



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

**PRIORIZACIÓN ESPACIAL DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DEL
HUMEDAL TUBUL-RAQUI COMO INSUMO PARA LA TOMA DE
DECISIONES EN LA PLANIFICACIÓN DEL SANTUARIO DE LA
NATURALEZA TUBUL-RAQUI**

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

POR: Bárbara Carvajal Hermosilla

Profesora Guía: Dra. Paula Meli

Mayo, 2025

Concepción, Chile

© 2025, Bárbara Carvajal Hermosilla

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

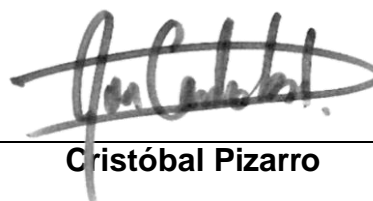
PRIORIZACIÓN ESPACIAL DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DEL
HUMEDAL TUBUL-RAQUI



Profesora Guía

Paula Meli

Profesora Asistente
Bióloga, Ph. D.



Profesor Guía

Cristóbal Pizarro

Profesor Asociado
Médico Veterinario Ph. D.

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación está dedicado a mi madre y padre, quienes concluyen conmigo el esfuerzo de años de educación superior de sus cuatro hijas.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a quienes participaron de esta investigación, actores locales y profesionales del área del medio ambiente, y a mis amigos y familiares que con su apoyo me impulsaron a finalizar esta linda etapa.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
I INTRODUCCIÓN	1
II METODOLOGÍA	5
2.1 Área de estudio	5
2.2 Identificación de SSEE.	8
2.3 Capacidad potencial de las coberturas de proveer SSEE.	9
2.4 Áreas de alto valor para la provisión de SSEE.	11
III. RESULTADOS	14
3.1 Identificación de SSEE.	14
3.2 Capacidad potencial de provisión de servicios ecosistémicos.	17
3.3 Áreas de alto valor para la provisión de SSEE.	34
IV. DISCUSIÓN	39
V. CONCLUSIONES	42
VII. BIBLIOGRAFÍA	45
VIII. APÉNDICE	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Superficies en hectáreas y porcentajes de las coberturas de uso de suelo para el año 2022 del área de estudio.	8
Tabla 2.2. Escala de clasificación de la oferta de Servicios Ecosistémicos información extraída de Burkhard (2017).	11
Tabla 2.3. Escala para comparaciones por pares, extraído de Saaty (1995)	12
Tabla 3.1. Servicios ecosistémicos presentes en el Humedal Tubul-Raqui seleccionados para este trabajo y su abreviación para este estudio.	16
Tabla 3.2. Matriz de Burkhard promedio respecto a la capacidad de las coberturas de uso de suelo para proveer los SSEE.	18
Tabla 3.3. Ponderación final matriz de Saaty.	37
Tabla 8.1 Promedio de matrices de Saaty evaluada por expertos.	48

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 2.1. Área de estudio, comuna de Arauco, Región del Biobío.	6
Figura 2.2. Coberturas y usos del suelo al año 2022 para el área de estudio.	7
Figura 3.1. Mapa de la capacidad potencial de las coberturas de proveer plantas terrestres cultivadas con fines nutricionales (incluidos hongos, algas).	21
Figura 3.2. Mapa de la capacidad potencial de las coberturas de proveer fibras y otros materiales de plantas cultivadas, hongos, algas y bacterias para uso directo o procesamiento (excluyendo materiales genéticos).	22
Figura 3.3. Capacidad potencial de provisión de animales criados con fines nutricionales.	23
Figura 3.4. Capacidad potencial de provisión de agua superficial utilizada como material.	24
Figura 3.5. Capacidad potencial de provisión de agua subterránea para beber.	25
Figura 3.6. Capacidad potencial de biorremediación por microorganismos, algas, plantas y animales.	26
Figura 3.7. Capacidad potencial del control de las tasas de erosión.	27
Figura 3.8. Mapa de la capacidad potencial de las coberturas de regular el ciclo hidrológico y los caudales de agua (incluyendo control de inundaciones).	28
Figura 3.9. Capacidad potencial de mantenimiento de las poblaciones y los hábitats (incluyendo la protección del acervo genético).	29
Figura 3.10. Capacidad potencial de regulación de la condición química de las aguas dulces por procesos vivos.	30
Figura 3.11. Características de los sistemas vivos que permiten actividades que promueven la salud, la recuperación, o el disfrute a través de la observación pasiva o interacciones.	31
Figura 3.12. Capacidad potencial de las coberturas de proveer característica de los sistemas vivos que permiten la investigación científica o la creación de conocimientos ecológicos tradicionales.	32
Figura 3.13. Capacidad potencial de las coberturas de provisión de elementos de los sistemas vivos que tienen un significado sagrado o religioso.	33

Figura 3.14. Mapa de la capacidad potencial de las coberturas de proveer los SSEE priorizado en Zonation visualizado en 10 clases, sin ponderación de expertos. 34

Figura 3.15. Áreas de alto valor para la provisión de SSEE en el humedal Tubul-Raqui. 38

RESUMEN

El humedal Tubul-Raqui, ubicado en el Golfo de Arauco, tiene 2.400 hectáreas de extensión, y constituye un importante humedal para la provisión de servicios ecosistémicos de regulación, aprovisionamiento y culturales a sus habitantes aledaños. Presenta coberturas variadas, como marismas medias y bajas, y lagunas tanto dulceacuícolas como salinas, coberturas que han visto cambios en sus usos debido a causas antrópicas. El presente estudio buscó identificar las áreas de mayor valor en proveer servicios ecosistémicos en el humedal Tubul-Raqui. Para esto, se identificaron 13 servicios ecosistémicos, se evaluó con expertos la capacidad potencial de las coberturas de proveer estos servicios y se realizó una ponderación para priorizarlos. Los 13 SSEE fueron mapeados. Se obtuvo que el 10% de las zonas más prioritarias para proveer SSEE corresponden a los cuerpos de agua como zonas de marisma media y baja con lagunas, y bosque nativo con matorral mixto. Es en estos sitios donde se proveen servicios con mayor priorización según expertos, como los de provisión de agua subterránea para beber, agua utilizada como material, y el servicio de mantenimiento del ciclo hidrológico y regulación de caudales de agua. Para asegurar la continuidad de estos servicios es clave educar a la población y comprender cómo estos ecosistemas cambian espacial y temporalmente para un mejor manejo por los tomadores de decisiones.

Palabras clave: humedales costeros, servicios ecosistémicos, priorización espacial.

ABSTRACT

The Tubul-Raqui wetland, is in the Gulf of Arauco and spanning approximately 2,400 hectares, is a significant coastal wetland that provides a lot of ecosystem services—regulating, maintenance, provisioning, and cultural—to nearby communities. It features diverse land cover types, including mid and low salt marshes and both freshwater and saline lagoons. These areas have undergone land-use changes due to anthropogenic pressures. This study aimed to identify the areas of highest value for ecosystem service provision within the Tubul-Raqui wetland. Thirteen ecosystem services were selected, and expert judgment was used to evaluate the potential of different land cover types to provide these services. A weighting process was then applied to support their spatial prioritization. Results indicated that the top 10% of priority areas for service provision are primarily associated with water bodies, such as mid and low marsh zones with lagoons, and native forest with mixed shrubland. According to expert evaluation, these areas are especially important for services like groundwater provision for drinking, water used as material, and the maintenance of the hydrological cycle and flow regulation. To ensure the continued provision of these ecosystem services, it is essential to promote public education and improve understanding of how these ecosystems change spatially and over time, thereby supporting more informed decision-making by stakeholders.

Keywords: coastal wetlands, ecosystem services, spatial prioritization.

I INTRODUCCIÓN

La Convención de Ramsar define los humedales como “las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros” (Ramsar 2006). Estos ecosistemas son importantes por su biodiversidad única y su valor cultural, así como por los servicios ecosistémicos (SSEE) que brindan a las comunidades locales y al país en general, como proveer agua dulce, alimentos y recursos, controlar las crecidas, y son el hogar de muchas especies de flora y fauna. En Chile, los humedales costeros son particularmente importantes para la pesca artesanal y la agricultura (MMA 2017a). Algunos beneficios para la pesca artesanal en Chile son que actúan como zonas de reproducción, alimentación y refugio para numerosas especies de peces y mariscos, además, contribuyen a la seguridad alimentaria y a la economía local (Oliva 2021).

La Clasificación común internacional de Servicios de los Ecosistemas (CICES) define los servicios ecosistémicos como “las contribuciones que los ecosistemas hacen al bienestar humano”, y los clasifica en tres categorías principales: servicios de aprovisionamiento, regulación y mantenimiento, y culturales (Haines-Young 2018). Es precisamente por la gran cantidad de SSEE que provienen de

los humedales costeros que es importante identificar las áreas de mayor relevancia que los proveen, para así educar a la comunidad y a los tomadores de decisiones y poder dirigir los esfuerzos de conservación y restauración a esas áreas.

En la Región del Biobío, uno de los grandes representantes de estos ecosistemas es el humedal Tubul-Raqui, considerado el más importante de la región debido a su gran extensión que es hábitat de una importante biodiversidad de especies (Valdovinos et al., 2012). Además, este humedal es reconocido como sitio prioritario para la Ruta Migratoria del Pacífico en América, de aves playeras, dentro de la Estrategia de Conservación de las Aves Playeras de la Ruta del Pacífico de las Américas y también globalmente es reconocido como sitio AICAS (Área Importante para la Conservación de Aves), descrito como tal por el Consejo de Monumentos Nacionales en su sitio oficial. Por otra parte, debido a su biodiversidad, el humedal Tubul-Raqui también es uno de los 40 humedales del país que fueron considerados prioritarios en su primera etapa el Plan Nacional de Protección de Humedales 2018-2022. Además, a nivel regional es uno de los sitios prioritarios establecidos en la Estrategia Regional para la Conservación de la Biodiversidad de la región del Biobío y Política Regional de Biodiversidad (MMA 2017b).

A pesar de la gran cantidad de beneficios de estos ecosistemas a las comunidades, en la actualidad, se ha visto como algunos humedales han sufrido efectos negativos a causa del cambio climático, la sequía, y la pérdida de hábitat para la flora y fauna, así como otros efectos (MMA 2018). El humedal Tubul-Raqui presenta amenazas a su biodiversidad como la caza de aves y la deforestación de las cuencas que afecta la sedimentación de los ríos Tubul y Raqui (Valdovinos et al., 2010). Por otro lado, existe drenado de sectores húmedos, invasión de especies introducidas y quema de pajonales. El deterioro de estos ecosistemas pone en riesgo a sistemas claves de apoyo a la vida, y hace aún más difícil alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (UICN 2022).

En este contexto, la priorización espacial es cada vez más importante para definir áreas prioritarias para la conservación de los ecosistemas naturales. Numerosos estudios han demostrado la importancia de la priorización en la gestión de los humedales costeros. Por ejemplo, una investigación realizada por Villarreal et al. (2019) muestra que la priorización basada en criterios múltiples puede ayudar a identificar áreas críticas para la conservación y la restauración de los humedales costeros en Chile. Además, otra investigación de San Martín (2020) destaca la necesidad de priorizar la restauración de humedales costeros degradados para aumentar su resiliencia y mejorar su capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos.

Es así como el presente trabajo tiene como objetivo general identificar áreas prioritarias que proveen los servicios ecosistémicos del humedal Tubul-Raqui. Entre los objetivos específicos se plantean: (i) identificar SSEE que se proveen en el sitio, (ii) evaluar la capacidad potencial de las coberturas de proveer los SSEE con expertos e, (iii) identificar las áreas de alto valor de provisión de SSEE en el humedal.

II METODOLOGÍA

2.1 Área de estudio

El área de estudio corresponde al humedal Tubul-Raqui (Figura 1), el cual es un humedal costero, de tipo marisma y ribereño, donde existe un marcado gradiente de salinidad como consecuencia de la transición entre las aguas continentales y marinas costeras (Long & Mason 1983). Se ubica en el golfo de Arauco ($37^{\circ}13'S$, $73^{\circ}26'O$), tiene una superficie de 2.400 hectáreas aproximadamente y se sitúa en la cuenca de los ríos Tubul y Raqui, comuna de Arauco, región del Biobío. Las coberturas y usos ocupados en esta investigación son de elaboración propia para el año 2022 (Tabla 1; Figura 1). Las coberturas con mayor área corresponden a humedal con marisma medias y bajas con lagunas, y praderas mejoradas para ganadería y cultivos

La región posee un clima cálido con lluvias invernales y humedad atmosférica, con precipitaciones que van entre los 1.200 y 1.500 mm de agua de forma anual (Arauco 2016). Por su parte la cuenca del humedal Tubul-Raqui se sitúa sobre remanentes de terrazas marina, y tiene un régimen micromareal, con aportes estacionales de agua dulce, donde el río Raqui mayormente aporta con agua dulce, el cual tiene aproximadamente 15 kilómetros de largo con profundidades máximas de 2 m, y por otro lado el, el río Tubul constata mayor influencia marina

y de sus 19 kilómetros aproximados de largo, los primeros 6 km tienen mayor influencia de la pleamar. (Valdovinos *et al.* 2012).

Dentro de las actividades económicas principales es relevante la pesca artesanal y la extracción de recursos bentónicos, siendo hoy la caleta Tubul aledaña al humedal costero, el principal sitio de desembarco para la comuna de Arauco (Arauco 2016).

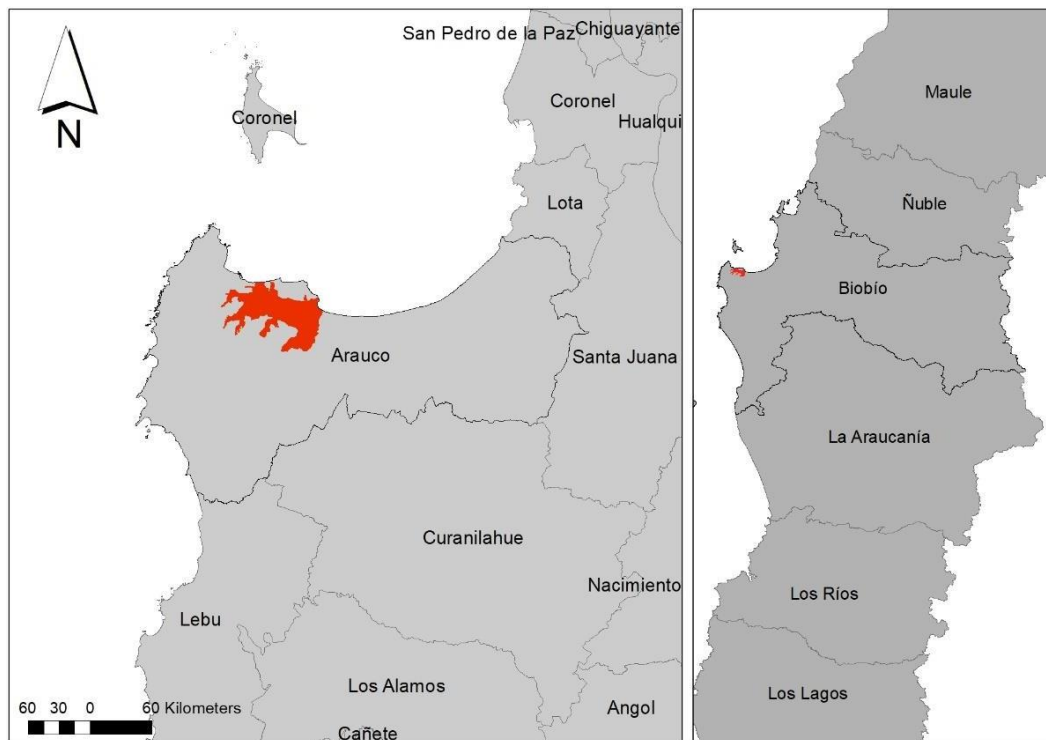


Figura 1. Área de estudio en color rojo ubicada en la comuna de Arauco, Región del Biobío.

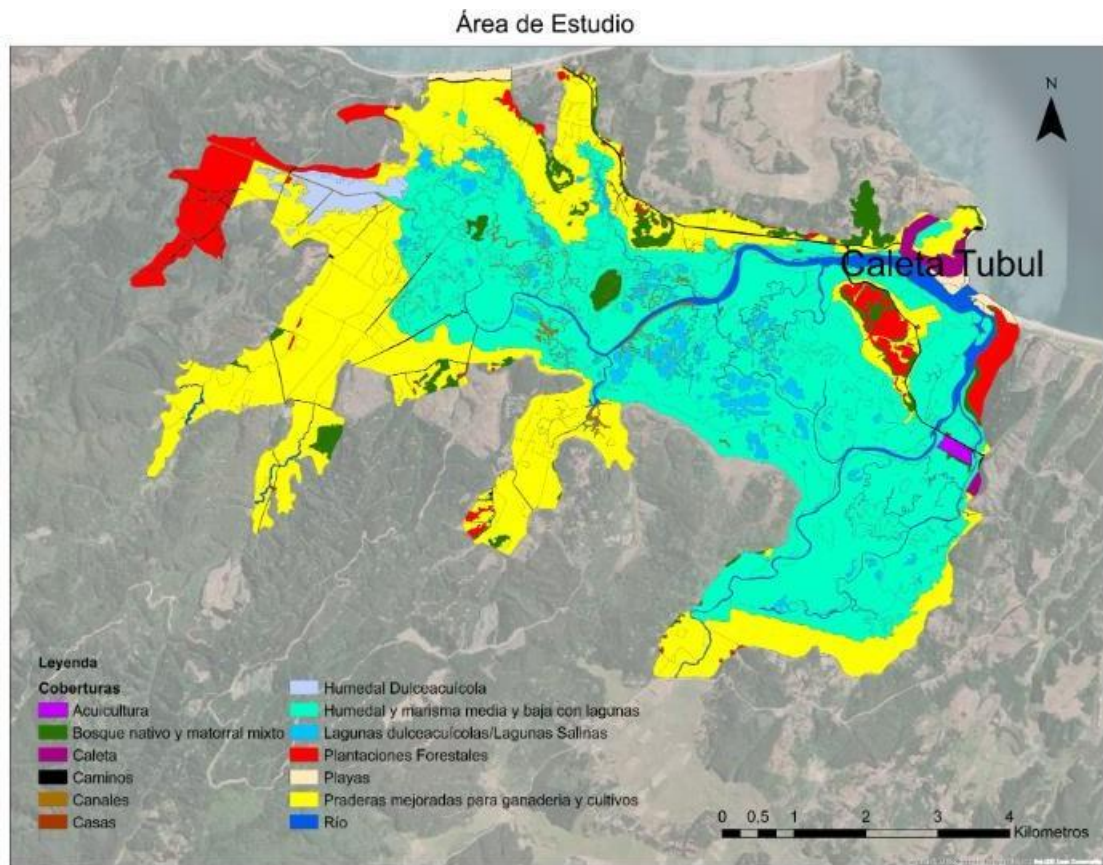


Figura 2. Coberturas y usos del suelo al año 2022 para el área de estudio.

Tabla 1. Superficies en hectáreas y porcentajes de las coberturas de uso de suelo para el año 2022 del área de estudio.

Coberturas	Superficie (ha)	Superficie (%)
Acuicultura	9,81	0.20
Bosque nativo y matorral mixto	159,11	3.24
Caleta	36,79	0.75
Caminos	40,99	0.84
Canales	38,95	0.79
Casas	9,11	0.19
Humedal dulceacuícola	71,58	1.46
Humedal y marisma media y baja con lagunas	2.268,45	46.25
Lagunas dulceacuícolas / Lagunas salinas	171,93	3.51
Plantaciones forestales	272,10	5.55
Playas	36,73	0.75
Praderas mejoradas para ganadería y cultivos	1.620,49	33.04
Río	169,12	3.45
Total	4.905,16	100

2.2 Identificación de SSEE.

Los SSEE se identificaron por dos vías (i) a través de una entrevista con actores claves y (ii) mediante revisión de literatura principalmente de Valdovinos et al. (2012) y Marín et al. (2014), que corresponden a investigaciones previas en el área de estudio, y por otra parte del Plan de Desarrollo Comunal de Arauco 2016-2019 y el expediente técnico Solicitud de declaración "Santuario de la Naturaleza Humedal Tubul-Raqui".

Respecto a las entrevistas, los actores claves fueron informados del uso de la información y dieron su consentimiento para la utilización de ésta. Se entrevistó a tres actores claves de la localidad de Tubul, quienes tenían el cargo de presidentes de junta de vecinos, de San José de la Dehesa, Villa Sol Naciente y la junta de vecinos N°11 respectivamente. Fueron encontrados gracias a la gestión de contacto con un experto que participó de esta investigación y conocía a un actor clave, y contactados y entrevistados por llamada. Las preguntas que se les realizaron fueron las siguientes:

- a) ¿Qué problemas ambientales detecta?
- b) ¿Considera que el humedal proporciona a los habitantes de la localidad ciertos beneficios? tales como: espacios de recreación para descanso o contemplación, agua para consumo, agua para otros usos, importancia espiritual, prevención de sequías en verano, prevención de inundaciones, espacios para agricultura, ganadería u otros.
- c) ¿Cuál o cuáles de los beneficios anteriores considera más importantes?
- d) ¿Qué mejoras medioambientales le interesaría implementar en el humedal?

2.3 Capacidad potencial de las coberturas de proveer SSEE.

Para evaluar la capacidad potencial se consultó con cinco expertos, quienes fueron escogidos por su experiencia y nivel de conocimientos en el área de estudio todos profesionales del área ambiental, ponderaron los SSEE cada uno en una matriz de Burkhard y se realizó con la información una matriz promedio que resulta de sacar el promedio por cada celda de las cinco matrices. La matriz valoriza en este caso, la capacidad potencial que tienen las coberturas de proveer los SSEE y tiene una escala de medición que va de 0 a 5 (Tabla 2). Cuando es 0, corresponde a “no relevante” lo cual no significa necesariamente cero absolutos, sino que el servicio simplemente no se percibe como relevante para el bienestar humano, y por el contrario cuando es 5, se considera muy relevante para el bienestar humano. Finalmente, los valores de la matriz promedio se agregaron a la tabla de atributos de las coberturas de uso de suelo en el software ArcGIS 10.8 y se obtuvieron 13 mapas que muestran la capacidad potencial de las coberturas de proveer los SSEE.

Tabla 2. Escala de clasificación de la oferta de Servicios Ecosistémicos información extraída de Burkhard (2017).

Escala de Clasificación	Significado
0	No relevante
1	Muy bajo
2	Bajo
3	Medio
4	Alta
5	Muy alta

2.4 Áreas de alto valor para la provisión de SSEE.

La identificación de áreas de alto valor se lleva a cabo mediante la utilización de herramientas como los Sistemas de Información Geográficos (SIG), en este caso softwares como ArcGIS y Zonation. Por lo tanto, una vez obtenidos los 13 mapas de provisión potencial de los SSEE por cobertura, se ingresaron al software Zonation v4, el cual permite priorizar espacial y sistemáticamente considerando múltiples capas espaciales de información, como en este caso, y en este software se hicieron dos ejecuciones, la primera, con los 13 mapas, sin ponderación de los SSEE por expertos y se obtuvo un mapa priorizado de las zonas de alto valor para proveer potencialmente los SSEE por coberturas, y la segunda ejecución incluyó un valor extra, la ponderación de seis expertos sobre una matriz de Saaty, también seis profesionales del área del medio ambiente con conocimientos sobre el ecosistema de estudio. Ésta matriz pondera haciendo comparaciones por

pares, un Proceso Analítico Jerárquico, en este caso evaluando cuando SSEE es más importante que el otro y cada uno realizó la evaluación de forma separada en base a la escala de medición de Saaty (1995) (Tabla 3).

Tabla 3. Escala para comparaciones por pares donde se evalúa la importancia relativa entre dos elementos, extraído de Saaty (1995).

Valor	Escala verbal
1	Igual importancia
3	Moderada importancia de uno sobre el otro
5	Fuerte importancia de uno sobre el otro
7	Muy fuerte importancia de uno sobre el otro
9	Extrema importancia de uno sobre el otro
2, 4, 6, 8	Valores intermedios
Recíprocos	Recíprocos para comparación inversa

Una vez obtenidas las matrices se realizó un análisis de consistencia, sugerido en Saaty (1995) lo que permite evaluar la coherencia interna de los juicios de cada uno para asegurar que las decisiones sean razonables y no arbitrarias. Para esto se calculó como sugiere Saaty (1995) el Índice de Consistencia (IC) y el Índice de Consistencia Relativa (CR) que se comparó con el umbral recomendado por Saaty, el cual si es menor a 0.1 se consideran juicios consistentes, por el contrario, si es mayor tiene inconsistencias. Por lo que una vez estando consistentes, se obtuvo la ponderación final de los expertos de la

matriz promedio, que se obtuvo calculando el promedio por celda de las seis matrices. Estas ponderaciones se ingresaron en el software Zonation, en la columna "Weight" de cada uno de los mapas de capacidad de provisión obtenidos en el paso anterior, resultando un mapa con zonas priorizadas para proveer los SSEE, el cual igualmente se categorizó en 10 clases para una mejor interpretación.

III. RESULTADOS

3.1 Identificación de SSEE.

Respecto a la búsqueda de literatura sobre los SSEE se identificó de Valdovinos et al. (2012) los SSEE que hacen relación al control de inundaciones, recarga de aguas subterráneas, depuración de aguas, reservas para la biodiversidad, estabilización de costas, protección contra tormentas, retención y exportación de sedimentos y nutrientes, valores culturales y mitigación y adaptación al cambio climático. Por otra parte, Marín et al. (2014) desarrolla un estudio sobre las percepciones de los SSEE previo y posterior al terremoto y tsunami del 27 de febrero del año 2010, donde se evaluaron 25 SSEE.

De las respuestas de los actores clave, al respecto de los SSEE que perciben les entrega el humedal destacan principalmente su valor paisajístico, y la recreación desde el ámbito turístico para quienes gustan de observar aves debido a la gran diversidad de avifauna presente. También se destaca de igual forma el valor sagrado y espiritual que tiene para la comunidad mapuche lafkenche cercana ya que se menciona "son ellos quienes más cuidan la naturaleza". Concuerdan en que no se utiliza para el consumo humano el agua directamente desde el humedal, y también en que ayuda a prevenir inundaciones. Respecto a la

provisión de alimentos cultivados, se menciona que es poco lo que se observa y que se ve ganado pastoreando en algunas zonas. Respecto al turismo, existen opiniones diferentes respecto a sus percepciones sobre si el turismo es bueno para la zona, ya que por una parte se menciona que serviría para potenciar la caleta Tubul en el ámbito económico, pero también podría aumentar la contaminación aún más si aumenta el turismo, debido a la falta de organización en el saneamiento de la caleta y falta de lugares para recibir a los turistas. Finalmente, para propósitos de este estudio se identificaron 13 SSEE homologados a las clases CICES (Tabla 1), eligiendo los que coincidían tanto en la revisión bibliográfica como en las entrevistas con actores claves.

Tabla 1. Servicios ecosistémicos identificados en el Humedal Tubul-Raqui seleccionados para este trabajo y su abreviación para este estudio.

Tipo de Servicio	Clase CICES	Abreviación para este trabajo
Provisión	Plantas terrestres cultivadas con fines nutricionales (incluidos hongos, algas).	Plantas terrestres
	Fibras y otros materiales de plantas cultivadas, hongos, algas y bacterias para uso directo o procesamiento (excluyendo materiales genéticos).	Fibras
	Animales criados con fines nutricionales.	Animales criados
	Agua superficial utilizada como material.	Agua material
	Agua subterránea para beber	Agua beber
	Regulación y mantenimiento	Biorremediación por microorganismos, algas, plantas y animales.
Control de las tasas de erosión.		Control de erosión
Ciclo hidrológico y regulación de caudales de agua (incluyendo control de inundaciones).		Regulación de caudales
Mantenimiento de las poblaciones y los hábitats de los viveros (incluyendo la protección del acervo genético).		Mantenimiento de poblaciones
Regulación de la condición química de las aguas dulces por procesos vivos.		Regulación química
Cultural	Características de los sistemas vivos que permiten actividades que promueven la salud, la recuperación, o el disfrute a través de la observación pasiva o interacciones.	Actividades de salud
	Característica de los sistemas vivos que permiten la investigación científica o la creación de conocimientos ecológicos tradicionales.	Investigación científica
	Elementos de los sistemas vivos que tienen un significado sagrado o religioso.	Significado religioso

3.2 Capacidad potencial de provisión de servicios ecosistémicos.

Como se describió en la sección anterior, para obtener la capacidad potencial de provisión de los SSEE se obtuvo un promedio de las matrices que se muestra a continuación en la siguiente sección (Tabla 2), y luego esta matriz en el programa ArcGIS permitió obtener los mapas por cada SSEE resultando en 13 mapas de provisión potencial (Figuras 3 a 15).

3.2.1. Matriz Burkhard promedio de la evaluación de expertos.

De la matriz (tabla 2) se puede observar en la fila de la cobertura "humedal y merisma media y baja con lagunas" y la cobertura "bosque nativo y matorral mixto" tiene en su mayoría las valoraciones más altas, donde 11 y 10 respectivamente, de los 13 SSEE evaluados, tienen valoración sobre "3" en la escala de medición donde el valor más alto es 5, que significa mayor relevancia para el bienestar humano para proveer el SSEE según los expertos, y cabe resaltar que todos respondieron de forma separadas y sin ver las matrices de los otros. Por otra parte, las otras dos coberturas con valoraciones más altas son "ríos" y "lagunas dulceacuícolas y salinas" ambas con 7 SSEE de 13, valorados sobre "3".

Tabla 2. Matriz de Burkhard promedio respecto a la capacidad de las coberturas de uso de suelo para proveer los SSEE identificados en el humedal Tubul-Raqui

	Plantas Terrestres	Fibras	Animales Criados	Agua material	Agua beber	Biorremediación	Control de erosión	Regulación de caudales	Mantenimiento de poblaciones	Regulación química	Actividades de salud	Investigación científica	Significado religioso
Praderas mejoradas para ganadería y cultivos	5	4	5	0	0	0	0	1	1	0	2	1	0
Bosque nativo y matorral mixto	3	4	1	0	3	3	5	4	4	4	4	4	5
Plantaciones forestales	2	5	1	1	1	1	2	1	1	0	1	1	0
Humedales y marismas medios	1	0	3	4	4	4	3	5	4	3	5	4	3

baja con lagunas													
Rio	0	0	3	4	4	1	0	4	2	1	5	5	5
Lagunas dulceacuí	0	0	2	4	2	3	0	4	4	3	4	4	3
colas y salinas													
Canales	0	0	0	5	1	1	0	2	3	1	1	2	0
Humedal dulceacuí	0	0	0	3	4	4	3	5	4	4	5	4	3
cola													
Playa	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	5	4	3
Caleta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0
Acuicultura	0	0	2	1	0	0	0	0	3	1	1	0	0

3.2.2. Mapas de capacidad potencial de proveer los SSEE.

Los mapas obtenidos muestran en su leyenda la escala de Burkhard que se ocupó para la evaluación de los expertos la cual va de 0 a 5, y se visualiza cada valor representado en colores que van del rojo al verde oscuro, donde en color rojo se observan las áreas menos relevantes de proveer el servicio evaluado, valor correspondiente a 0, y por el contrario el color verde oscuro tiene la mayor valoración que significa que es un área de alta relevancia para proveerlo. A continuación, se muestran los mapas (Figuras 1 a 12) y se describen las coberturas con mayor capacidad potencial de proveer los SSEEA según la consulta a expertos.

1) SSEE: Plantas terrestres cultivadas con fines nutricionales (incluidos hongos, algas).

Las coberturas de mayor relevancia para proveer el servicio son praderas mejoradas para ganadería y cultivos en primer lugar y luego el bosque nativo con matorral mixto (Fig. 1).

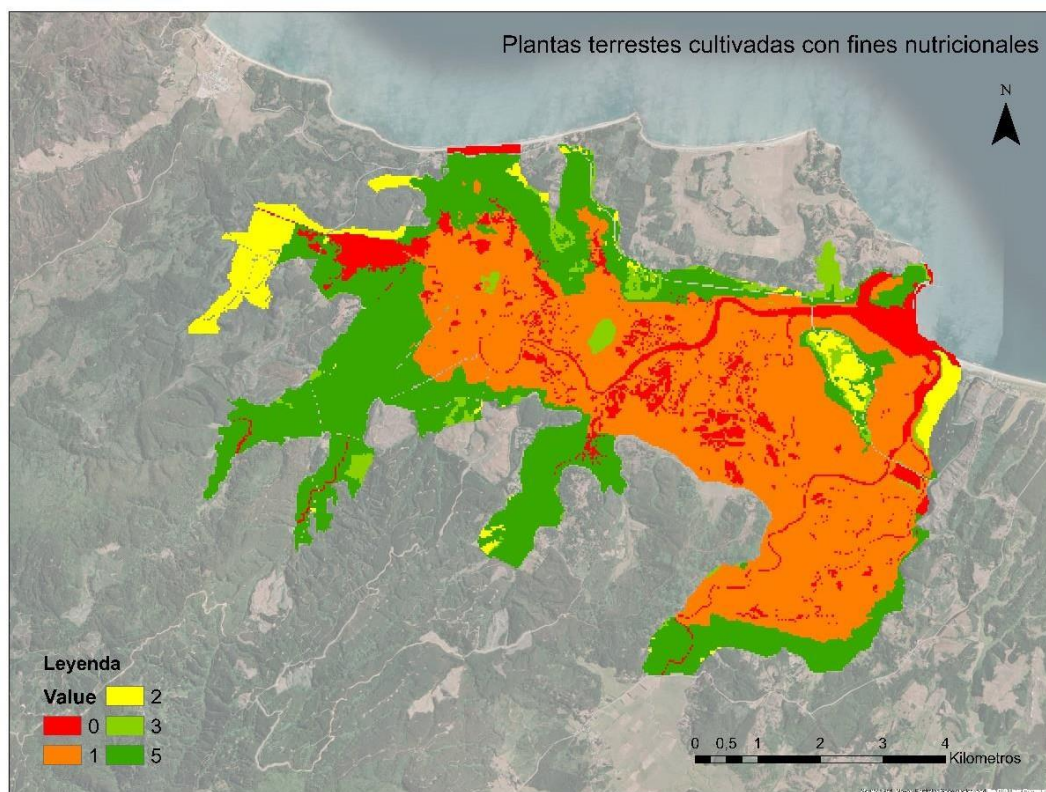


Figura 1. Capacidad potencial de las coberturas de proveer plantas terrestres cultivadas con fines nutricionales (incluidos hongos, algas).

2) SSEE: Fibras y otros materiales de plantas cultivadas, hongos, algas y bacterias para uso directo o procesamiento (excluyendo materiales genéticos).

Las coberturas de mayor relevancia para proveer el servicio son plantaciones forestales en primer lugar y praderas mejoradas para ganadería y cultivo en segundo lugar (Fig. 2).

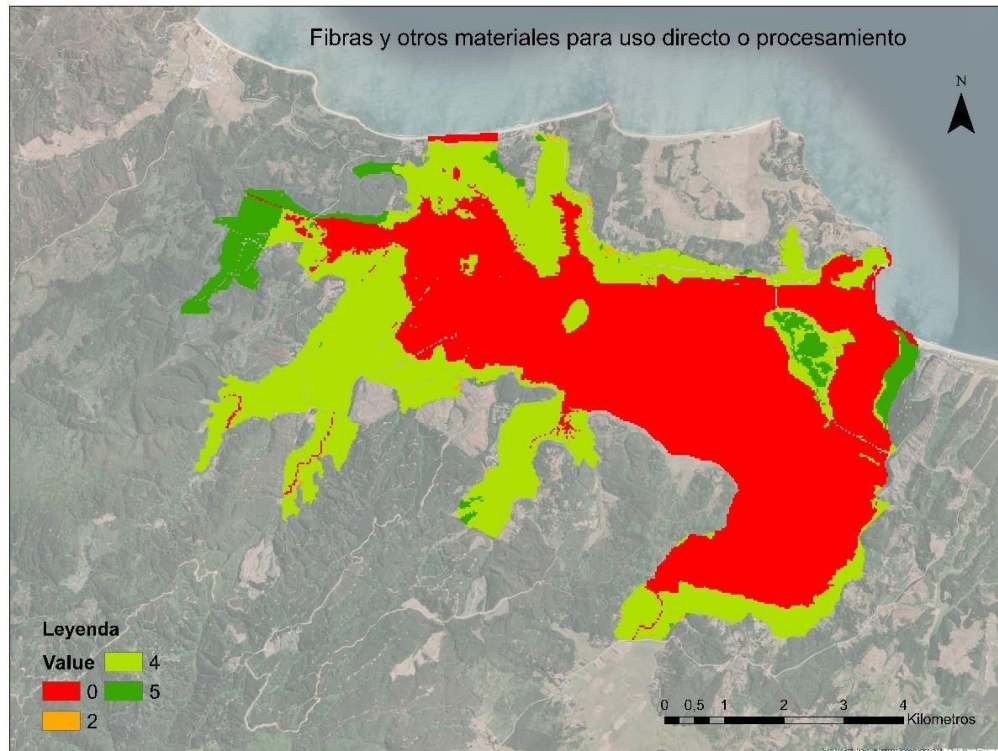


Figura 2. Mapa de la capacidad potencial de las coberturas de proveer fibras y otros materiales de plantas cultivadas, hongos, algas y bacterias para uso directo o procesamiento (excluyendo materiales genéticos).

3) SSEE: Animales criados con fines nutricionales.

La cobertura de mayor relevancia para proveer el servicio es praderas mejoradas para ganadería y cultivos con la más alta capacidad y luego humedal y marisma media y baja con lagunas con ríos (Fig. 3).

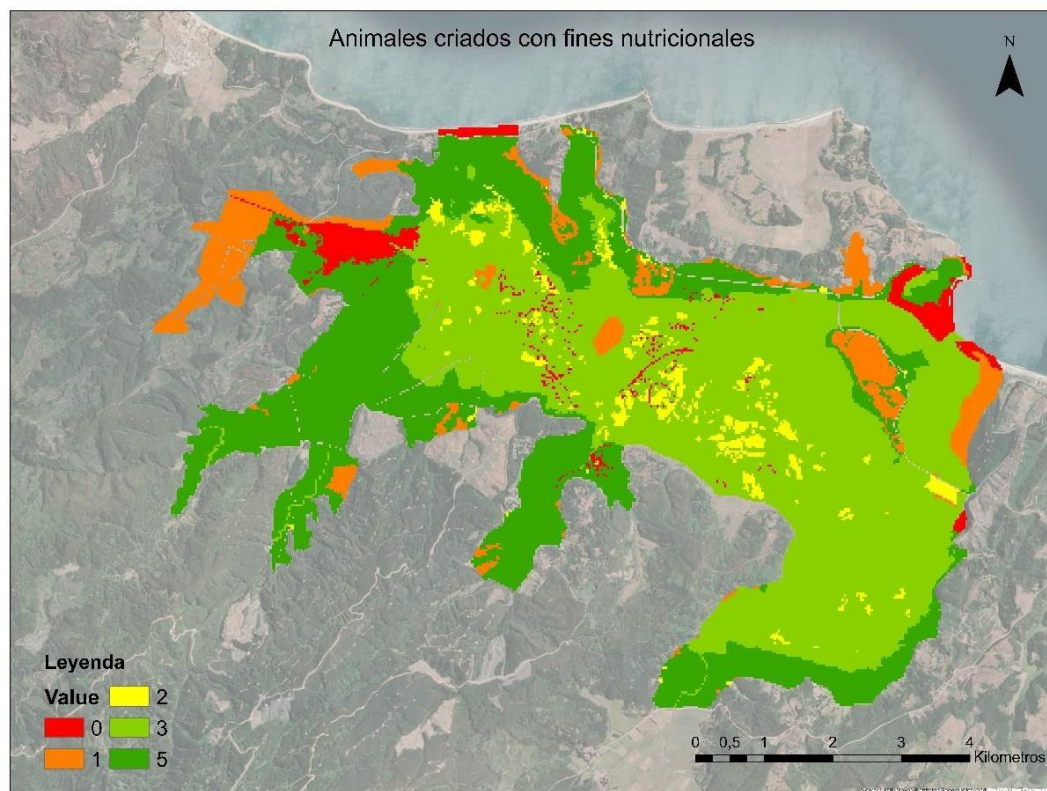


Figura 3. Mapa de la capacidad potencial de las coberturas de proveer animales criados con fines nutricionales.

4) SSEE: Agua superficial utilizada como material.

Las coberturas de mayor relevancia para proveer el servicio son lagunas dulceacuícolas en primer lugar y luego humedal y marisma media y baja con lagunas, ríos y lagunas dulceacuícolas / salinas (Fig. 4).

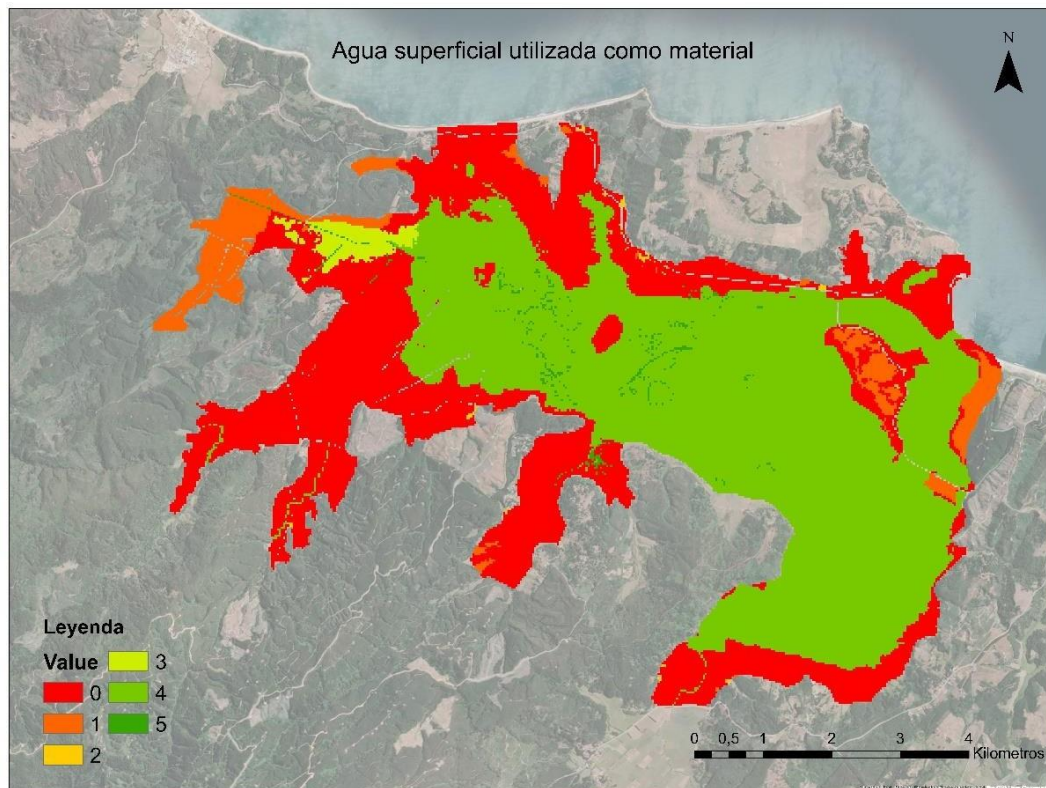


Figura 4. Mapa de la capacidad potencial de las coberturas de proveer agua superficial utilizada como material.

5) SSEE: Agua subterránea para beber.

Las coberturas de mayor relevancia para proveer el servicio son humedal y marisma media y baja con lagunas con humedal dulceacuícola en primer lugar y luego bosque nativo con matorral mixto y ríos (Fig. 5).

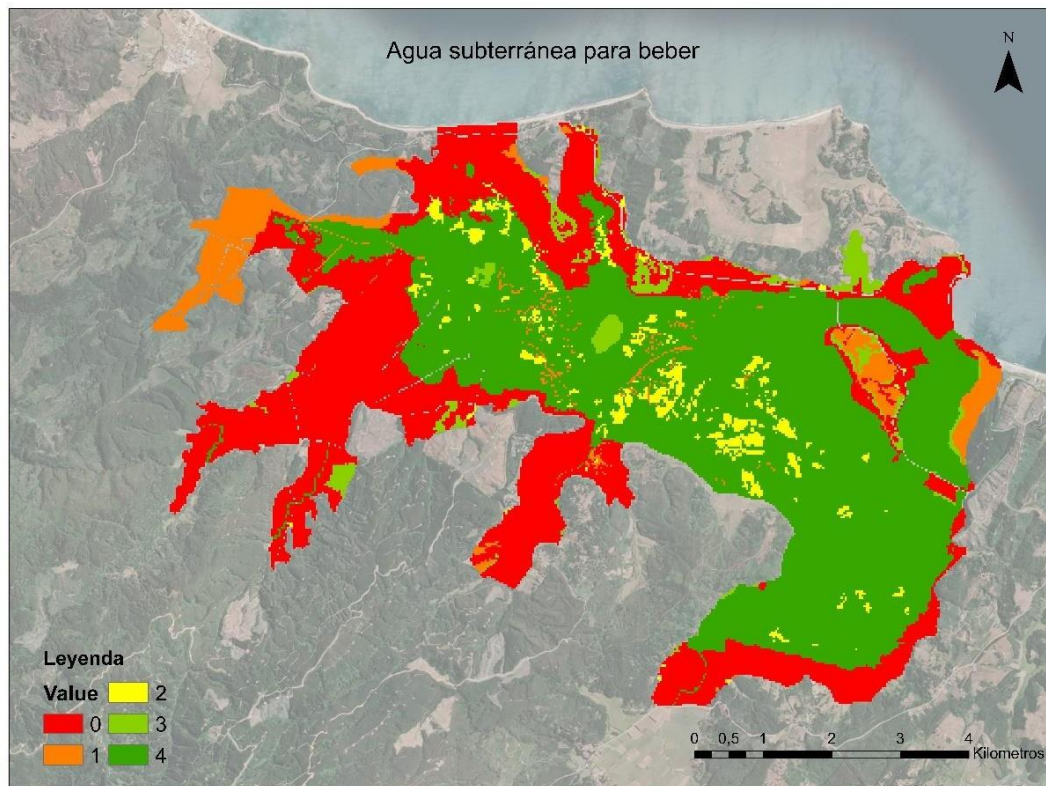


Figura 7. Mapa de la capacidad potencial de las coberturas de proveer agua subterránea para beber.

6) SSEE: Biorremediación por microorganismos, algas, plantas y animales.

Las coberturas de mayor relevancia para proveer el servicio son humedal y marisma media y baja con lagunas con humedal dulceacuícola en primer lugar y luego bosque nativo con matorral mixto (Fig. 6).

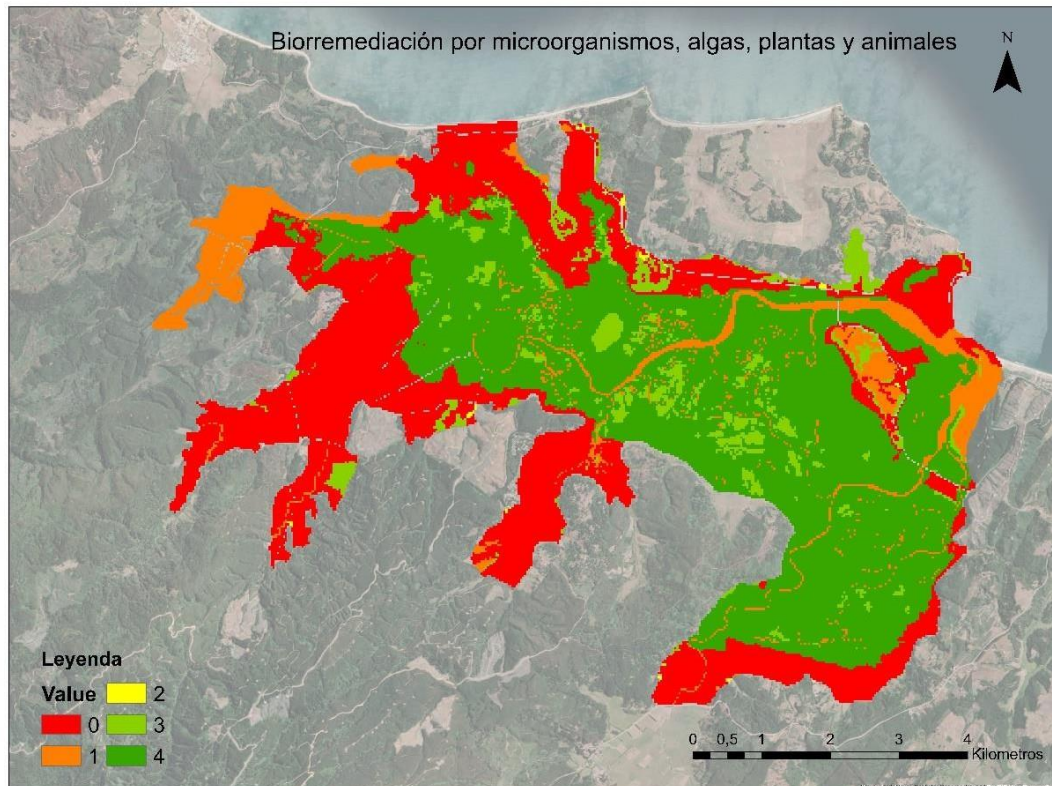


Figura 6. Mapa de la capacidad potencial de las coberturas de proveer biorremediación por microorganismos, algas, plantas y animales.

7) SSEE: Control de las tasas de erosión.

Las coberturas de mayor relevancia para proveer el servicio son bosque nativo con matorral mixto en primer lugar y luego humedal marisma media y baja con lagunas (Fig. 7).

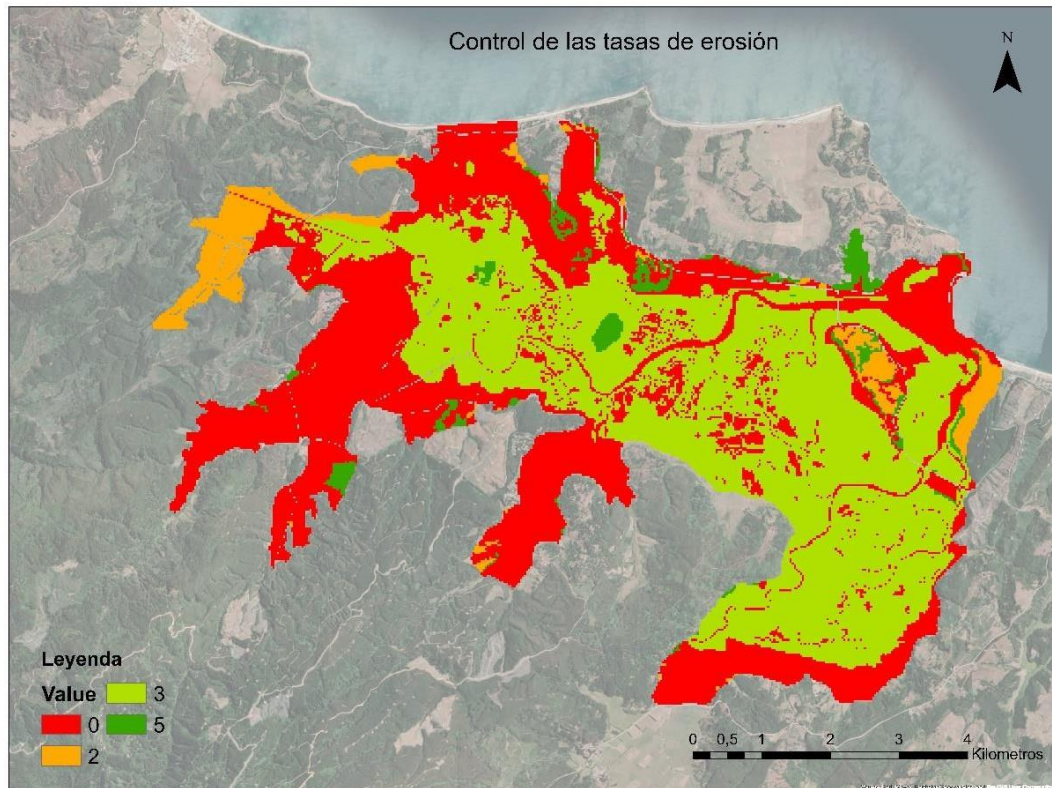


Figura 7. Mapa de la capacidad potencial de las coberturas de proveer control de las tasas de erosión.

8) SSEE: Ciclo hidrológico y regulación de caudales de agua (incluyendo control de inundaciones).

Las coberturas de mayor relevancia para proveer el servicio son humedal y marisma media y baja con lagunas en primer lugar, luego bosque nativo con matorral mixto, ríos y humedal dulceacuícola (Fig. 8).

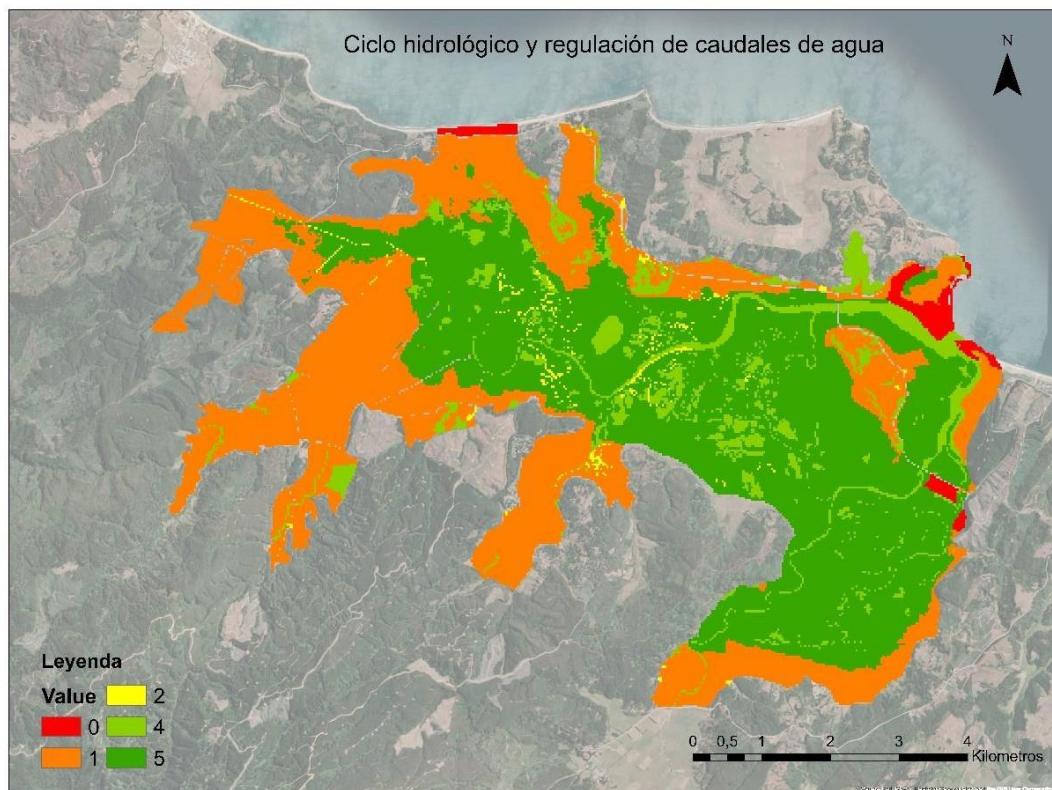


Figura 8. Mapa de la capacidad potencial de las coberturas de regular el ciclo hidrológico y los caudales de agua (incluyendo control de inundaciones).

9) SSEE: Mantenimiento de las poblaciones y los hábitats de los viveros (incluyendo la protección del acervo genético).

Las coberturas de mayor relevancia para proveer el servicio son humedal y marisma media y baja con lagunas, humedal dulceacuícola y bosque nativo, las tres coberturas mencionadas con valoración 5 (Fig. 9).

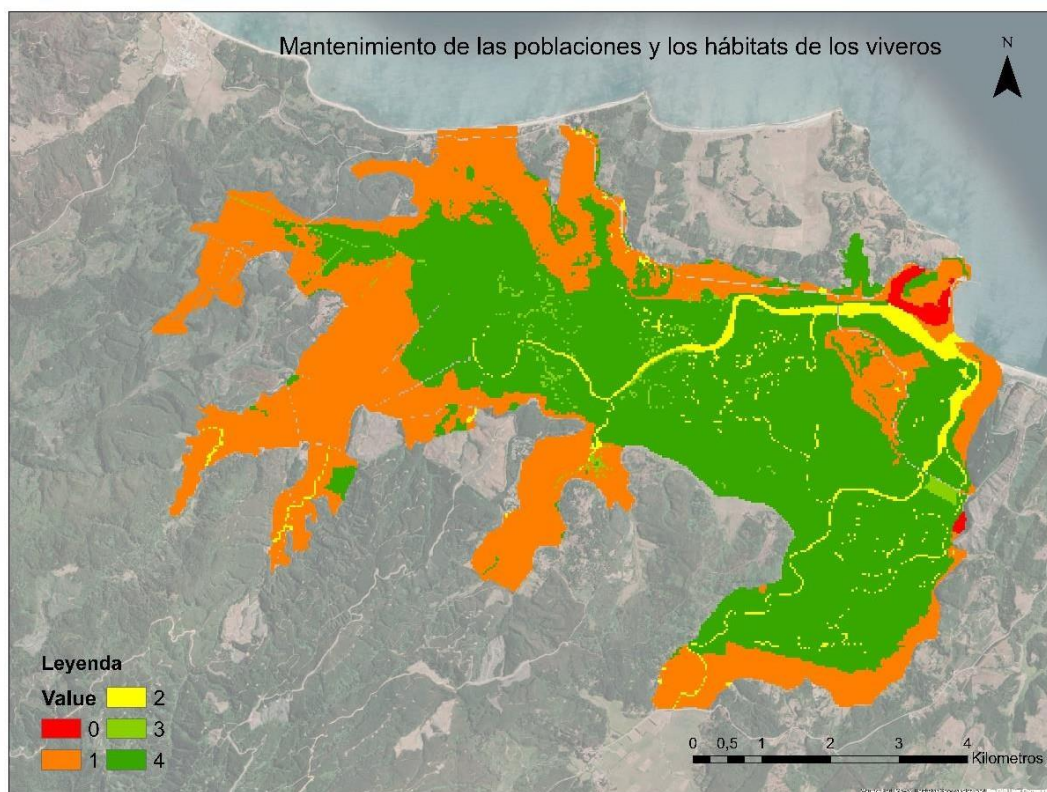


Figura 9. Mapa de la capacidad potencial de las coberturas de mantener las poblaciones y los hábitats de los viveros (incluyendo la protección del acervo genético).

10) SSEE: Regulación de la condición química de las aguas dulces por procesos vivos.

Las coberturas de mayor relevancia para proveer el servicio son bosque nativo en primer lugar y luego el humedal y marisma media y baja con lagunas con humedal dulceacuícola (Fig. 10).

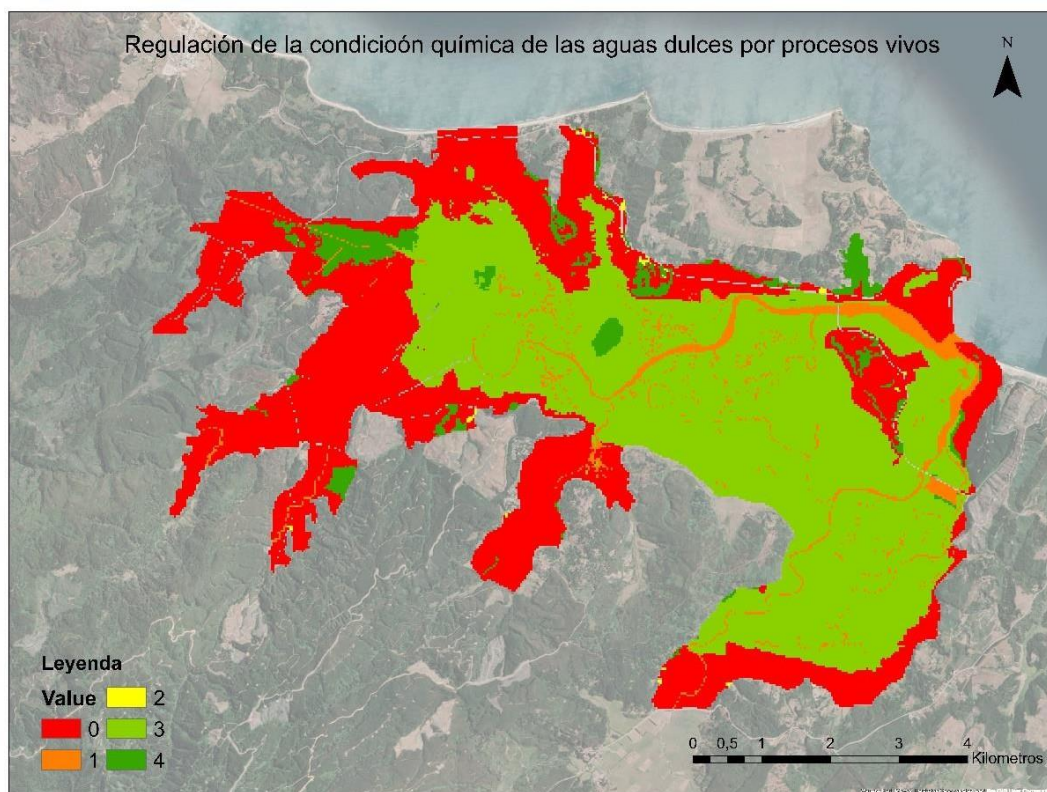


Figura 10. Mapa de la capacidad potencial de las coberturas regular la condición química de las aguas dulces por procesos vivos.

11) SSEE: Características de los sistemas vivos que permiten actividades que promueven la salud, la recuperación, o el disfrute a través de la observación pasiva o interacciones.

Las coberturas de mayor relevancia para proveer el servicio son en primer lugar humedal y marisma media y baja con lagunas, humedal dulceacuícola y ríos y luego bosque nativo con matorral mixto con valoración 4 (Fig. 11).

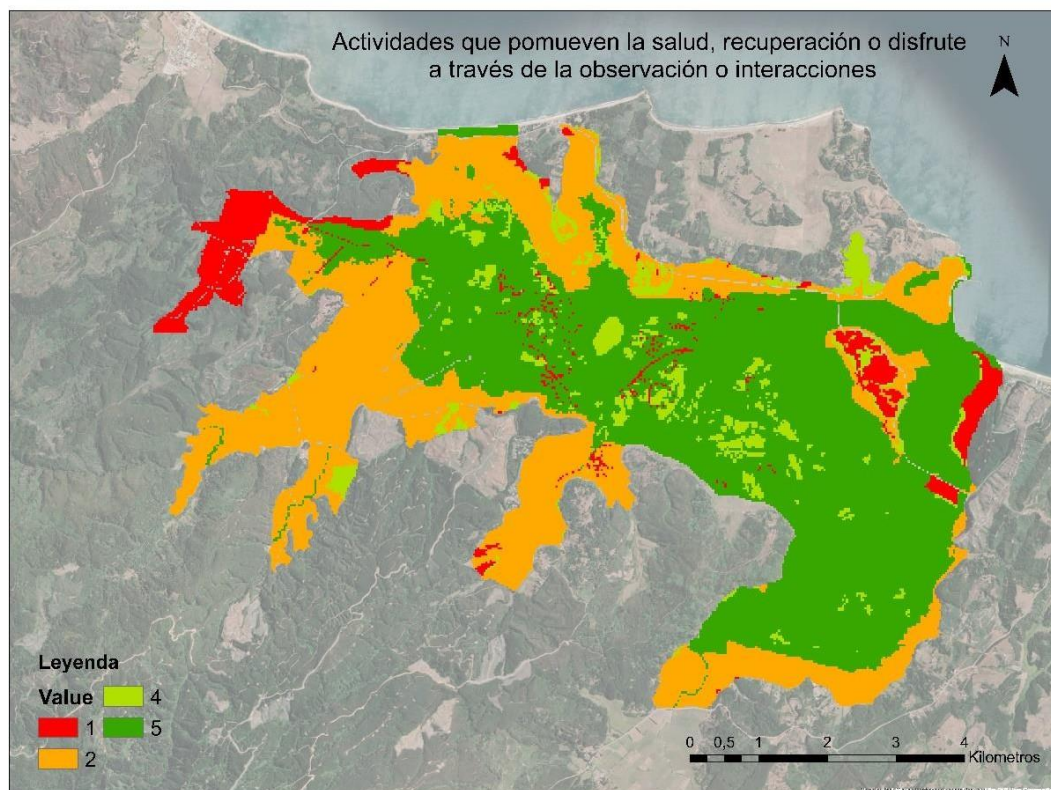


Figura 11. Características de los sistemas vivos que permiten actividades que promueven la salud, la recuperación, o el disfrute a través de la observación pasiva o interacciones.

12) SSEE: Característica de los sistemas vivos que permiten la investigación científica o la creación de conocimientos ecológicos tradicionales.

La cobertura de mayor relevancia para proveer el servicio son los ríos con la mayor valoración y luego el humedal y marisma media y baja con lagunas, lagunas dulceacuícolas, salinas, el humedal dulceacuícola y bosque nativo con matorral mixto en segundo lugar (Fig. 12).

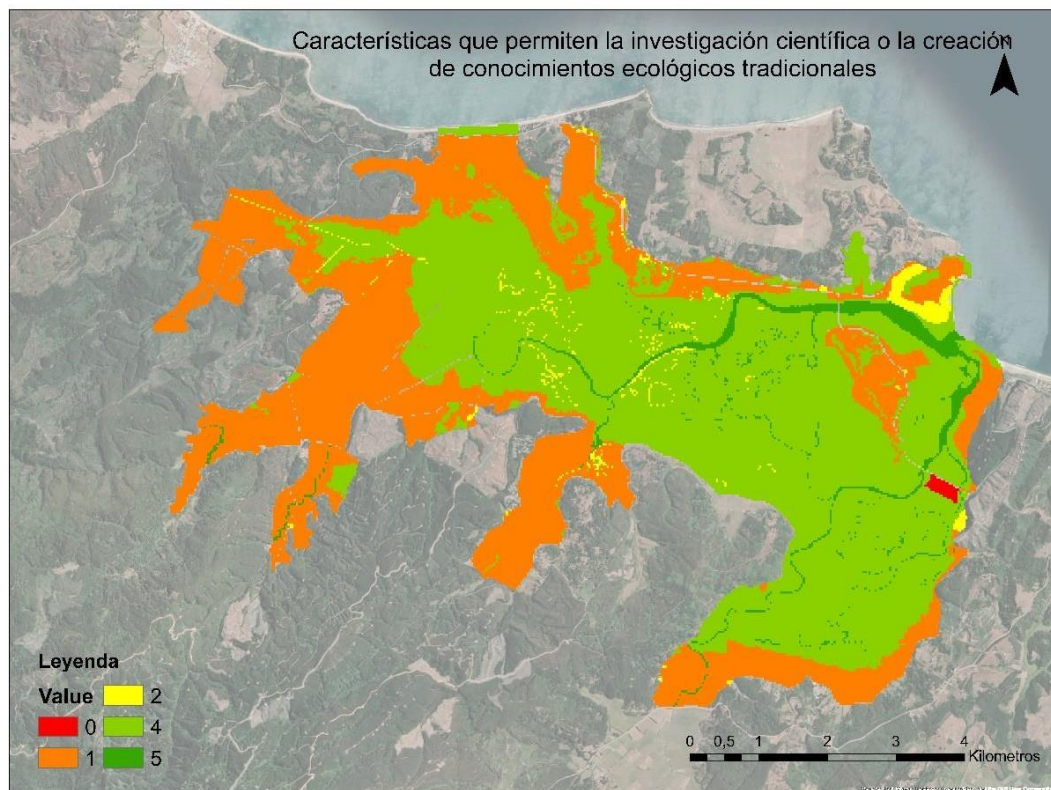


Figura 12. Mapa de la capacidad potencial de las coberturas de proveer característica de los sistemas vivos que permiten la investigación científica o la creación de conocimientos ecológicos tradicionales.

13) SSEE: Elementos de los sistemas vivos que tienen un significado sagrado o religioso.

Las coberturas de mayor relevancia para proveer el servicio son el bosque nativo con matorral mixto y ríos (Fig. 13).

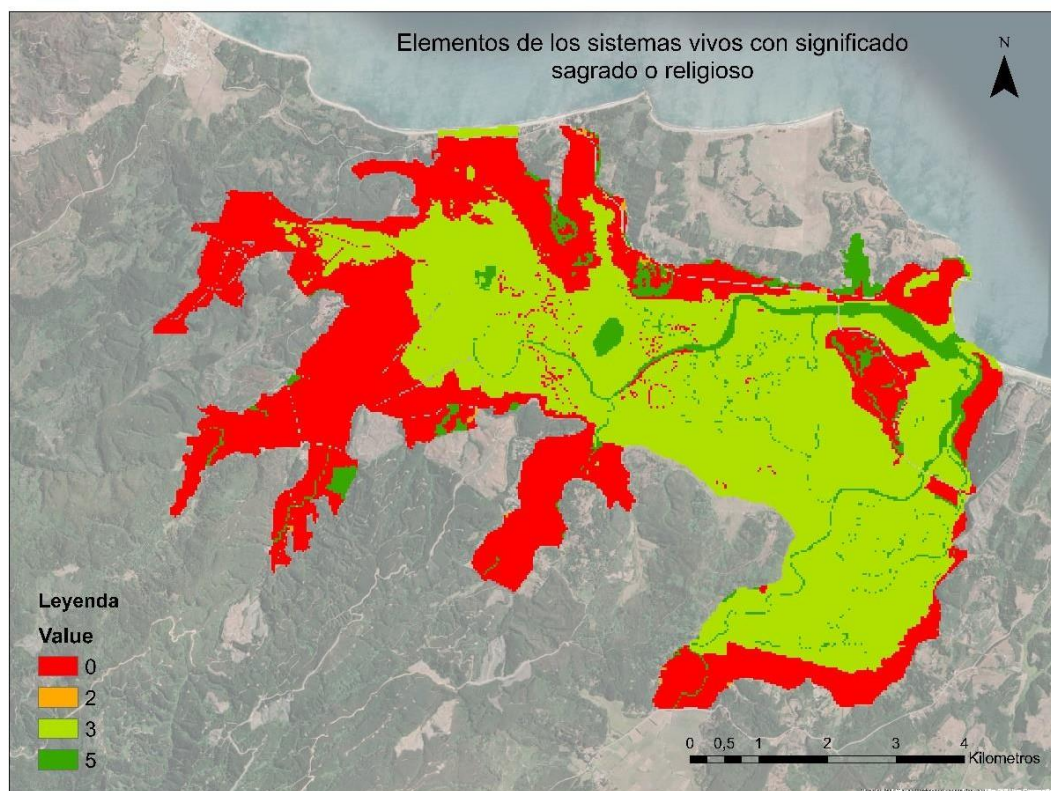


Figura 13. Mapa de la capacidad potencial de las coberturas de proveer elementos de los sistemas vivos que tienen un significado sagrado o religioso.

3.3 Áreas de alto valor para la provisión de SSEE.

A continuación, se muestra el resultado del mapa priorizado de la capacidad potencial de las coberturas de proveer los SSEE, sin la ponderación de expertos que evaluaron cual SSEE es más importante sobre el otro (Fig. 14).

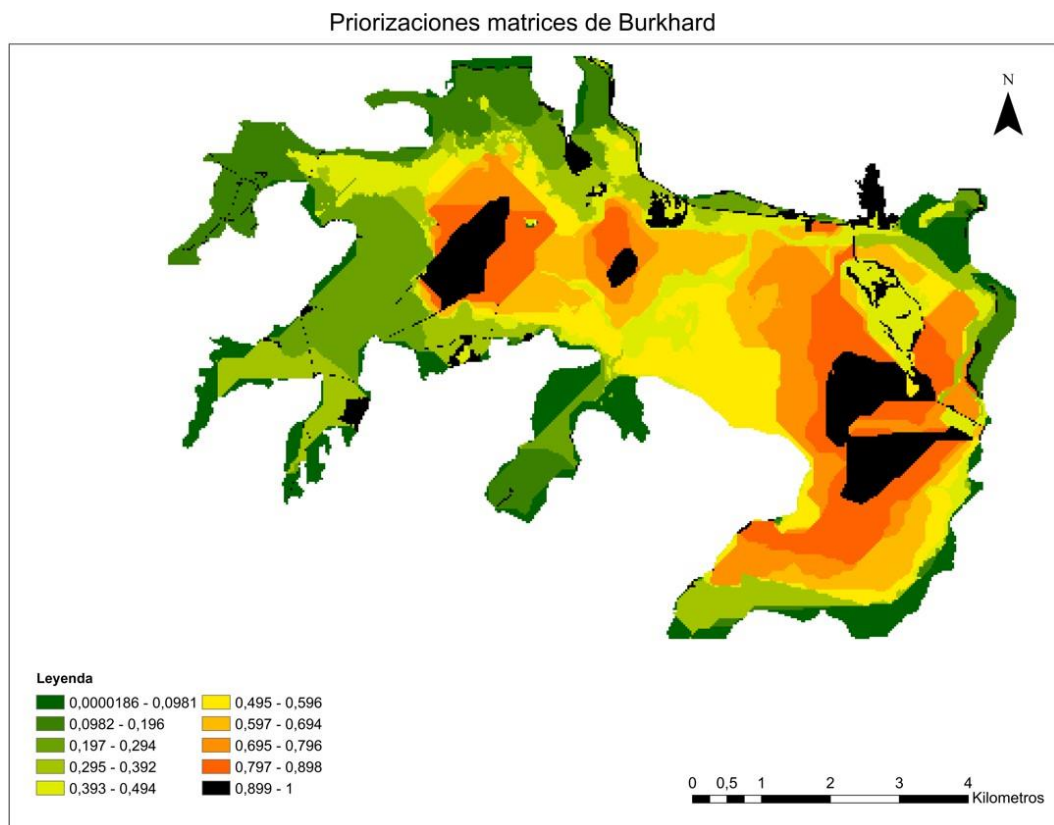


Figura 14. Mapa de la capacidad potencial de las coberturas de proveer los SSEE priorizado en Zonation visualizado en 10 clases, sin ponderación de expertos.

Se observa del mapa resultante lo siguiente:

1. Color negro (0,89 a 1) corresponde a coberturas de bosque nativo y matorral mixto principalmente con algunas áreas de la cobertura de humedal y marisma media y baja con lagunas.
2. Color naranja oscuro (0,79 a 0,89) corresponde casi exclusivamente a zona de humedal y marisma media y baja con lagunas.
3. Color naranja (0,69 al 0,79) corresponde a cobertura de humedal y marisma media y baja con lagunas y cobertura de lagunas dulceacuícolas / lagunas salinas.
4. Color naranja claro (0,59 al 0,69) corresponde a cobertura humedal y marisma media y baja con lagunas y cobertura de lagunas dulceacuícolas / lagunas salinas y Ríos.
5. Color amarillo (0,49 al 0,59) es principalmente cobertura de humedal y marisma media y baja con lagunas por los bordes.
6. Color verde limón (0,39 a 0,49) toma 4 coberturas: Lagunas dulceacuícola /Lagunas salinas, río, humedal dulceacuícola y uso de acuicultura.
7. Color verde claro de (0,29 a 0,39) toma la cobertura de praderas mejoradas para ganadería y cultivos.
8. Color verde normal (0,19 a 0,29) toma cobertura de plantaciones forestales y praderas mejoradas para ganadería y cultivos principalmente.

9. Color verde oscuro leve (0,09 a 0,19) también toma cobertura de plantaciones forestales y praderas mejoradas para ganadería y cultivos.
10. Verde oscuro profundo (de 0 a 0,09) corresponde a plantaciones forestales y praderas mejoradas para ganadería y cultivos.

Por otra parte, respecto a la segunda ejecución en software Zonation, y obtener el mapa con la ponderación de expertos de áreas de alto valor para la obtención de los SSEE en el área de estudio, se utilizaron las ponderaciones mostradas a continuación (Tabla 3) y se obtuvo el mapa que muestra la Figura 15.

Tabla 3. Ponderación final matriz de Saaty

SSEE	Ponderación
Agua beber	0.1218
Agua material	0.1070
Regulación de caudales	0.0838
Mantenimiento de poblaciones	0.0775
Plantas Terrestres	0.0767
Animales Criados	0.0726
Investigación científica	0.0725
Regulación química	0.0720
Biorremediación	0.0701
Control erosión	0.0684
Actividades de salud	0.0676
Fibras	0.0617
Significado religioso	0.0443
Suma Total	1

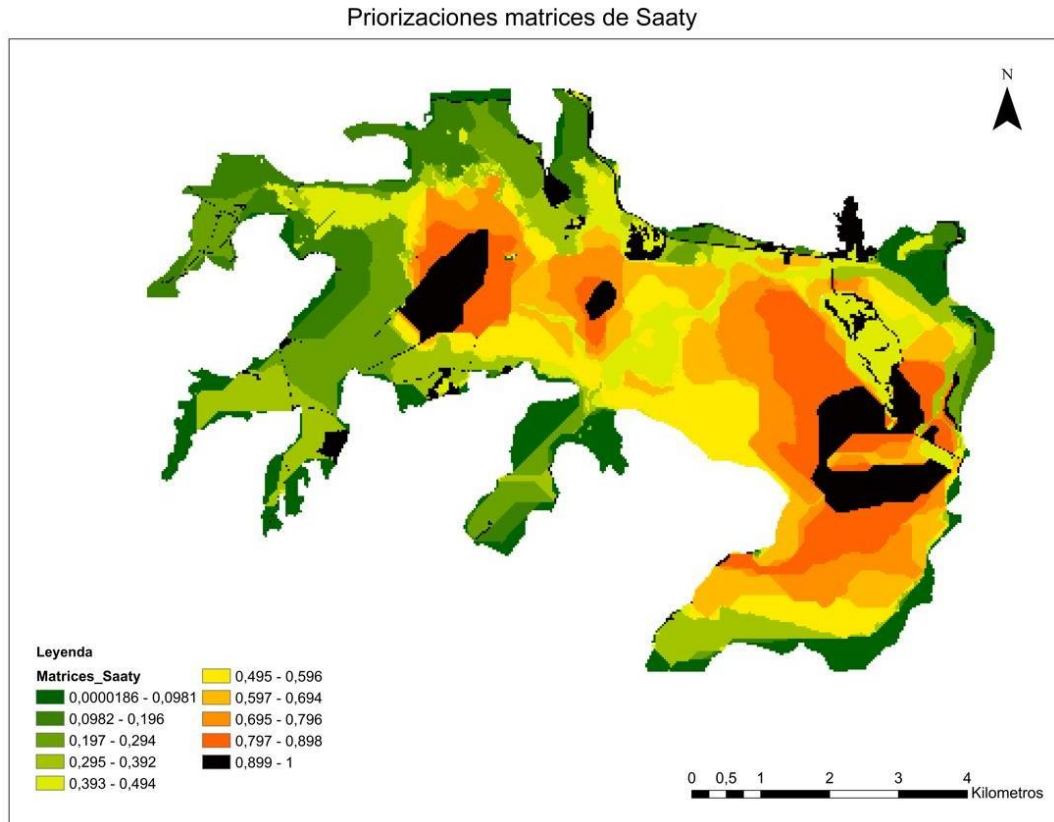


Figura 15. Áreas de alto valor para la provisión de SSEE en el humedal Tubul-Raqui.

Se observa que con el mapa obtenido de las matrices de Burkhard coinciden respecto a las mismas coberturas que son de mayor valor para proveer más SSEE y los de mayor relevancia vendrían siendo según la ponderación de expertos obtenido con matrices de Saaty, en primer lugar, el servicio de agua para beber, luego agua superficial utilizada como material y en tercer lugar el servicio de regulación y mantenimiento, ciclo hidrológico y regulación de caudales de agua (incluyendo control de inundaciones).

IV. DISCUSIÓN

El presente trabajo de investigación busca destacar las áreas de mayor importancia que proveen SSEE más prioritarios según evaluación de expertos del humedal Tubul-Raqui, para esto se identificaron los SSEE, se realizó una consulta a expertos para determinar la capacidad potencial de las coberturas de proveer estos, y por último se ponderó una priorización de los SSEE con expertos a través de una matriz de Saaty. Respecto a la identificación de los SSE, se tuvo mayor aporte de información para la identificación a través de la literatura investigada, ya que sólo se obtuvo respuesta de tres actores locales, presidentes de juntas de vecinos, por lo cual esta muestra no es representante del total de habitantes, pero al tener estos cargos y amplio conocimiento del área de estudio y de las necesidades de los habitantes del área de estudio, si tiene un valor significativo en cuanto a la percepción que estos pueden tener sobre el área de estudio.

Para una mejor interpretación se clasificaron los mapas resultantes de las priorizaciones espaciales del software Zonation en 10 categorías que van en valores de 0 a 1 en la leyenda, donde los valores más cercanos a 1 ofrecen mayor cantidad y/o calidad de los SSEE combinados, en este caso el color negro representa el 10% de áreas mayor valor para proveer los SSEE más prioritarios, área que al comparar con las coberturas y usos corresponde en ambos casos

(Figura 14 y 15) a dos coberturas; “bosque nativo y matorral mixto” y “humedal y marisma media y baja con lagunas”, y considerar también que los 3 SSEE prioritarios, de los 13 evaluados, según la ponderación con matriz de Saaty fueron en orden, primero el servicio de provisión agua subterránea para beber, segundo, el servicio de provisión de agua superficial utilizada como material y tercero, el servicio de regulación y mantenimiento del ciclo hidrológico y regulación de caudales de agua (incluyendo control de inundaciones).

Así mismo, se puede observar que el 40% (color naranja claro a negro) de las áreas más prioritarias en ambos casos (Figura 14 y 15) corresponden a tres principales coberturas, lo que significa que tienen mayor capacidad de proveer los SSEE identificados y al mismo tiempo los SSEE más prioritarios según expertos, estas son las coberturas de “humedal y marisma media y baja con lagunas”, “bosque nativo y matorral mixto” y “lagunas dulceacuícolas/ lagunas salinas”. Por el contrario las áreas menos prioritarias con rangos de 0 a 0,39 en los mapas, son las coberturas de “plantaciones forestales” y “praderas mejoradas para ganadería y cultivos” que quiere decir son menos relevantes para la provisión de los SSEE más prioritarios antes mencionados, lo que implica que pueden ser menos urgente de conservar en cuanto a los tomadores de decisiones.

Estos resultados se relacionan positivamente con los obtenidos en Marín (2014), donde los usuarios locales resaltan la importancia de los beneficios del agua dulce principalmente por sus aspectos culturales y valores simbólicos por sobre su uso utilitario.

Por otra parte, dentro de los resultados de ponderación final (Tabla 8.1) se observa una cercanía importante entre seis SSEE, que corresponden a los servicios de “Mantenimiento de las poblaciones y hábitats de los viveros (incluyendo la protección del acervo genético)” con ponderación de 0.0775, “plantas terrestres cultivadas con fines nutricionales (incluidos hongos, algas)” con ponderación de 0.767, “animales criados con fines nutricionales” con 0.0726, “características de los sistemas vivos que permiten la investigación científica o la creación de conocimientos ecológicos tradicionales” con ponderación de 0.0725, “regulación de la condición química de las aguas dulces por procesos vivos con 0.720 y “biorremediación por microorganismos, algas, plantas y animales” con una ponderación de 0.0701”. Esta cercanía implica un equilibrio en la percepción de la importancia sobre estos SSEE, donde se puede considerar que tienen similitud en cuanto a la planificación, conservación de estos y al valor ecosistémico.

V. CONCLUSIONES

A partir del presente estudio se puede concluir que los SSEE más prioritarios para el bienestar de la localidad surgen de coberturas y usos de bosque nativo con matorral mixto y cuerpos de agua como los ríos, humedales, marismas medias y bajas y lagunas tanto dulceacuícolas como salinas que se forman, los cuales son servicios de provisión y de regulación y mantenimiento para sus habitantes. Para poder seguir manteniendo la provisión de estos SSEE de manera consistente es clave poder tomar medidas frente a amenazas que presentan principalmente los humedales costeros por el cambio de uso de suelo y los efectos del cambio climático que ponen en riesgo su sustentabilidad en el largo plazo (MMA 2020), ya que , por ejemplo la cobertura de pradera que ha sido modificada para uso como ganadería y cultivos no es actualmente un área prioritaria en cuanto a proveer los SSEE identificados en el estudio, y es una cobertura que representa sobre el 33% del área de estudio, la cual seguirá en aumento si no se toman medidas, por lo que se seguirían perdiendo áreas prioritarias para proveer los SSEE. Para tomar conciencia en la población y valorizar las áreas que más proveen estos SSEE, podría ser útil investigar el valor económico de los SSEE identificados y conocer cómo varían en el tiempo y en el espacio para una mejor planificación y gestión (Marín *et al.* 2014).

VI. GLOSARIO

Priorización espacial: Proceso mediante el cual se identifican, ordenan y seleccionan áreas geográficas en función de su valor relativo para determinados objetivos, como la conservación, la provisión de servicios ecosistémicos o la planificación territorial. Esta priorización se basa en datos espaciales y criterios definidos previamente, y se apoya en herramientas como modelos multicriterio o software especializado.

Proceso Analítico Jerárquico (AHP): Método de toma de decisiones multicriterio desarrollado por Thomas Saaty, que permite asignar pesos relativos a diferentes criterios mediante comparaciones por pares. El AHP organiza los elementos del problema en forma jerárquica y evalúa la consistencia de los juicios emitidos por los expertos. Es ampliamente utilizado en estudios de planificación, evaluación ambiental y priorización de alternativas.

Servicios ecosistémicos: Beneficios directos e indirectos que los ecosistemas proporcionan a los seres humanos, esenciales para su bienestar. Estos servicios se clasifican comúnmente en servicios de provisión (como agua y alimentos), regulación (como la purificación del aire y el control del clima), culturales (como recreación y valor espiritual), y de soporte o mantenimiento (como la formación del suelo y el ciclo de nutrientes).

Sistemas de Información Geográfica (SIG): Herramientas computacionales que permiten capturar, almacenar, analizar, gestionar y visualizar datos espaciales o geográficos. Los SIG son fundamentales en estudios ambientales, ordenamiento territorial y gestión de recursos naturales, ya que permiten representar información en mapas y realizar análisis espaciales complejos para apoyar la toma de decisiones.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Arauco, M. D. (2016). *PLADECO Arauco 2016–2019: Plan de Desarrollo Comunal*.

Burkhard, B., & Maes, J. (2017). *Mapping ecosystem services using matrix models*. Publications Office of the European Union.

Marín, A., Gelcich, S., & Castilla, J. C. (2014). Ecosystem services and abrupt transformations in a coastal wetland social-ecological system: Tubul-Raqui after the 2010 earthquake in Chile. *Ecology and Society*, 19(1). <https://doi.org/10.5751/ES-05882-190122>

Ministerio del Medio Ambiente [MMA]. (2017a). *Inventario Nacional de Humedales de Chile*.

Ministerio del Medio Ambiente [MMA]. (2017b). *Política regional para la conservación de la biodiversidad de la Región del Biobío 2017–2030*.

Ministerio del Medio Ambiente [MMA]. (2018). *Plan Nacional de Protección de Humedales 2018–2022*.

Ministerio del Medio Ambiente [MMA]. (2020). *Contribución determinada a nivel nacional (NDC) de Chile*.

Oliva, C. P., & Ponce, M. (2021). Los humedales costeros como sustento de la pesca artesanal en Chile. *Boletín del Instituto de la Patagonia*, 49, 63–73. <https://doi.org/10.22352/bip.20214905>

Haines-Young, R., & Potschin, M. (2018). *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1: Guidance on the application of the revised structure*. <https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2018/01/Guidance-V51-01012018.pdf>

Saaty, T. L. (1995). Transport planning with multiple criteria: The analytic hierarchy process applications and progress review. *Journal of Advanced Transportation*, 29(1), 81–126. <https://doi.org/10.1002/atr.5670290107>

San Martín, V., Guzmán, E., & Carrasco, M. (2020). Prioritizing restoration actions to improve ecosystem services of degraded coastal wetlands: A case study in central Chile. *Ecosystem Services*, 44, 101138. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101138>

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [UICN]. (2022). *Restauración de los ecosistemas basada en la ciencia para la década del 2020 y más allá*.

Valdovinos, C., Muñoz, M., Sandoval, N., Vásquez, D., & Olmos, V. (2010). Desastres naturales y biodiversidad: El caso del humedal costero Tubul-Raqui. *Sociedad Hoy*, 19, 33–51.

Valdovinos, C., Sandoval, N., Vásquez, D., & Olmos, V. (2012). El humedal costero Tubul-Raqui: Un ecosistema chileno de alto valor de conservación severamente perturbado por el terremoto del 2010. En *Humedales costeros: Aportes científicos a su gestión sustentable* (pp. 391–442). Ediciones Universidad de Concepción.

Villarreal, P., Araya, M., Maldonado, A., & Tognelli, M. F. (2019). A multi-criteria approach to prioritize sites for coastal wetland conservation in Chile. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 29(7), 1072–1086. <https://doi.org/10.1002/aqc.3115>

VIII. APÉNDICE

Tabla 1. Promedio de matrices de Saaty evaluada por expertos.

	Plantas Terrestres	Fibras	Anima les Criados	Agua materi al	Agua beber	Biorre media ción	Control erosión	Regulac ión Caudales	Manteni miento Poblacio nes	Regula ción química	Activi dades de Salud	Inves tigaci ón cientí fica	Signific ado Religio so
Plantas Terrestres	1,0	3,9	4,1	1,9	3,2	1,0	3,2	3,4	1,2	3,6	1,1	1,0	2,9
Fibras	1,1	1,0	0,7	1,9	3,4	1,9	3,4	3,6	1,4	3,1	0,9	0,8	1,8
Anima les Criados	1,2	2,0	1,0	1,5	3,4	2,1	3,1	3,2	1,4	3,4	1,3	1,6	2,9
Agua materi al	4,4	4,2	4,3	1,0	2,6	4,7	3,9	2,9	2,1	3,5	3,2	1,7	5,7
Agua beber	3,9	3,9	3,9	3,0	1,0	3,7	4,2	3,9	3,9	3,8	3,6	4,0	3,8

Biorre media ción	4,9	3,6	4,3	1,3	2,1	1,0	2,0	2,5	0,8	2,5	1,9	1,5	1,8
Contr ol erosió n	3,9	3,9	3,6	0,8	1,5	1,7	1,0	2,4	1,0	2,2	2,4	2,4	2,2
Regul ación de cauda les	4,3	4,3	3,9	1,0	1,2	2,3	1,0	1,0	1,3	2,6	4,0	4,0	4,0
Mante nimie nto pobla cione s	4,2	4,8	4,8	2,6	2,2	3,2	2,4	3,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Regul ación quími ca	3,9	4,3	3,9	1,3	1,3	2,7	0,8	0,8	0,7	1,0	3,0	3,3	3,3
Activi dades de salud	4,1	4,5	4,1	1,2	2,6	1,4	1,4	2,1	0,8	2,4	1,0	1,6	2,4
Invest igació	4,5	4,6	4,0	1,8	2,4	1,6	1,7	2,2	1,3	2,6	0,9	1,0	2,4

n
científ
ica

Signifi
cado
religio
so

1,0	3,7	3,2	0,2	1,3	1,3	0,9	2,1	1,1	2,1	0,9	0,7	1,0
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
