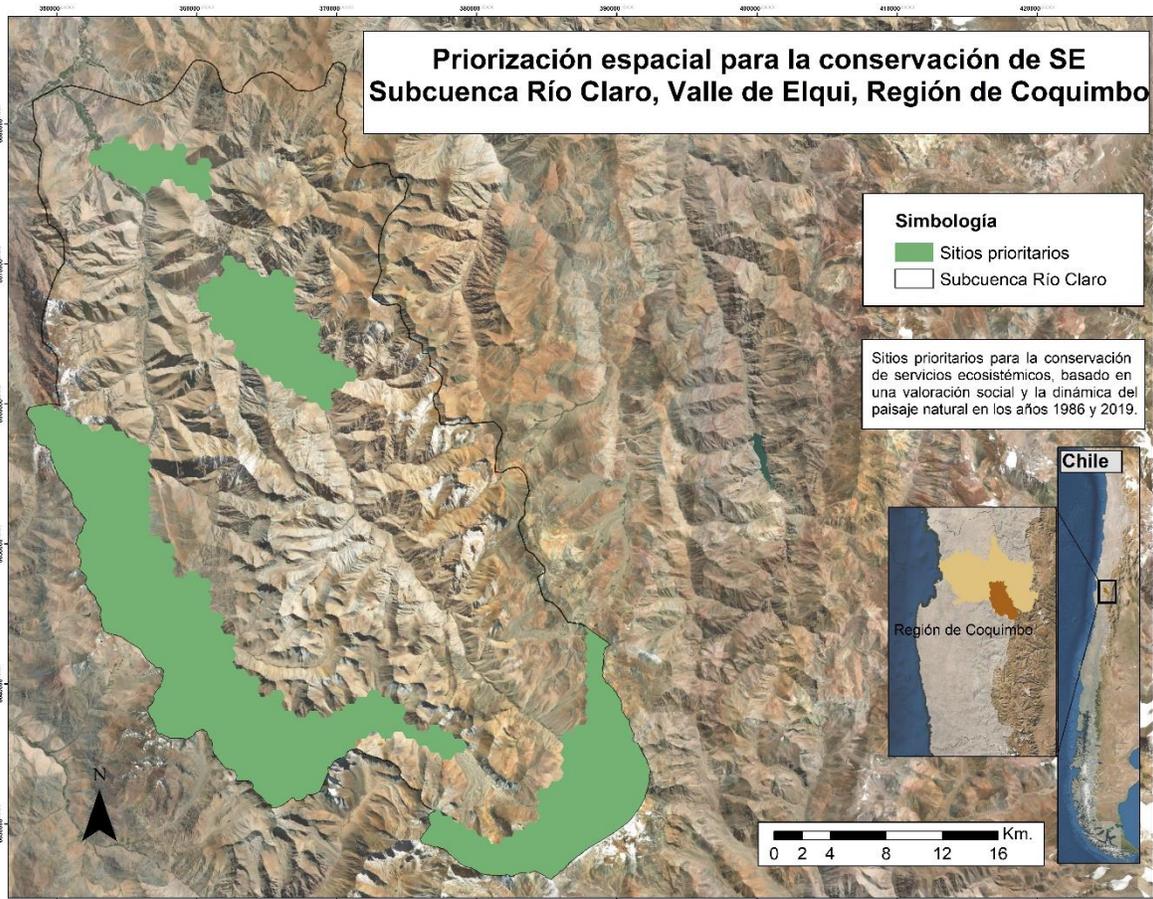


Figura 19: Priorización espacial para la conservación de servicios ecosistémicos sobre la base de una valoración social integrada por la dinámica de indicadores del medio natural en el tiempo.
 Fuente: Elaboración propia (2021).

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES

La presente memoria de título consistió en desarrollar una priorización espacial para la conservación de servicios ecosistémicos en la subcuenca Río Claro, sobre la base de una valoración social y la dinámica del paisaje natural en el tiempo. Conformándose como un insumo para planes de gestión y conservación local, que prioricen un desarrollo armónico entre la sociedad y su entorno natural, dada la ausencia de ordenamiento territorial nacional y la amenaza de instalación de proyectos minero-extractivos en este territorio en particular.

A partir de los resultados del primer objetivo específico, la sistematización de la valoración social evidencia que las personas le asignan una gran importancia al sector suroeste de la subcuenca, específicamente a sitios con presencia de humedales altoandinos que contienen una gran cantidad y variedad de flora y fauna silvestre (MMA, 2018), además se destacan los sitios donde se localizan glaciares rocosos y cursos de agua. En relación a estos últimos, el agua se identifica como uno de los principales servicios ecosistémicos, y a su vez, como fuentes de otros servicios, debido a ser esencial para su desarrollo y actividades asociadas, además de que tiene un uso directo en cuanto a consumo y recreación, según lo obtenido por la ONG CODECIAM (2019). Otro sector altamente valorado es el Santuario Natural Estero Derecho, el cual fue valorado en varios de los mapeos participativos. De esta manera, los sectores mencionados, se destacan por proporcionar servicios ecosistémicos de abastecimiento, culturales, regulación y soporte, mediante las categorías de agua, agricultura ganadería, agricultura, recolección de diferentes elementos, turismo y biodiversidad.

Con relación a estos resultados, se deben considerar que existen limitaciones respecto a la imprecisión que pudo haber presentado la sistematización de algunos servicios ecosistémicos por la forma en cómo se aplicaron las cartografías participativas. Esto porque, jerarquizar sitios según si se reconoce y/o utiliza más o menos el servicio ecosistémico, demanda una sistematización que cuantifique estas valoraciones, lo que pudo provocar que algunos sitios quedaran infravalorados, por no coincidir espacialmente con otro sitio seleccionado en un taller distinto, provocando que no se sumaran sus valores, aunque se refirieran al mismo sector. De esta manera, para un estudio futuro, se recomienda realizar cartografías participativas identificando sitios según distintos tipos de valores tales como; diversidad biológica, uso y sustento para la vida, recreacional y paisajístico, y, cultural y patrimonial (Méndez, 2018), para que no se deban cuantificar la presencia de distintos servicios ecosistémicos, sino solo especializarlas según su valor.

En cuanto los resultados del segundo objetivo específico, correspondiente a la dinámica del paisaje natural, con base en la variación de los índices NDVI y NDWI, se expone que las áreas de mantenimiento se encuentran representadas principalmente por la presencia estable de la cobertura vegetal, más que de humedad del suelo. Estas se encuentran en el sector de emplazamiento de humedales altoandinos y en menor medida en zonas ribereñas, esto último se puede explicar debido a que en esos sectores se conforma una vegetación azonal en que

su desarrollo depende altamente de los cursos de agua (Squeo et al., 2006). En relación con las zonas que han presentado pérdidas, estas son las que ocupan mayor superficie y están representadas principalmente por el factor de humedad, lo que se relaciona con la desertificación del norte de Chile (Cartaya et al., 2014) y el hecho de que particularmente este ambiente se encuentra afectado por la megasequía (CR2, 2015). De acuerdo con las áreas referidas al aumento de vegetación y/o humedad, se observa que predomina el factor de vegetación, localizado en pequeñas quebradas y esteros. Si bien estas áreas corresponden a solo 7 km² de la subcuenca, sería interesante indagar más sobre estas especies colonizadoras.

Por último, las zonas que no registran presencia de ninguno de los elementos se pueden entender según lo planteado por Squeo et al (2006), sobre las interacciones ecológicas en la alta montaña del Valle del Elqui, donde indica que las zonas con pendiente abrupta y cubierta detrítica presentan una alta infiltración que genera suelos secos e inestables capaz de contener una baja cobertura vegetal. No obstante, es reconocido que el índice NDVI presenta limitaciones en zonas áridas, y aquí se ha comprobado, ya que logró identificar con precisión la presencia de humedales, por constituirse como una vegetación con alta productividad (Squeo et al., 2006), sin embargo, no logró percibir el resto de cobertura vegetal de matorral disperso presente sobre toda la subcuenca, por lo que se reconoce que para una investigación futura sería idóneo la aplicación de otro índice más preciso para lugares semiáridos (Lozano, 2016).

En relación con las limitaciones planteadas recientemente, y considerando que, trabajar solo sobre dos imágenes satelitales para evidenciar cambios puede resultar muy simplista, se recomienda para un estudio futuro complementar la valoración social con datos del estado ecológico de la subcuenca o de alguno de sus componentes, para desarrollar una valoración ecológica de servicios ecosistémicos, más que solo estimar la dinámica del paisaje natural.

Respecto a los resultados del último objetivo específico, correspondiente a la priorización espacial, basada en la valoración social y la dinámica del paisaje en el tiempo, se obtienen cuatro sitios prioritarios a conservar: uno de 21,75 km², sobre la quebrada Paihuano; otro de 59,16 km² ubicado en la parte distal del valle del río Cochiguaz, otro que se extiende sobre 220 km², que abarca desde la mitad del valle del río Claro hasta su límite sur, incluyendo gran parte del Santuario Natural Estero Derecho y finalmente otro sector que comprende a 90,14 km², ubicado al límite sureste de la subcuenca. Los tres primeros sitios corresponden a sectores con un alto valor social de servicios ecosistémicos que presentan además zonas con presencia estable de cobertura vegetal y humedad del suelo en el tiempo. En cuanto al sitio localizado al límite sureste, presenta un valor social medio de reconocimiento y/o uso de SE, además, se localiza sobre zonas que se han mantenido y aumentado la presencia de los indicadores, incluyendo también zonas que han presentado pérdidas.

Con relación a los criterios utilizados para la selección de sitios prioritarios (en cuanto a metas de objeto de conservación, costo, BLM, número de corridas), estos se definen según lo que cada persona asigna al momento de ejecutar el programa, por lo que la priorización

variará conforme estos parámetros cambien. En este sentido, los criterios definidos en esta memoria se plantean como una propuesta y se recomienda para una investigación futura, ajustar estas variables en una reunión de expertos, para que se puedan considerar diferentes perspectivas y opiniones.

Sobre la ejecución del software Marxan, este arrojó resultados coherentes según lo que se buscaba conservar, logrando incorporar adecuadamente la valoración social y la dinámica del paisaje natural, por lo que se concluye que es una óptima herramienta para generar priorización espacial que requiera integrar distintas perspectivas.

A modo general, los resultados obtenidos en esta memoria permiten concluir que, sobre toda la subcuenca se localizan zonas prestadoras de servicios ecosistémicos, pero que los sitios prioritarios a conservar -tanto por la valoración de las personas como por los indicadores del paisaje natural en el tiempo- se encuentran en cuatro localizaciones específicas: La quebrada Paihuano y sus alrededores, la zona distal del valle del río Cochiguaz, la mitad sur del valle del río Claro y el sector sureste de la subcuenca. De esta manera, y considerando las limitaciones planteadas, la presente memoria de título se conforma como un aporte para la gestión y conservación local, ya que rectifica la importancia de zonas que se encuentran bajo conservación -Santuario Natural Estero Derecho- y expone otras sobre las que se hace necesario generar acciones para su cuidado, debido los beneficios que le otorgan a la comunidad.

REFERENCIAS

- Agüero, M. L., Rojas, F., & Álvarez, J. (2018). Aportes desde la cartografía participativa y la historia ambiental al ordenamiento territorial del bosque nativo - Contributions to the land-use planning of then native forest from participatory mapping and environmental history. *Proyección*, 12(No. 23), 83–102.
- Aliste Almuna, E. (2011). Territorio y ciencias sociales: trayectorias espaciales y ambientales en debate. *Medio Ambiente y Sociedad. Conceptos, Metodologías y Experiencias Desde Las Ciencias Sociales y Humanas*, 55–76.
- Armenteras, D., González, T. M., Vergara, L. K., Luque, F. J., Rodríguez, N., & Bonilla, M. A. (2016). Revisión del concepto de ecosistema como “unidad de la naturaleza” 80 años después de su formulación. *Ecosistemas*, 25(1), 83–89. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2016.25-1.12>
- Arreola, A. V., & Saldívar, A. (2017). De Reclus a Harvey, la resignificación del territorio en la construcción de la sustentabilidad. *Región Y Sociedad*, 68. <http://www.scielo.org.mx/pdf/regsoc/v29n68/1870-3925-regsoc-29-68-00223.pdf>
- Badii, M.H., Guillen, A., Rodríguez, C., Lugo, O., Aguilar, J., & Acuña, M. (2015). Pérdida de Biodiversidad: Causas y Efectos. *Daena: International Journal of Good Conscience.*, 156-174.
- Ball, I., Possingham, H., & Watts, M. (2009). Marxan and relatives: software for spatial conservation prioritization. *Spatial Conservation Prioritization: Quantitative Methods and Computational Tools.*, January, 185–195.
- Birch, C. P. D., Oom, S. P., & Beecham, J. A. (2007). Rectangular and hexagonal grids used for observation, experiment and simulation in ecology. *Ecological Modelling*, 206(3–4), 347–359. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.03.041>
- Bocco, G., & Urquijo, P. S. (2015). Geografía ambiental: reflexiones teóricas y práctica institucional. *Región Y Sociedad*, 25(56). <https://doi.org/10.22198/rys.2013.56.a100>
- Briones, O., Búrquez, A., Martínez-Yrizar, A., Pavón, N., & Perroni, Y. (2018). Biomasa y productividad en las zonas áridas mexicanas. *Madera y Bosques*, 24(Special Issue). <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2401898>
- Camacho Valdez, V., & Ruiz Luna, A. (2012). MARCO CONCEPTUAL Y CLASIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS. *Bio Ciencias*, 1, 3–15.
- Campillay, C. (2018). Valoración de los Servicios Ecosistémicos en el Santuario de la Naturaleza Quebrada de la Plata . *REPENSANDO LA QUEBRADA . Memoria para optar al Título de Geógrafo César Aaron Campillay Pereda Profesor Guía : Juan Carlos Espinoza Santiago de Chile : Dicie.*
- Cartaya, S., Zurita, S., Rodríguez, E., & Montalvo, V. (2014). Comparación de técnicas para determinar cobertura vegetal y usos de la tierra en áreas de interés ecológico , Manabí , Ecuador. *Revista Ud Y La Geomática*, 9, 5–17.

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/UDGeo/index>

- Carvajal, A. (2010). Servicios Ecosistémicos: Su Relación Con La Geografía Y La Toma De Decisiones Ambientales. *Electron. Geogr. Austral*, 1, 11. <http://revistanadir.yolasite.com/resources/Servicios.pdf>
- Cepeda, J., & Robles, M. (2004). Una descripción general de la hoya hidrográfica del Río Elqui, IV Región de Coquimbo, Chile. MCRI Project: institutional adaptations to climate change: Comparative study of dryland ricer basins in Canada and Chile. Chávez González, H., González Guillén, M. D. J., & Hernández de la Rosa, P. (2018). Metodologías para identificar áreas prioritarias para conservación de ecosistemas naturales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(27), 8–23. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v6i27.277>
- Chan, K., Shaw, M., Cameron, D., EC, U., & Daily, G. (2006). Conservation Planning for Ecosystem Services. *PLoS Biol*, 4(11). CODECIAM. (2019a). Informe Línea de Base Flora y Vegetación del Valle de Elqui. <https://www.elquivallesagrado.cl/campanas/>
- CODECIAM. (2019b). Informe Línea de Base Funa vertebrada del Valle de Elqui. <https://www.elquivallesagrado.cl/campanas/>
- CODECIAM. (2019c). Informe Línea de Base Servicios Ecosistémicos, VALLE DE ELQUI. <https://www.elquivallesagrado.cl/campanas/>
- Comunidad Agrícola Estancia Estero Derecho. (2015). Estero Derecho. Obtenido de Área Protegida Privada y Santuario de la Naturaleza Estero Derecho: <http://www.esteroderecho.cl/index.php/quienes-somos/Corantioquia>, & UNAL. (2012). Valoración económica, ecológica y socio-cultural de bienes y servicios ambientales en la cuenca del Río Grande. Aproximación conceptual y metodológica. In FACULTAD DE MINAS ESCUELA DE GEOCIENCIAS Y MEDIO AMBIENTE (p. 547).
- Corredor, E., Fonseca, J., & Páez, E. (2006). Los servicios ecosistémicos de regulación: tendencias e impacto en el bienestar humano. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 3(1), 77–83.
- CR2. (2015). Informe a la Nación. La megasequía 2010-2015: Una lección para el futuro. Informe a La Nación, 26. www.cr2.cl/megasequia
- Daily, G., Alexander, S., & Ehrlich, P. (1997). ... Services: Benefits Supplied To Human Societies By Natural Ecosystems. *Ecological Society of America*, 2. <http://www.sierraforestlegacy.org/Resources/Conservation/FireForestEcology/ForestEconomics/Economics-Daily97.pdf>
- DGA, D. G. de A. del M. de O. P. (2004). Cuenca del Río Elqui. Gobierno de Chile.
- DGA. (2014). Inventario público de glaciares.
- El Día, E. (28 de enero de 2020). Vecinos rechazan la instalación de mineras en la Quebrada de Paihuano. *El Día*.
- Elqui Valle Sagrado. (2020). Elqui Valle Sagrado. Obtenido de

<https://www.elquivallesagrado.cl/>

Elqui Valle Sagrado. (11 de septiembre de 2020). Elqui Valle Sagrado. Obtenido de EVS EVALÚA ESTUDIO AMBIENTAL PRESENTADO POR MINERA ARQUERO: <https://www.elquivallesagrado.cl/evs-evalua-estudio-de-impacto-ambiental-presentado-por-proyecto-minero-arquero/>

Flores, A. (2017). Identificación de áreas prioritarias para la restauración ecológica de manglares basados en servicios ecosistémicos en el Parque Nacional Blanca Jeannette Kawas Fernández, Honduras. CATIE, Turrialba, 37-63.

Fuentes, M. (2015). Análisis legal y doctrinario del Ordenamiento y Planificación Territorial en Chile, características, relación y diferencias. Sustainability, Agri, Food and Environmental Research, 3(2), 12–21. <https://doi.org/10.7770/safer-v3n2-art882>

Game, E., & Grantham, H. (2008). Manual del Usuario de Marxan: Para la versión Marxan 1.8.10. Universidad de Queensland, St. Lucia, Queensland, Australia, y la Asociación para la Investigación y Análisis Marino del Pacífico, Vancouver, British Columbia, Canadá. http://www.unionrope.com/resource_/pageresource/union/wire-rope-user-guide-spanish.pdf

Gratzfeld, J. (2004). Industrias extractivas en zonas áridas y semiáridas . Reino Unido: UICN, Gland, Suiza y Cambridge.

Gudynas, E. (2010). La Senda Biocéntrica: Valores Intrínsecos, Derechos De La Naturaleza Y Justicia Ecológica. Tabula Rasa, 13, 45–71. <https://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=39617525003>

Hernández, I. (2014). EVALUACIÓN DE LA TRANSFORMACIÓN DEL PAISAJE PARA LA DETERMINACIÓN DE ÁREAS PRIORITARIAS DE CONSERVACIÓN EN LA REGIÓN DE UXPANAPA, VERACRUZ.

Iglesias, M. R., A., B., & M. P, G. (2010). Dinámica estacional e interanual del NDVI en bosques nativos de zonas áridas argentinas. Revista de Teledetección, 34, 44–54.

Ilustre Municipalidad de Paiguano. (agosto de 2019). Ilustre Municipalidad de Paiguano. Obtenido de <https://www.munipaihuano.cl/index.php/2019/08/19/entra-en-vigencia-primer-plan-regulador-para-la-comuna-de-paihuano/>

Ilustre Municipalidad de Paihuano. (2016). Plan de Desarrollo Comunal 2016-2020. Obtenido de Municipalidad de Paihuano.

Instituto Nacional de Estadísticas. (2017). INE, resultados censo 2017. Obtenido de www.resultados.censo2017.cl/

Lozano, J. (2016). EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE USO DE SUELOS SEGÚN EL ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA, MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES EN EL DISTRITO DE TAMBILLO-AYACUCHO, 2000-2014. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3060>

La Región de Coquimbo. (4 de octubre de 2018). Diario La Región de Coquimbo. Obtenido de: <http://www.diariolaregion.cl/comunidades-del-valle-del-elqui-en-alerta-por->

posibles-exploraciones-mineras-en-cordillera-del-sector-alcohuaz/

- La Región de Coquimbo. (2 de febrero de 2021). Marcha por el agua «es un grito de auxilio» para diversas comunidades. Diario La Región de Coquimbo.
- Méndez, B. D. (2018). Valoración sociocultural de los componentes de infraestructura verde y servicios ecosistémicos en la zona costera de Algarrobo , entre 1950 y 2016 . (p. 144).
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005a). Ecosystems and Human Well-being (Issue October 2016).
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005b). ECOSYSTEMS AND HUMAN WELL-BEING. In A Report of the Millennium Ecosystem Assessment (Island Pre, Vol. 18, Issue 2).
- MMA, M. del M. A. (2018). Plan Nacional de Protección de Humedales 2018-2022 (p. 33).
- Montañez, C. (2018). Caracterización y mapeo participativo de servicios ecosistémicos en paisajes socio-ecológicos de producción . 75.
- Muñoz, A. (2016). Aplicación de herramientas de percepción remota para la determinación del balance hídrico en humedales altiplánicos.
- Nicolas-Artero, C., Velut, S., & Aliste, E. (2018). La expansión del capitalismo en el valle de Elqui. *Revista Chilena de Antropología* (37), 197-212.
- Novoa, J., & López, D. (2001). Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Coquimbo. Capítulo 2: El escenario geográfico físico. La Serena, Chile: Ediciones Universidad de La Serena.
- Olivares, P., & Treimun, J. (2014). DIAGNÓSTICO DEL RECURSO HÍDRICO EN CONTEXTO DE SEQUIA Y DEPENDENCIA AGRÍCOLA. CUENCA DEL LIMARÍ, COQUIMBO. PERIODO 2000-2011 (Vol. 0867, pp. 49–75).
- Pettorelli, N., Ryan, S., Mueller, T., Bunnefeld, N., Jedrzejska, B., Lima, M., & Kausrud, K. (2011). The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): Unforeseen successes in animal ecology. *Climate Research*, 46(1), 15–27. <https://doi.org/10.3354/cr00936>
- Pino, C. (2018). Estudio Geomorfológico Glacial Y Periglacial Asociado a La Evolución De Glaciares Rocosos En La Alta Cuenca Del Río Cochiguás, Región De Coquimbo. In Universidad de Chile facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Geología (p. 120).
- Possingham, H., Ball, I., & Andelman, S. (2006). Mathematical Methods for Identifying Representative Reserve Networks. *Quantitative Methods for Conservation Biology*, January, 291–306. https://doi.org/10.1007/0-387-22648-6_17
- Precht, A., S, R., & Salamanca, C. (2016). El ordenamiento territorial en Chile.
- Quétier, F., Tapella, E., Conti, G., Cáceres, D., & Díaz, S. (2007). Servicios ecosistémicos y actores sociales. Aspectos conceptuales y metodológicos para un estudio interdisciplinario. *Gaceta Ecológica*, 17–26.

- Rincón-Ruiz, A., Echeverry-Duque, M., Piñeros, A. M., Apia, C. H., David, A., Arias-Arévalo, P., & Zuluaga, P. A. (2014). VALORACIÓN INTEGRAL DE LA BIODIVERSIDAD Y LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS: ASPECTOS CONCEPTUALES Y METODOLÓGICOS.
- Rodríguez-Moreno, V. M., & Bullock, S. H. (2013). Comparación espacial y temporal de índices de la vegetación para verdor y humedad y aplicación para estimar LAI en el Desierto Sonorense. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(4), 611–623.
- Romero, H., & Vásquez, A. (2005). Pertinencia y significado del ordenamiento territorial en Chile. *Urbano*, 8, 91–99.
- Rosa-Velazquez, M. I., & Ruiz-Luna, A. (2020). Valoración social de los servicios ecosistémicos de humedales costeros: Estado actual y perspectivas. *Acta Biologica Colombiana*, 25(3), 403–413.
- Salinas-Zavala, C., Martínez-Rincon, R. O., & Morales-Zarate, M. V. (2017). Tendencia en el siglo XXI del Índice de Diferencias Normalizadas de Vegetación (NDVI) en la parte sur de la península de Baja California. *Investigaciones Geograficas*, 2017(94), 82–90. <https://doi.org/10.14350/rig.57214>
- Sánchez, J. M., & Enríquez, S. M. (1996). Impacto ambiental de la pequeña y mediana minería en Chile. ... and Medium Mining in Bolivia, Chile ..., 1–81. <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd27/ambientechile.pdf>
- Squeo, F. A., Cepeda, J., Olivares, N. C., & Arroyo, M. T. . (2006). Interacciones Ecológicas En La Alta Montaña Del Valle Del Elqui Interacciones Ecológicas En La Alta Montaña Del Valle Del Elqui. *Interacciones Ecologicas*, 1, 69–103.
- Urzúa, M. (2019). El rol del Estado en la acumulación de capital durante los 90 en Chile. SIMPOSIO 11: El Contenido Económico Del “Ciclo Progresista”. *Debates En Torno a La Especificidad Sudamericana Desde El Marxismo y La Crítica de La Economía Política.*, December.
- Valderrama, R. (2013). El diagnóstico participativo con cartografía social. *Innovaciones en metodología Investigación-Acción Participativa (IAP)*. *Anduli*, 12, 53–65. <https://doi.org/10.12795/anduli.2013.i12.03>
- Vargas, G. M. (2005). Naturaleza y medio ambiente: Una visión geográfica. *Revista Geografica Venezolana*, 46(2), 289–304.
- Varela, L. (2 de octubre de 2018). Comunidad de Paihuano rechaza instalación de minera en su cordillera. *El Día*.
- Viglizzo, E. F., Carreño, L., Volante, J., & Mosciaro, M. J. (2011). Valoración de Servicios Ecosistemicos. Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial (Issue 6300, pp. 17–38).
- Villarreal-Rosas, J., Sonter, L. J., Runtig, R. K., López-Cubillos, S., Dade, M. C., Possingham, H. P., & Rhodes, J. R. (2020). Advancing Systematic Conservation Planning for Ecosystem Services. *Trends in Ecology and Evolution*, 35(12), 1129–1139. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2020.08.016>

- Vollmer, D., Pribadi, D. O., Remondi, F., Rustiadi, E., & Grêt-Regamey, A. (2015). Prioritizing ecosystem services in rapidly urbanizing river basins: A spatial multi-criteria analytic approach. *Sustainable Cities and Society*, 20, 237–252. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.10.004>
- Zárate, R., Aquino, R., Palacios, J. J., Fachin, L. M., Paredes, P., Castro, W. F., Torres, G. M., Martínez, P., Maco, J. T., & Rimachi, M. N. (2016). Áreas prioritarias para la conservación de la Provincia de Alto Amazonas, Loreto, Perú. *Ciencia Amazónica (Iquitos)*, 6(2), 136. <https://doi.org/10.22386/ca.v6i2.120>