



UNIVERSIDAD DE CHILE -FACULTAD DE CIENCIAS -ESCUELA DE PREGRADO

DESARROLLO DE UN MODELO CONCEPTUAL ECOHIDROLÓGICO PARA UNA RED DE TURBERAS EN QUEMCHI (CHILOÉ).

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Biólogo con mención en medio Ambiente

CLAUDIO IGNACIO ARRIAZA MANCINI

Dr. Víctor H. Marín
Director del Seminario de Título

Dra. Luisa E. Delgado
Co-Directora de Seminario de Título

21- 09-2020

Santiago – Chile

Biografía



Claudio Ignacio Arriaza Mancini nació un 12 de marzo de 1995, en la ciudad de Santiago, Chile. Ha vivido prácticamente toda su vida en la comuna de La Florida junto con sus padres y hermana. Durante la niñez sintió un especial interés hacia la naturaleza, en particular con los animales, lo que lo motivo a aprender y buscar actividades relacionadas con salir al aire libre, como subir cerros, ir a acampar y participar de los scouts. Los años posteriores ese interés no decayó, pero se agregó a un sentido más social, lo cual lo motivo a buscar algo que compatibilizará ambos intereses. Completo sus estudios de enseñanza media en un colegio de la comuna el año 2012, para posteriormente ingresar a la carrera de Biología Ambiental. Sus pasatiempos son practicar fútbol, compartir con sus amigos y amigas, acampar, jugar y pasear con sus dos perritos, además de organizarse en torno al acontecer social.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mis padres Lorena y Claudio, por sus enseñanzas, preocupación y amor incondicional, además de su apoyo y motivación para seguir estudiando. A mi hermana Cote, por compartir su experiencia, por darme lindos momentos y risas. A mis abuelos Quintín y Eliana por entregarme su cariño, sabiduría y sentido de humor. A mis tíos Marcelo y Angélica, por sus consejos y ayuda en el área científica. Además, a mi tía Marcela, por su cariño y afecto.

Quiero agradecer a Kiara, mi compañera durante estos últimos 6 años, que siempre me dado su cariño, apoyo y compañía, en este largo camino que ha sido la universidad. Porque contigo he podido crecer y ser una mejor persona.

También quiero agradecer a mis amigos y amigas del colegio, de scout, de la universidad y de la vida, pues su amistad ha sido una fuente inagotable de risas y buenos momentos, donde nunca me he sentido solo.

A mis compañeras y compañeros la Güiña, por el aprendizaje colectivo y la motivación para seguir dando frente a las injusticias.

A mis profesores Luisa y Víctor, por sus enseñanzas y recomendaciones, por permitirme realizar mi seminario de título en su laboratorio. Además, quiero agradecer a mis compañeros y compañeras del LME, por su alegría y compañerismo.

A las y los habitantes de la comuna de Quemchi y de la isla de Chiloé en general, por su buena disposición, interés y aporte en la realización de este seminario de título

Finalmente, a la Canelita y al Barti, mis perritos, que me acompañaron siempre en esas largas noches de estudio, sin su amor y compañía esto no sería lo mismo.

A todos y todas gracias

Este seminario de título se realizó con aportes del proyecto FONDECYT Regular N° 1170532, titulado “Modelos conceptuales del sistema complejo sociedad-naturaleza” de la Prof. Luisa E. Delgado.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|-------------------------------------------------------------|-------------|
| Índice de Contenidos | iv |
| Índice de Tablas | vi |
| Índice de Figuras | vii |
| Lista de Abreviaturas | viii |
| Resumen | ix |
| Abstract | X |
| 1.Introduccion | 1 |
| 1.1 Humedales y el ciclo hidrológico. | 1 |
| 1.2 Servicios ecosistémicos de los humedales. | 1 |
| 1.3 Turberas: clasificación, estructura y origen en Chile. | 2 |
| 1.4 El musgo <i>Sphagnum</i> . | 5 |
| 1.5 Explotación de turberas y pomponales en Chiloé. | 7 |
| 1.6 Crisis hidrológica en Chiloé. | 8 |
| 1.7 Planteamiento del problema. | 9 |
| 2. Objetivos | 11 |
| 2.1 Objetivo general | 11 |
| 2.2 Objetivos específicos | 11 |
| 3.Materiales y métodos | 12 |
| 3.1 Marco teórico. | 12 |
| 3.1.1 Sistemas de información geográfica. | 12 |
| 3.1.2 Procesos y funciones en contexto de la ecohidrología. | 12 |
| 3.1.3 Modelos conceptuales. | 14 |
| 3.2 Área de estudio. | 16 |

| | |
|---------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.3 Metodología | 18 |
| 3.3.1 Caracterización ecohidrológica de las turberas. | 18 |
| 3.3.2 Sistemas aledaños. | 20 |
| 3.3.3 Presiones antropogénicas. | 20 |
| 3.3.4 Valoración económica. | 21 |
| 4. Resultados | 24 |
| 4.1 Caracterización ecohidrológica de las turberas. | 24 |
| 4.1.1 Identificación de las turberas. | 24 |
| 4.1.2 Procesos y funciones ecosistémicas de las turberas | 26 |
| 4.2 Sistemas aledaños a las turberas. | 30 |
| 4.2.1 Identificación de los sistemas vegetacionales aledaños. | 30 |
| 4.2.2 Procesos ecosistémicos de los sistemas aledaños. | 32 |
| 4.3 Presiones antropogénicas. | 36 |
| 4.3.1 Encuestas Socio-Ecológica. | 36 |
| 4.3.2 Revisión bibliográfica. | 39 |
| 4.4 Valoración económica SSEE de provisión de agua dulce. | 41 |
| 5. Discusión | 45 |
| 5.1 Modelo ecohidrológico de turberas. | 45 |
| 5.2 Modelo conceptual de los sistemas aledaños. | 49 |
| 5.3 Presiones antrópicas sobre ecosistemas de la microcuenca. | 50 |
| 5.4 Valoración económica. | 55 |
| 6. Conclusiones | 60 |
| 7. Bibliografía | 61 |
| 8. Anexos | 68 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Tabla 1. Caracterización de las turberas identificadas en la microcuenca. | 26 |
| Tabla 2. Funciones procesos y servicios ecosistémicos identificados para las turberas. | 27 |
| Tabla 3. Composición florística de los sistemas aledaños a las turberas de la microcuenca. | 32 |
| Tabla 4. Comparación de procesos de asimilación de agua en los sistemas aledaños. | 33 |
| Tabla 5. Procesos ecosistémicos de los sistemas aledaños. | 34 |
| Tabla 6. Principales presiones antrópicas sobre turberas y sistemas aledaños. | 38 |
| Tabla 7. Retención de agua por la red de turberas. | 42 |
| Tabla 8. Tarifa de un comité de Agua Potable Rural en Quemchi | 43 |
| Tabla 9. Tarifa de agua potable de la compañía de agua potable ESSAL. | 43 |
| Tabla 10. Valoración económica del volumen de agua almacenada por las turberas mediante la tarifa de una APR y la compañía ESSAL. | 44 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Figura 1. Turbera ombrotónica | 3 |
| Figura 2. Morfología del musgo <i>Sphagnum</i> | 6 |
| Figura 3. Esquema conceptual sobre procesos, funciones y servicios ecosistémicos. | 13 |
| Figura 4. Esquema conceptual para la construcción de modelos. | 15 |
| Figura 5. Cartografía de la cuenca en estudio. | 17 |
| Figura 6. A Turberas de Chiloé y modelo de elevación digital para la cuenca de Quemchi. B Ubicación de las de turberas seleccionadas en la microcuenca. | 24 |
| Figura 7. Modelo conceptual de una turbera. | 30 |
| Figura 8. Sistemas aledaños. | 31 |
| Figura 9. Modelo conceptual sistemas aledaños. | 36 |
| Figura 10. Modelo conceptual acerca de las presiones antrópicas sobre la turbera. | 41 |
| Figura 11. Modelo conceptual de las presiones antrópicas sobre un sistema aledaño a una turbera. | 42 |

LISTA DE ABREVIATURAS

AA: Agua almacenada

ACT: Agua caída sobre una turbera

APR: Agua potable rural

C: Carbono

CICES: Common International Classification of Ecosystem Services

COD: Carbono orgánico disuelto

CONAF: Corporación Nacional Forestal

DGA: Dirección General de Aguas

DEM: Modelo de elevación digital

IGC: Isla Grande de Chiloé

ODEPA: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias

PA: Precipitación acumulada

PM: Precipitación mensual

PMA: Precipitación media anual

PMM: Precipitación media mensual

PLADECO: Plan de Desarrollo Comunal

SSEE: Servicios ecosistémicos

SIG: Sistemas de información geográfica

RESUMEN

Las turberas son humedales que juegan un importante rol en la regulación del clima y en el ciclo hidrológico. Se caracterizan por ser ecosistemas donde la tasa de producción de materia orgánica supera a la tasa de descomposición, la cual se acumula progresivamente y es conocida como turba. En la Isla de Chiloé estos ecosistemas cumplen un rol fundamental pues aportan en la regulación del ciclo hídrico, ya que en la isla no existen altas cumbres que puedan alojar nieve para abastecer a los cuerpos de agua, por lo que estos ecosistemas son clave ante el escenario de escasez hídrica que afecta a la isla. Sin embargo, las turberas también son fuente de bienes económicos debido a que de allí se extrae el musgo *Sphagnum* y la turba. En este seminario de título se ubicaron de manera remota una red de turberas y los sistemas adyacentes dentro de una microcuenca en la comuna rural de Quemchi. Se identificaron los procesos y funciones ecosistémicas relacionadas con los flujos de agua que entran y salen en cada ecosistema para conceptualizar dichas interacciones a través de un modelo teórico. Posteriormente se identificaron las presiones antrópicas que afectan a estos ecosistemas y se evaluó el impacto que tienen sobre los procesos ecosistémicos hídricos. Además, se realizó una valoración económica sobre el proceso ecosistémico de captación y retención de agua, que se traduce en el servicio ecosistémico de provisión de agua dulce. La explotación de las turberas es la presión con mayores impactos pues esta intervención degrada al ecosistema de turbera de manera irreversible, afectando su composición y estructura, así como la dinámica hídrica de la microcuenca. En el caso de la valoración, los resultados muestran que una turbera almacena un volumen de agua capaz de abastecer a gran parte de la población de la comuna; por lo tanto, su entendimiento, cuidado y mantención son vitales para enfrentar el escenario hidrológico actual.

ABSTRACT

Peatlands are wetlands that play an essential role in climate regulation and the hydrological cycle. They are characterized as ecosystems where organic matter production exceeds its decomposition, which progressively accumulates, and it is known as peat. In Chiloé Island, there are no high mountains that can collect snow to supply water bodies. So, these ecosystems play a fundamental role since they contribute to the regulation of the water cycle. Thus, they are critical to the scenario of water scarcity that affects the island. However, peatlands are also sources of economic goods through the extraction of *Sphagnum* moss and peat. In this title seminar, peat bogs and their adjacent systems were identified in a micro-basin located in the rural commune of Quemchi (Chiloé) using geographic information tools. The processes and ecosystem functions related to water flows that enter and leave each ecosystem were identified to conceptualize these interactions through a theoretical model. Subsequently, the anthropic pressures that affect these ecosystems were identified, evaluating their impacts on water ecosystem processes. An economic valuation was also carried out on the ecosystem process of water collection and retention, which translates into the ecosystem service of freshwater provision. The exploitation of peatlands is the pressure with the most significant impact. It irreversibly degrades the peat bogs, affecting its composition and structure and the micro-basin's water dynamics of the micro-basin. In the case of the valuation, results show that a peat bog stores a water volume capable of supplying a large part of the commune population. Therefore, its understanding, care, and maintenance are essential to face the current water scenario.

1. Introducción

1.1 Humedales y el ciclo hidrológico

Los humedales, de acuerdo con la Convención Ramsar, son ecosistemas de transición entre ecosistemas terrestres y acuáticos, cuyas áreas cubiertas de agua generan procesos anaeróbicos en los suelos. Por tanto, la biota presente en ellos está adaptada a condiciones de inundación (Keddy, 2010). Los humedales cumplen un rol fundamental en el ciclo hídrico, tanto a escala global como a escala local, pues actúan como contenedores estacionales de agua, facilitan la recarga de acuíferos subterráneos, depuran los cuerpos de agua y regulan al régimen de precipitaciones mediante transpiración de las plantas. (Ten Brink y col., 2013).

1.2 Servicios ecosistémicos de los humedales.

El estudio de las relaciones entre los ecosistemas y el bienestar humano ha llevado a establecer el concepto de servicio ecosistémico (SSEE). Este ha sido definido por el *Millennium Ecosystem Assessment* (2003) como los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas. La clasificación más reciente es la propuesta por *Common International Classification of Ecosystem Services* (Haines-Young y Potschin, 2018), donde se identifican tres tipos de servicios: (1) de aprovisionamiento, de regulación y mantención, y culturales. Los SSEE de aprovisionamiento corresponden a productos tangibles y se pueden obtener de los ecosistemas, siendo utilizados de manera directa por el ser humano (ej. alimentos, leña, etc.). Los de regulación y mantención son los beneficios que se obtienen producto de la regulación y funciones del ecosistema (ej. purificación del agua, regulación del clima). Finalmente, los SSEE culturales son los beneficios no materiales que las personas obtienen desde los ecosistemas (ej. recreación, ritos religiosos).

En de los humedales es posible reconocer variados SSEE, muchos de ellos relacionados con el agua, donde destaca su aprovisionamiento para diversos propósitos, la pesca y recolección de plantas. Además, se generan servicios de mantención y regulación como el de purificación y detoxificación del agua como también la retención y almacenamiento de nutrientes.

1.3 Turberas: clasificación, estructura y origen.

Más del 50 % de los humedales del mundo son turberas (Ramsar, 2004). Estas se encuentran principalmente en altas latitudes de ambos hemisferios, con una superficie global de aproximadamente 4 millones de Km² (Domínguez y Vega-Valdés, 2015). Estos ecosistemas juegan un rol significativo en la regulación del clima a nivel global, pues almacenan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre (Dise, 2009). Esto los convierte en importantes reservorios, llegando a almacenar más de 600 Gt en forma de materia orgánica (Yu y col., 2010).

Las turberas son ambientes donde la producción primaria neta excede a la descomposición, producto de una serie de condiciones y restricciones que afectan a este proceso, como anegamiento, anoxia, bajas temperaturas, etc. (Domínguez y Vega-Valdés, 2015). Además, se caracterizan por presentar una matriz superficial cubierta por musgos que se encuentran sobre una capa de materia orgánica que puede alcanzar varios metros de profundidad (Díaz y col., 2008) mejor conocida como turba. Esta corresponde a la acumulación de materia orgánica de origen vegetal resultante de procesos de descomposición anaeróbica de distintos estadios.

Estos ecosistemas pueden ser clasificados de variadas formas. Pero, la clasificación más simple y aceptada reconoce dos tipos de turberas, de acuerdo con el origen de los nutrientes y del agua que las abastece (Oberpaur y col., 2018). Por una parte, están las

turberas ombrotáficas (Fig.1), que reciben agua y nutrientes exclusivamente de las precipitaciones. Por otra, están las turberas minerotáficas que reciben agua y nutrientes desde el afloramiento de napas subterráneas y/o de la escorrentía superficial de algún cuerpo de agua.

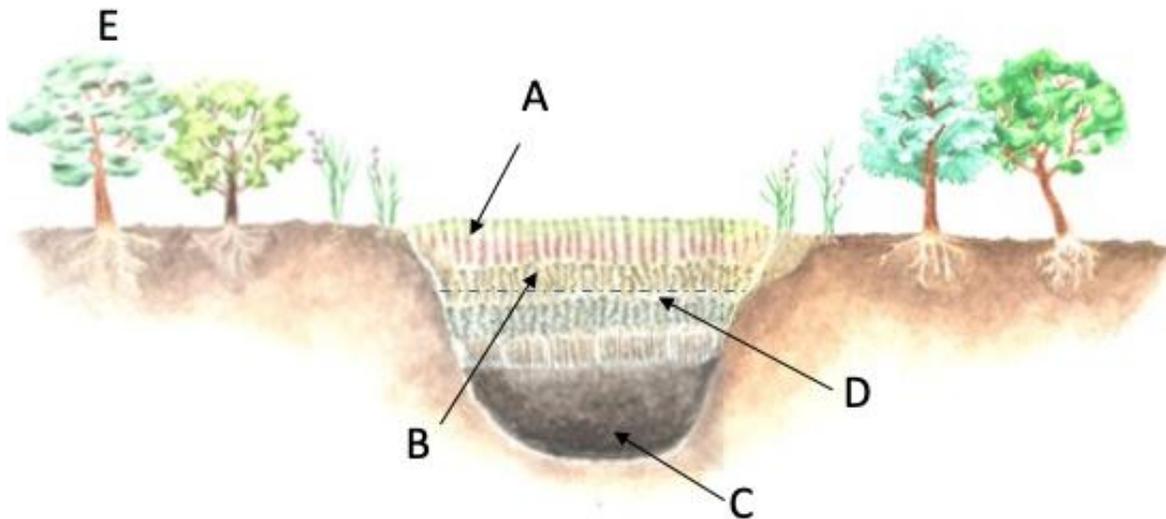


Figura 1. Representación de una turbera ombrotáfica dominada por musgos del género *Sphagnum*. **A** Musgos *Sphagnum*. **B** Acumulación de turba. **C** Sedimentos. **D** Capa freática. **E** Vegetación aledaña. Ilustración de Fernanda Silva.

En lo que respecta a la estructura de estos ecosistemas es posible reconocer dos estratos, el acrotelmo y el catotelmo. El acrotelmo, o estrato superficial, es biológicamente activo, poroso, oxigenado, y su profundidad está determinada por el nivel de la capa freática (Iturraspe y Roig, 2000; Gerding, 2010; Domínguez y Vega-Valdés, 2015). En este estrato predominan las asociaciones florísticas hidrófilas, algunas con una gran capacidad para retener humedad (Iturraspe y Roig, 2000). El catotelmo es la capa inferior, debajo del acrotelmo, la cual se extiende desde el nivel freático hasta el suelo mineral. En este estrato la materia orgánica se descompone bajo la acción de microorganismos a una tasa bastante lenta, debido a las condiciones anóxicas del medio, ocasionando su acumulación progresiva. La materia orgánica que pasa desde el acrotelmo al catotelmo se acumula a una tasa menor a 1 mm/año (Iturraspe, 2010), que al largo plazo genera la capa de turba

característica de estos ecosistemas (Domínguez y Vega-Valdés, 2015). Las turberas que presentan esta estratificación son denominadas diplotélmicas (Iturraspe y Roig, 2000).

En Chile las turberas se distribuyen desde la Región de la Araucanía hasta la Región de Magallanes y se forman en zonas de bajas temperatura y precipitaciones abundantes (sobre 2000 mm) durante gran parte del año (Zegers y col., 2006; Díaz y col., 2008). Su origen se remonta al período glacial, principalmente con la glaciación del Pleistoceno (Zegers y col., 2006; Domínguez y Vega-Valdés, 2015). En ese período la actividad glacial cubrió gran parte de la Región de Los Lagos, dando forma a un paisaje de depresiones rellenadas por hielo o material sedimentario (Zegers y col., 2006). Luego del descenso y posterior derretimiento de los glaciares, debido al aumento progresivo de las temperaturas, se formaron muchas lagunas someras y humedales que fueron colonizados por múltiples asociaciones vegetacionales, entre ellas musgos del género *Sphagnum*, los cuales dieron origen a estos ecosistemas.

Sin embargo, es importante destacar que no todos los sitios donde crece *Sphagnum* (o pompón como lo denominan los habitantes locales) son turberas. Muchos lugares anegados con presencia de *Sphagnum*, principalmente en la Región de Los Lagos, son de origen reciente. Estos son el producto de la tala o quema del bosque nativo, que posteriormente es colonizado por estos musgos, conocidos localmente como “pomponales” o turberas antropogénicas (Zegers y col., 2006). Los pomponales se diferencian de las turberas por no contener una capa de turba profunda acumulada; no obstante, mucha gente suele referirse indistintamente a ambos ecosistemas.

1.4 El musgo *Sphagnum*

Los musgos del género *Sphagnum* posiblemente son el grupo más importante de plantas formadoras de turba (Domínguez y Vega-Valdés, 2015). Estos contribuyen a la captación de carbono atmosférico (Clymo y Hayward, 1982), haciendo de las turberas un gran sumidero de carbono a escala global. Sin embargo, uno de sus rasgos más interesantes es su alta capacidad para captar y almacenar agua (Díaz y col., 2008). Esto se debe fundamentalmente a la conformación y estructura celular de sus tejidos (Fig.2), los que tienen células hidrófilas de gran tamaño, interconectadas entre sí y con el medio externo, tanto caulidios como filidios, cuya función es la absorción y retención de agua. En consecuencia, estos musgos presentan variaciones volumétricas significativas a lo largo del año (Merchán-Gaitán y col., 2011) logrando contener una cantidad de agua en sus tejidos cercana a 20 veces su peso seco (Schofiel, 1985). Ello hace que los musgos *Sphagnum* jueguen un rol ecológico imprescindible en la regulación hídrica del ecosistema y por ende en el ciclo hidrológico.

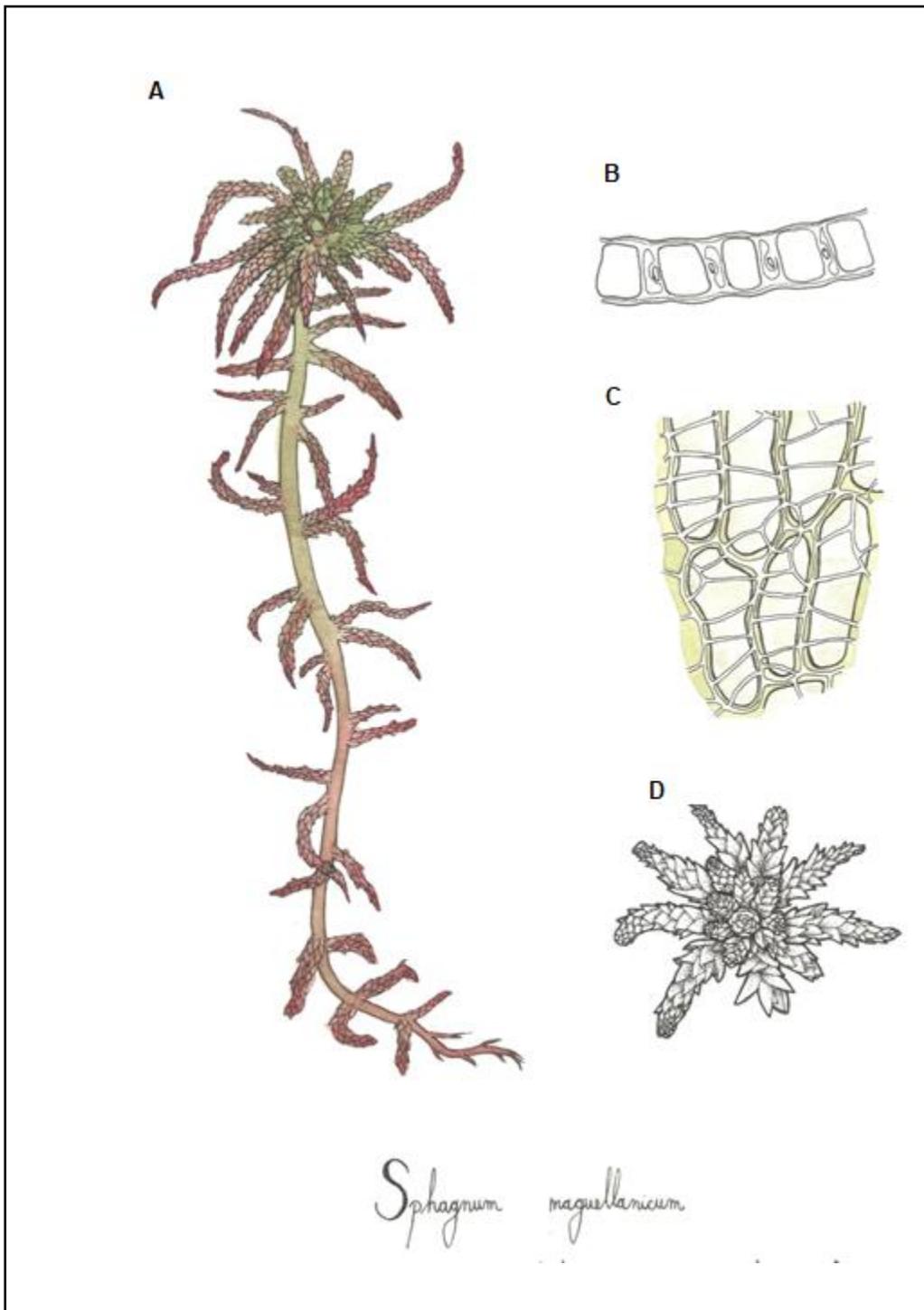


Figura 2. Morfología del musgo *Sphagnum*. **A** Hebra de musgo con células hidrófilas encargadas de captar y retener agua. **B** Corte longitudinal de un filidio. **C** Células de la hoja. **D** Capitulum formado por ramas dispuestas de forma compacta. Adaptado de Díaz y col., 2005. Ilustración de Fernanda Silva

1.5 Explotación de turberas y pomponales en Chiloé

Las turberas son explotadas para extraer turba y musgos, en particular la especie *Sphagnum magellanicum*, mientras que los pomponales son intervenidos para extraer el musgo pompón. La explotación de estos ecosistemas se relaciona con su alta valoración económica y comercialización, debido a sus múltiples utilidades. Entre ellas destacan la elaboración de fertilizantes para la horticultura, la elaboración de productos manufacturados como pañales, y la biorremediación (Blanco y de la Balze, 2004; Zegers y col., 2006).

Los primeros registros que se tienen sobre la explotación de las turberas en Chile se remontan a finales del siglo XIX desde la Región de Los Lagos hacia el sur, por parte de inmigrantes europeos, quienes tras instalarse en la zona se dedicaron a actividades ganaderas y mineras. Estas extracciones eran a escala artesanal y la turba se utilizaba como combustible principalmente (SERNAGEOMIN-Gore Los Lagos, 2008).

Posteriormente en la década de los '80, la explotación y aprovechamiento de las turberas fue sustentada dentro de tres cuerpos legales, la Constitución Chilena de la República, La Ley Orgánica Constitucional de Concesiones Mineras y el Código Minero, las cuales se sostenían dentro de un claro interés extractivista (Berríos y Jirón, 2018). Por medio de este ordenamiento jurídico la turba, a pesar de su origen biológico, fue considerada como un recurso mineral no metálico (Ley N°18248, 1983), y para que fuese explotada se debía contar con una concesión minera.

En la Región de Los Lagos la explotación sostenida de estos ecosistemas comienza a fines de los años '90 y se da a consecuencia del progresivo aumento en su valor económico y a la fuerte demanda internacional. Ello los transforma en una importante fuente de trabajo e ingresos para muchas comunidades rurales (Zegers y col., 2006; Domínguez y Vega-Valdés, 2015).

En la actualidad, existe literatura sobre la importancia y el manejo sustentable de las turberas (FIA, 2009; Agüero, 2013) además de la reciente vigencia de un marco regulatorio para la explotación y protección del musgo *Sphagnum magellanicum* (Decreto N° 25, 2018). No obstante, las turberas siguen siendo intervenidas y vulnerables ante amenazas como los cambios en el uso de los suelos y el cambio climático, lo que está conduciendo a la degradación y desaparición progresiva de estos ecosistemas (Domínguez y col., 2012., Domínguez y Vega-Valdés, 2015).

1.6 Crisis hidrológica en Chiloé

La seguridad hídrica¹ se ha convertido en motivo de preocupación internacional como también de seguridad nacional en muchos países, tanto por su disponibilidad como por su calidad (Ten Brink y col., 2013; Fundación Chile, 2017). La crisis hidrológica en la Isla de Chiloé ha sido una problemática que se instaló hace aproximadamente dos décadas (Villarroel, 2017). En la Isla no existen altas cumbres que puedan acumular agua en estaciones invernales, por lo que la provisión de agua para los seres humanos depende exclusivamente de las precipitaciones (Frêne y col., 2014). Sin embargo, hay registros de variaciones en las precipitaciones en el último tiempo (Villarroel, 2017). A ello se suman las presiones antrópicas, traducidas en la pérdida de la capacidad de retención de agua en los suelos, producto de los cambios en su uso (ej. deforestación de bosque nativo, plantaciones de monocultivos, la explotación turberas, etc.), los que han desencadenado un efecto multicausal en el déficit hídrico de la isla (Barra y Manushevich, 2017). Por esta razón las turberas juegan un rol crucial, pues retienen el agua proveniente de las precipitaciones y lo liberan gradualmente hacia las cuencas (León, 2012). Por lo tanto, conservar estos

¹Entiéndase como capacidad de una población para salvaguardar un acceso sostenible a cantidades adecuadas de agua de calidad aceptable para sostener los medios de vida, el bienestar humano y el desarrollo socioeconómico, para asegurar la protección contra enfermedades y desastres relacionados con el agua, y para preservar los ecosistemas en un clima de paz y estabilidad política” (UN-Water, 2013; IHP-UNESCO, 2012)

ecosistemas puede ser una acción concreta para atenuar la carencia de este bien y resguardar la seguridad hídrica para las comunidades del territorio insular.

1.7 Planteamiento del problema

Para abordar los temas relativos al agua es necesario establecer a la cuenca hidrográfica como una unidad territorial de estudio. De acuerdo con Dourojeanni y col., (2002), las cuencas son las principales formas terrestres dentro del ciclo hidrológico. En ellas ocurre la captación y almacenaje de agua; además, se desarrollan múltiples procesos de interrelación e interdependencia tanto en los sistemas ecológicos como en los sistemas socio económicos (usuarios de la cuenca y sus diferentes intereses) de una manera permanente y dinámica. Por lo tanto, son espacios propicios para el desarrollo de planes y programas de gestión del agua. Por otra parte, la escala espacial de la gestión de los recursos hídricos es otro de los problemas complejos identificados en relación con la gestión y la gobernanza del agua en Chile. Si bien está instalada la necesidad de un manejo integrado de cuencas, aún existen muchas limitaciones para su aplicación (Villarroel, 2017). Si consideramos a la cuenca hidrográfica no solo desde el punto de vista de sus funciones ecosistémicas, sino además como el espacio donde los grupos humanos socializan y desarrollan actividades productivas, esta se puede analizar con un “enfoque de cuencas”, siendo esta la unidad territorial más adecuada para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos² (Garcés, 2005; Ruiz y Gentes 2008). Por tanto, desde esta perspectiva, las turberas son un subsistema de la cuenca que interactúa con otros, como el bosque nativo y las praderas, para el desarrollo del ciclo hidrológico y en la provisión de agua dulce para los seres humanos.

² Proceso que promueve el manejo y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad

En este seminario de título se desarrolló un modelo conceptual de los procesos ecosistémicos de una turbera mediante un enfoque ecohidrológico. Para ello se identificaron y analizaron los principales procesos ecosistémicos que tienen relación con el agua, incorporando los efectos e influencia de la explotación comercial y de los subsistemas aledaños a la turbera dentro de la cuenca hidrográfica de Quemchi (Chiloé). Además, se estimó la capacidad de estos ecosistemas para almacenar agua, la cual fue valorada económicamente en relación al servicio ecosistémico de provisión de agua, utilizando las tarifas de agua potable para la comuna de Quemchi (Chiloé).

2.Objetivos

2.1 Objetivo general

Elaborar un modelo conceptual de la dinámica ecohidrológica de las turberas en la cuenca de Quemchi, Chiloé.

2.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar las turberas y definir los principales procesos y funciones ecosistémicas que influyen en su dinámica hídrica.
2. Caracterizar los sistemas vegetacionales adyacentes a las turberas y sus procesos ecosistémicos relacionados con el agua.
3. Determinar las principales amenazas antropogénicas que afectan a las turberas y los sistemas adyacentes para evaluar los impactos sobre sus procesos ecosistémicos.
4. Estimar y valorizar el volumen de agua que pueden almacenar las turberas.

3. Materiales y métodos

3.1 Marco teórico

3.1.1 Sistemas de información geográfica.

Los sistemas de información geográfica (SIG) han sido ampliamente utilizados en diferentes disciplinas vinculadas a ámbitos de gestión y planificación de los territorios (ej. geografía, ecología, ingeniería, etc.), como también en la resolución de problemas socioeconómicos o ambientales (Lara y col., 2006). Esta herramienta de análisis de información territorial consta de un sistema software, hardware y procedimientos para, manipular, analizar, modelizar y representar datos georreferenciados, ya sea mediante fotografías aéreas, imágenes satelitales o capas de información territorial.

La información que es procesada por estos sistemas puede ser presentada en dos formatos, vectorial y ráster. El formato vectorial representa la información gráfica internamente por medio de segmentos orientados de rectas o vectores (Carmona y Monsalve, 1999), dando como resultado un mapa reducido a pares ordenados de coordenadas que pueden formar puntos, líneas o polígonos. El formato ráster consiste en una grilla o red de cuadrados o rectángulos que contienen información alfanumérica que caracteriza a la superficie geográfica que involucra (Verardi, 2013). Esta red proviene de mapas, imágenes o fotos capturadas desde satélites, los que son digitalizados para obtener un archivo con esa información (Carmona y Monsalve, 1999).

3.1.2 Procesos y funciones en contexto de la ecohidrología

Los procesos ecosistémicos se pueden definir como las interacciones entre los componentes bióticos y abióticos, asociados a transferencias de energía y materia dentro de un ecosistema (ej. evapotranspiración, producción primaria, descomposición). Por su parte, las funciones ecosistémicas tienen relación con el comportamiento del ecosistema, que son el producto del resultado de uno o variados procesos ecosistémicos que ocurren

dentro del mismo (De Groot y col., 2002). Por lo tanto, las funciones ecosistémicas pueden ser concebidas como la capacidad de los procesos ecosistémicos para proporcionar bienes y servicios que puedan satisfacer las necesidades humanas de forma directa o indirecta (De Groot y col., 2002), como se representa en la Figura 3.

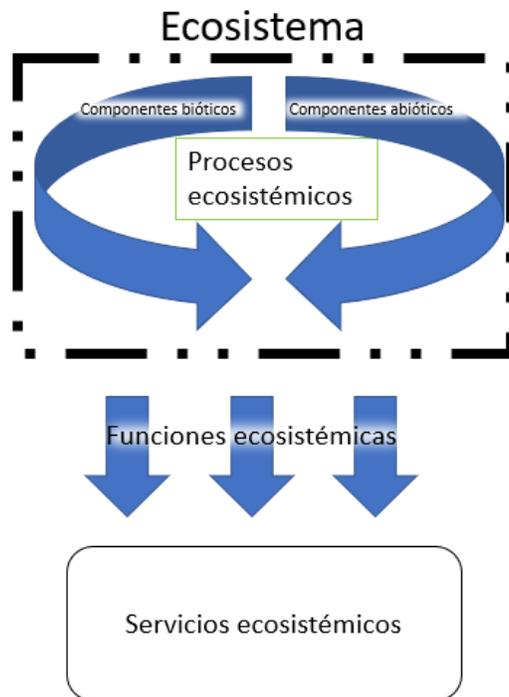


Figura 3. Esquema conceptual sobre los procesos, funciones y servicios ecosistémicos. En el esquema se muestra como los procesos ecosistémicos, que son resultado de interacciones dentro del ecosistema, dan origen a las funciones, las que si son aprovechadas por los seres humanos se traducen en servicios ecosistémicos. Elaboración propia.

La ecohidrología es un marco conceptual que promueve la integración de estudios de hidrología y ecología hacia la gestión sustentable de los recursos hídricos. En consecuencia, el enfoque ecohidrológico relaciona los componentes hídricos y biológicos del ecosistema, en una escala de cuenca hidrográfica (Zalewski y col., 1997), definiendo a esta unidad territorial como el escenario físico donde deben analizarse los procesos y funciones ecosistémicas.

Dentro de las turberas se relacionan procesos ecosistémicos, regulados por redes interactivas de carácter retroalimentativo entre componentes de la ecología vegetal, la biogeoquímica del suelo y la hidrología (Morris y col., 2011). Por lo tanto, todos estos procesos e interacciones sitúan a las turberas como un sistema modelo para la ecohidrología (Zalewski, 2000).

3.1.3 Modelos conceptuales

Los sistemas socioecológicos, analizados con un enfoque holista, son considerados sistemas complejos pues incorporan múltiples relaciones e interacciones. Uno de los métodos para representar estos sistemas es la elaboración y utilización de modelos conceptuales. Los modelos conceptuales son representaciones simplificadas de la realidad, en donde el modelador, mediante la recopilación de antecedentes y datos de interés, puede reproducir la dinámica del sistema a través de los componentes e interacciones más relevantes para responder una pregunta de investigación. Por lo tanto, los modelos conceptuales son una herramienta útil para conceptualizar las dinámicas y procesos de los ecosistemas o sistemas socioecológicos. No obstante, se debe tener en consideración que la realidad puede ser entendida de diversas maneras, y por lo tanto existen múltiples percepciones sobre esta (Marín y Delgado, 2008). Por ende, en el ámbito de la modelización ecológica, pueden existir diversos modelos de un mismo sistema, de acuerdo con la perspectiva del modelador.

En este seminario de título se generó un modelo conceptual mediante una aproximación proceso-funcional. Esta aproximación considera al ecosistema como procesador de materia y energía, donde sus componentes funcionales bióticos y abióticos pueden explicar la dinámica de los procesos que ocurren en el mismo (O'Neill y col., 1986). Una manera de representar la dinámica del ecosistema es identificar los componentes que pueden expresar en mayor medida, el proceso en estudio (Marín y Olivares, 1999).

Además, para definir los componentes se debe considerar si el proceso es consecuencia de una interacción intrasistema o intersistema entre los componentes (Delgado y Serey, 2002).

El esquema utilizado para elaborar los modelos conceptuales está compuesto por reservorios y fuentes (Fig. 4). Las fuentes corresponden a los recuadros de donde proviene el flujo de materia (agua), la cual es captada por el reservorio por efecto de la interacción entre los componentes bióticos y el agua. Esta interacción se cataloga como proceso ecosistémico y se representa como recuadros de borde azul. El reservorio corresponde a la representación del ecosistema, y es donde se acumula la materia, allí también ocurren las interacciones que dan origen a los procesos ecosistémicos, por medio de los cuales se traspasa la materia hacia otro reservorio. Además, un reservorio puede actuar como fuente de otro reservorio. El traspaso de materia entre las fuentes y los reservorios se representa con flechas de color negro. Los recuadros de color rojo corresponden a las intervenciones externas al sistema, que afectan la dinámica de este y las flechas rojas representan a que proceso o reservorio impacta dicha intervención.

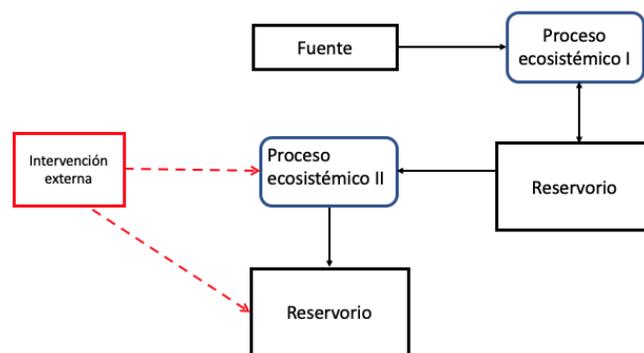


Figura 4. Esquema conceptual para la construcción de modelos. Los recuadros negros corresponden a los reservorios o fuentes, los recuadros azules corresponden a las interacciones entre los reservorios y las flechas indican la dirección de los flujos de información dentro del esquema. Las intervenciones externas corresponden a los recuadros de borde rojos cuyo efecto está representado por las flechas rojas punteadas y cuyo impacto puede afectar a un reservorio o proceso.

3.2 Área de estudio

El área de estudio se sitúa dentro de la cuenca hidrográfica de Quemchi, localizada en el sector noreste de la Isla de Chiloé, entre los paralelos 41°47' y 42°20' latitud sur y los meridianos 73°36' y 73°21' longitud oeste, Región de Los Lagos (Fig. 5). Es una cuenca costera de vertiente Este, ubicada entre punta Quetrelgue y estero San Juan, cercana a la localidad de Lliuco Alto, con una superficie de 548 km² y forma parte de los cuerpos de agua superficiales de la Isla Grande de Chiloé. La cuenca posee suelos de tipo ñadis y trumaos, cuyo origen geológico se remonta al período Cuaternario (Pleistoceno-Holoceno) y se asocian generalmente a depósitos monorreicos, fluvio-glaciales y glacialacustres formados en la última glaciación (Duhart y col., 2000). El clima de la cuenca (al igual que toda la isla) es de tendencia templada con fuertes influencias oceánicas, lo que se traduce en una humedad constantemente elevada y una escasa amplitud térmica (di Castri y Hajek, 1976). El régimen pluviométrico se distribuye a lo largo de todo el año aumentando en los meses de invierno, con ausencia de período estival seco; no obstante, las precipitaciones en verano son menos severas. La precipitación anual es cercana a los 2240 mm, mientras que las temperaturas varían entre los 19°C en el mes más cálido que corresponde a enero y los 4°C en el mes más frío que corresponde a julio (AGRIMED, 2017). El uso del suelo de la cuenca presenta coberturas de tipo matorral, praderas, bosque nativo y turberas principalmente. Su extensión abarca 3 comunas (Ancud, Dalcahue y Quemchi). Sin embargo, la mayor parte de su superficie incluye la división político-administrativa correspondiente a la comuna de Quemchi (un 80% aproximadamente de la superficie de dicha comuna).

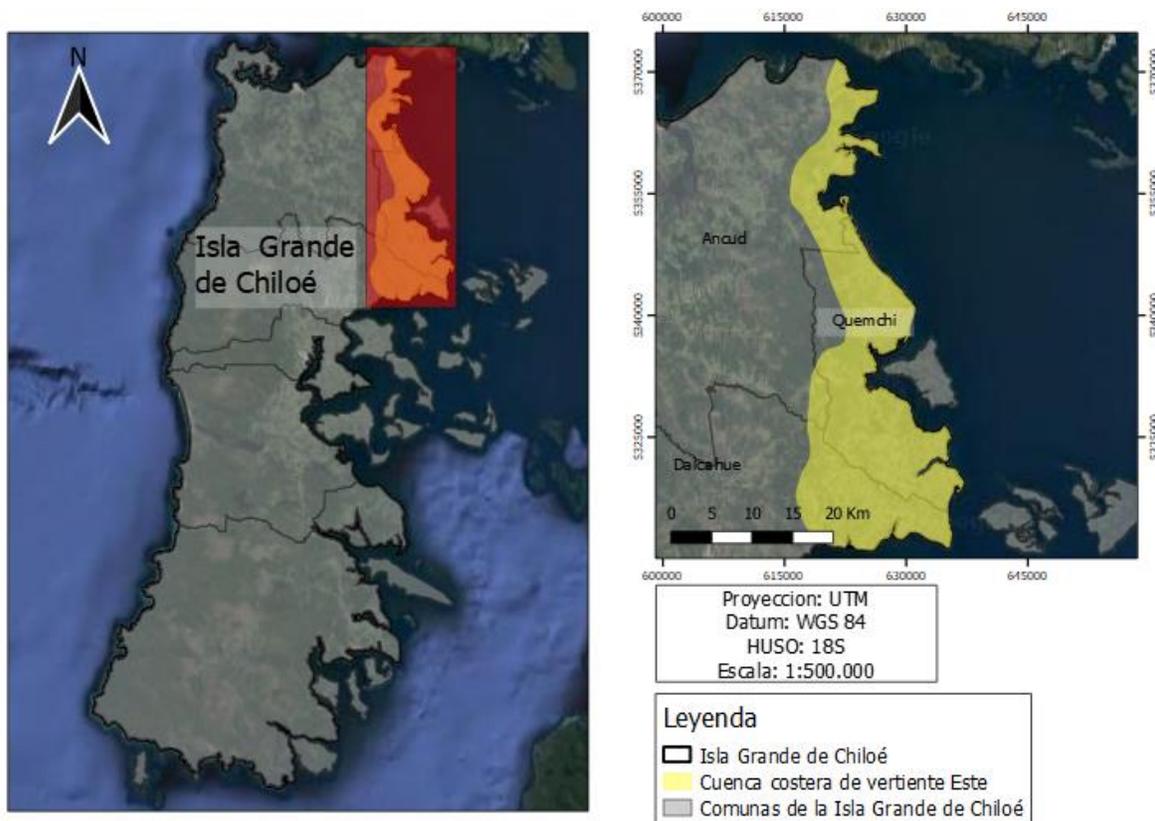


Figura 5. Cartografía de la cuenca en estudio. Esta cuenca se ubica dentro de la isla Grande de Chiloé, cuya extensión abarca 548 km², e incluye parte de la superficie de las comunas de Quemchi, Ancud y Dalcahue.

La comuna de Quemchi tiene una población estimada de 8352 habitantes según datos del último censo³ (2017). Las principales actividades económicas, de acuerdo con el PLADECO (Ilustre municipalidad de Quemchi, 2015-2019), corresponden a la pesca y la agricultura. Además, hay extracción de algas y del musgo *Sphagnum* (pompón), cultivo de mitílicos (choros) y otras especies vinculadas a la industria salmónida. En esta comuna existe un latente conflicto por el déficit hídrico, a causa de la baja valoración que la población da al servicio municipal de aguas y al estado de degradación en que se encuentra la cuenca (Frêne y col., 2014). Además, a la fecha, la comuna cuenta con una escasa infraestructura hídrica (red de alcantarillado y agua potable).

³ <http://www.censo2017.cl/descargue-aqui-resultados-de-comunas>, consultado el 22 de enero de 2020

3.3 Metodología

3.3.1 Caracterización ecohidrológica de las turberas

Procesamiento de imágenes satelitales

Para la identificación de las turberas se construyó un modelo de elevación digital (DEM). Este fue elaborado a partir de imágenes satelitales de la base de datos ASF DAAC 2011 del satélite ALOS PALSAR_Radiometric_Terrain_Corrected_hi_re (resolución= 6330 x 6330 m). El material está incluido en © JAXA/METI 2019, con acceso a través de ASF DAAC el 9 de mayo de 2019. La base de datos pertenece al portal web ESDS⁴.

Para obtener las imágenes correspondientes a la cuenca (Fig. 5), se generó un polígono utilizando herramientas del portal web y se seleccionaron dos imágenes correspondientes a archivos Hi-Res Terrain Corrected (Anexo 1 y 2) en formato ráster a escala 1:98.000. Posteriormente, las imágenes satelitales se unieron por medio del software ArcView para formar una sola imagen que incluyera toda la cuenca, y así generar el DEM. Una vez construido el DEM se pudo determinar la dirección del escurrimiento de aguas en la cuenca, simulando los cursos de agua de la misma. De esta manera se formó una división por microcuencas dentro de la cuenca de Quemchi, de acuerdo con las diferencias de elevación que existen en ella.

Identificación de las turberas dentro del modelo de elevación digital.

Se obtuvieron archivos vectoriales en formato Shapefile elaborados por CONAF dentro del proyecto “Catastro Nacional de usos de la tierra y de las formaciones vegetales”, Décima región de Los Lagos del año 2013 (CONAF/UACH, 2014). El catastro se compone

⁴ Earth Science Data Systems (ESDS) program, es un programa de la NASA, cuyo objetivo es maximizar el retorno científico de las misiones de la NASA y experimentos para la investigación y aplicación científica, tomadores de decisiones y sociedad en general. DOI <=<https://earthdata.nasa.gov/esds>>=>

de diversas categorías (Anexo 4) que dan información sobre los usos del suelo presente dentro de la región. Por ejemplo “praderas”, “matorral”, “plantaciones forestales”, “zonas urbanas”, etc.; además, entrega información sobre los atributos de los usos del suelo tanto en términos de composición vegetacional, superficie, entre otros.

A partir de esta base de datos, utilizando el software QGIS 3.4.9, se visualizó el DEM generado, para luego sobreponer las capas vectoriales, de forma que fuese posible distinguir las turberas. Para un análisis más certero de la información entregada por el catastro se seleccionó la categoría “Subuso”. Esta categoría entrega información más específica sobre el tipo de cobertura al que pertenece el polígono seleccionado. De esta forma se identificaron los polígonos que están dentro de la clasificación con el ID “Turbales”, determinando todas las turberas que se encuentran dentro de cada microcuenca del DEM. Para la elección de las turberas se definió que estas debían estar situadas dentro de una microcuenca que tuviera salida fluvial hacia el océano (microcuenca exorreica) y presentara alguna zona urbana. Una vez seleccionadas las turberas, se registró su superficie y composición florística, además de la ubicación geográfica de cada turbera, que fue obtenida mediante la herramienta de geometría de QGIS “centroide”, que calcula el punto medio del polígono asignado y entrega sus coordenadas geográficas (UTM).

Caracterización de procesos y funciones ecosistémicas de las turberas

Para la caracterización de las turberas, de acuerdo con sus procesos y funciones ecosistémicas, se utilizó la clasificación propuesta por De Groot y col (2002). Además, se determinaron los servicios ecosistémicos relacionados con el agua que provienen de los procesos ecosistémicos identificados basándose en la clasificación de CICES V5.1 (2018). Toda la información recopilada fue usada para la elaboración de un modelo conceptual de los procesos ecosistémicos y la dinámica ecohidrológica de una turbera.

3.3.2 Sistemas aledaños.

Utilizando el procedimiento descrito anteriormente para la identificación de las turberas, se determinaron los sistemas vegetacionales aledaños a estas. Para identificar dichos sistemas, se superpusieron las capas vectoriales obtenidas del catastro de vegetación CONAF (CONAF/UACH, 2014), definiéndose como sistema aledaño al polígono de la categoría “Subuso” que limita directamente con cada una de las turberas identificadas en la sección anterior. Luego, se clasificó cada sistema por tipo de cobertura y composición florística.

Para identificar los procesos ecosistémicos en cada sistema, primero se realizó una evaluación preliminar de los principales procesos que permiten la asimilación de agua en estos sistemas mediante revisión de la literatura. A continuación, se identificaron los procesos ecosistémicos basados en la misma clasificación descrita para las turberas. El análisis de los procesos ecosistémicos se enfocó en aquellos que tuviesen relación con el agua principalmente. Para evaluar la influencia de estos procesos dentro de la microcuenca y la turbera contigua, se utilizó aproximación cualitativa. Se clasificó su aporte en alto (++), medio (+) y bajo (-), de acuerdo con la influencia de dicho proceso sobre la hidrología de la turbera y la microcuenca.

3.3.3 Presiones antrópicas.

Encuesta socio-ecológica

Se determinaron los impactos antropogénicos sobre las turberas de Quemchi y los sistemas aledaños usando los resultados de la encuesta socio-ecológica del proyecto FONDECYT N° 1170532, titulado “Modelos conceptuales del sistema complejo sociedad-naturaleza”. De esta encuesta se usó solo la información de las localidades de la comuna rural de Quemchi. El número de hogares encuestados en la comuna (N= 52) generó

resultados con un nivel de confianza del 95% y un error del 13%. El cuestionario fue semi-estructurado, usando las respuestas a 13 preguntas (Anexo 7) acerca de la interacción de los y las habitantes de la comuna con las turberas, bosque nativo y las fuentes de abastecimiento de agua. La encuesta incluyó aspectos sobre la actividad económica que realizan los hogares, el uso del recurso hídrico, el uso de bosque y turberas (SSEE de aprovisionamiento) y temáticas ambientales. Todas y todos los encuestados cumplían con la mayoría de edad y se les informó sobre su participación como encuestados dentro del estudio mediante la entrega y firma de un consentimiento informado (Anexo 5).

Revisión bibliográfica

Toda la información recopilada de las encuestas se complementó con literatura referente a los impactos antropogénicos documentados sobre las turberas y los sistemas adyacentes. Ello con el fin de elaborar una síntesis sobre los efectos que tienen estas presiones en los procesos identificados en las secciones anteriores. Luego se elaboró un modelo teórico para conceptualizar los impactos antrópicos sobre los ecosistemas en estudio (turberas y sistemas aledaños).

3.3.4 Valoración económica del servicio ecosistémico de provisión de agua dulce.

Con el propósito de evidenciar la relevancia de las turberas sobre el balance hídrico de la cuenca, se recopiló la información de las encuestas sobre el origen del agua que abastece a los hogares de los encuestados. Posteriormente se realizó una valoración económica de carácter teórico, sobre el proceso ecosistémico de almacenamiento de agua, la cual se traduce en un potencial servicio ecosistémico de provisión de agua dulce.

Para esta valoración, se hizo una estimación de las precipitaciones que caen en una turbera durante un año. Se usaron datos de precipitaciones mensuales de una serie de

tiempo, entre enero de 2009 a diciembre de 2018 (Anexo 8), obtenidas desde la estación meteorológica de Quemchi (42°09' S y 73°29' O). Esta información está en línea dentro de la base de datos del portal web de la Dirección General de Aguas (DGA)⁵.

La precipitación media anual (PMA) se calculó sumando las precipitaciones mensuales de cada año (PM), obteniendo así precipitaciones acumuladas en un año (PA) como muestra la ecuación 1, luego se promediaron dichos valores para determinar la PMA (ecuación 2).

$$PA_x = \sum_{i=mes}^n PM_i \quad (1)$$

Donde

x : Año de la serie de tiempo

i : Mes correspondiente al año x

$$PMA = \frac{PAC_x + PAC_y + \dots + PAC_n}{N} \quad (2)$$

Donde

N : Número de años de la serie de tiempo

Los valores de precipitación mensual estaban expresados en unidades de milímetros de agua caída (mm), que es equivalente a litros por un metro cuadrado (l/m²). Estos se convirtieron a metros cúbicos por hectárea (m³/ha), para efectos de simplicidad en los valores numéricos y concordancia con las unidades de medida utilizadas.

A continuación, la PMA se dividió en el número de meses de un año, así se obtuvo la precipitación media mensual (PMM). Luego se estimó el cociente entre dicho valor y el área de cada turbera identificada en la microcuenca (ecuación 3) con el fin de estimar la cantidad de agua que cae sobre su superficie (ACT).

⁵ <http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes>, consultado el 17 de enero de 2020

$$ACT_{ID} = \frac{PMM}{Area\ turbera_{ID}} \quad (3)$$

Donde

ID: Número utilizado para identificar a cada turbera

Posteriormente, se calculó la cantidad de agua almacenada en una turbera (AA). Para ello se estableció, de acuerdo con la literatura, una tasa de retención del 20%. Por lo tanto, la cantidad de agua almacenada se calculó como el producto entre la tasa de retención y la cantidad de agua que cae sobre la superficie de la turbera (ecuación 4).

$$AA_{ID} = ACT_{ID} * 0,2 \quad (4)$$

A continuación, se realizó la equivalencia en pesos chilenos (\$) del volumen de agua almacenado en una turbera. Esta equivalencia se hizo utilizando la tarifa de agua de un comité de agua potable rural (APR) de la comuna, obtenido desde la encuesta, y de la red pública de agua potable correspondiente a Empresa de Servicios Sanitarios de Los Lagos S.A (ESSAL), cuya zona de distribución incluye parte de la Isla de Chiloé.

4. Resultados

4.1 Caracterización ecohidrológica de la turbera

4.1.1 Identificación de las turberas

Se ubicaron 7 turberas mediante la sobreposición de los archivos vectoriales de la base de datos de CONAF sobre el DEM (Fig. 6A). Estas turberas se encuentran cercanas a las localidades de Lliuco y Aucho. Para facilitar su identificación se les asignó un número a cada una como muestra la Figura 6B.

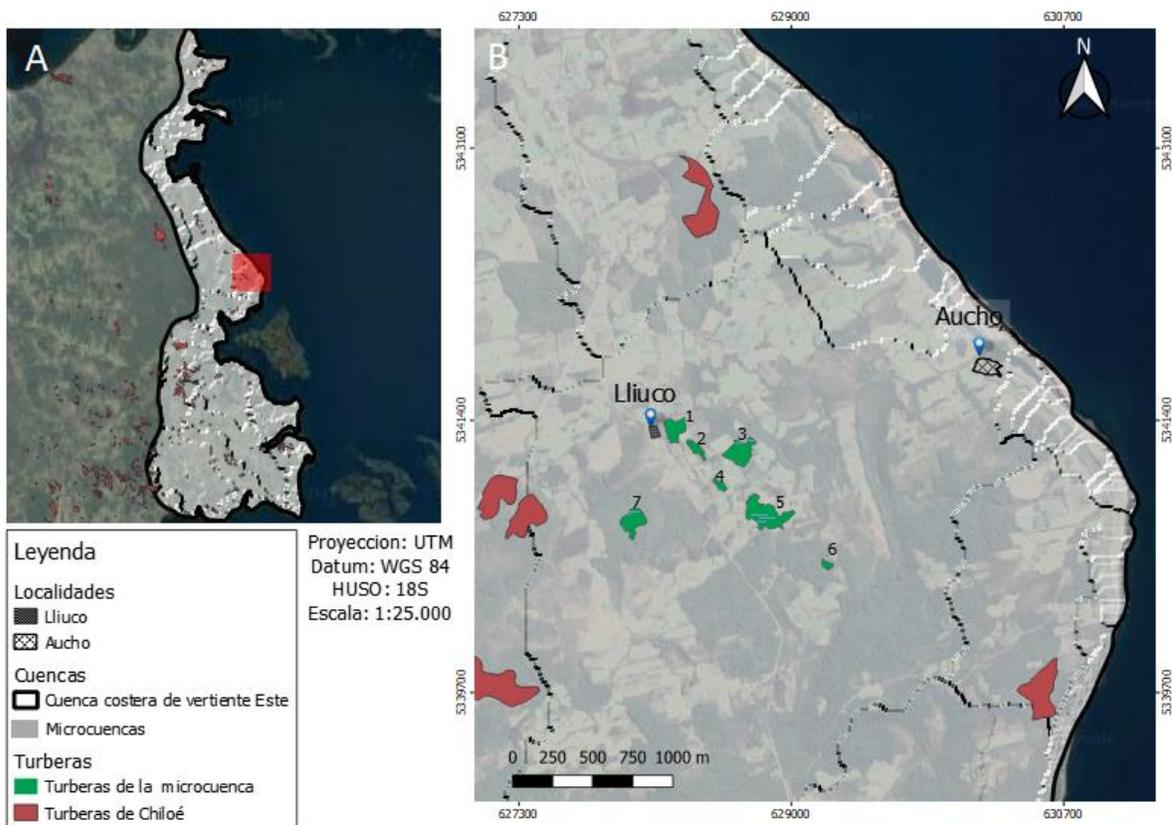


Figura 6. **A** Ubicación las turberas (color rojo) catastradas en la base de datos de CONAF y del modelo de elevación digital (DEM) para la cuenca de Quemchi. El modelo divide la cuenca en una serie de microcuencas de acuerdo con las diferencias de elevación geográfica. **B** Ubicación de las de turberas seleccionadas (color verde) en la microcuenca, las cuales se encuentran cercanas a las localidades de Lliuco y Aucho.

Utilizando la información proporcionada por la base de datos, se obtuvo la superficie (ha) y la composición vegetal de cada una de las turberas, además de su ubicación geográfica (Tabla 1). No obstante, el catastro vegetacional de CONAF no distingue entre turberas de origen natural y turberas de origen antrópico debido a la alta complejidad que significa diferenciar estos ecosistemas de manera remota.

En relación con su composición florística, se encontraron 4 especies que serían las de mayor dominancia en estos ecosistemas. Dentro de la composición se registran especies de briófitas como musgos del género *Sphagnum*, además de plantas vasculares de hábito arbóreo como el tepú (*Tepualia stipularis*) y de hábito arbustivo como la murtila de magallanes (*Empetrum rubrum*) y la chaura (*Pernettya mucronata*).

En lo que respecta a la ubicación y superficie de las turberas, la turbera 1 es la que se encuentra más cercana a la localidad de Lliuco cuya superficie corresponde a un 15% del total de las turberas identificadas. Por otra parte, la turbera 5 es la que presenta mayor superficie (35%) de todas las turberas identificadas, seguida por la turbera 3 con una superficie que representa el 21% del total. La turbera 6 es la más alejada de todas las localidades urbanas y es la que presenta menor superficie (2,5%). En total las turberas de la microcuenca cubren una superficie cercana a las 9,5 hectáreas.

Tabla 1. Caracterización de las turberas identificadas en la microcuenca.

| ID | Superficie (ha) | Superficie (%) | Ubicación geográfica (UTM) | Composición |
|-----------|-----------------|----------------|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Turbera 1 | 1,37 | 15,0 | 42°03'9" 73°26'59" | <i>Empetrum rubrum</i> <i>Pernettya mucronata</i> <i>Sphagnum sp</i> <i>Tepualia stipularis</i> |
| Turbera 2 | 0,52 | 5,7 | 42°03'13" 73°26'53" | |
| Turbera 3 | 1,92 | 21,0 | 42°02'13" 73°26'55" | |
| Turbera 4 | 0,28 | 3,1 | 42°02'21" 73°26'47" | |
| Turbera 5 | 3,21 | 35,1 | 42°03'26" 73°26'34" | |
| Turbera 6 | 0,23 | 2,5 | 42°03'36" 73°26'17" | |
| Turbera 7 | 1,62 | 17,7 | 42°03'28" 73°27'10" | |
| Total | 9,5 | 100 | - | |

4.1.2 Procesos y funciones ecosistémicas de las turberas

Se identificaron los procesos ecosistémicos referentes a la interacción vegetación-agua que dan origen a las funciones de regulación e información (Tabla 2). La función de hábitat no fue considerada pues su enfoque tiene que ver más bien con proporcionar un nicho para la biodiversidad, al igual que la función de producción que tampoco fue considerada por corresponder a provisión de materia orgánica. Ambas funciones si bien pueden atribuirse a muchas características de las turberas, no guardan relación con el objetivo de este seminario de título. Además, se reconocieron los SSEE que se originan a partir de los procesos y funciones ecosistémicas identificadas.

Tabla 2. Funciones procesos y servicios ecosistémicos identificados para las turberas. Adaptado de De Groot y col., 2002 y CICES V5.1 (2018).

| Función ecosistémica | Proceso ecosistémico | Sección | Servicio ecosistémico |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Regulación | Influencia de la cobertura vegetal sobre la mantención del clima. | Regulación y mantención (biótico) | Regulación del ciclo hidrológico y del clima |
| | Redirección y control de la escorrentía superficial y subsuperficial. | Regulación y mantención (biótico) | Rendimiento hídrico, abasteciendo y mantención de caudales superficiales |
| | | Regulación y mantención (biótico) | Abastecimiento y mantención de acuíferos subterráneos |
| | Almacenamiento, filtración y retención de agua dulce y sedimentos. | Regulación y mantención (biótico) | Control en la cantidad y calidad del agua. Regulación del clima. |
| | Mitigación y regulación de eventos de crecida de agua. | Regulación y mantención (biótico, abiótico) | Control de inundaciones |
| Información | Biodiversidad con valor educativo y científico. | Cultural (biótico y abiótico) | Estudios científicos y técnicos que generen conocimiento y aportes para la mantención de recursos hídricos y planes para el manejo de cuencas. |

Funciones de regulación

Se reconocieron las interacciones producto de la cobertura vegetal y del agua que ingresa y egresa a la turbera. De acuerdo con esta interacción es posible identificar los procesos de captación de agua mediante la intercepción y transpiración. La intercepción, se refiere al agua proveniente de las precipitaciones, que es captada por la cubierta de vegetación en las turberas, ya sea musgos, arbustos, o árboles, y la transpiración al agua que se evapora desde la vegetación a través de estomas o poros. En conjunto estos

procesos conforman la evapotranspiración, interacción mediante la cual el ecosistema contribuye a la mantención del clima a escala local.

Acerca de los procesos ecosistémicos de redirección y control de la escorrentía superficial y subsuperficial, la turbera aporta a la captación de agua por parte de los musgos *Sphagnum* presentes su superficie (estrato superior), que le permiten retener el agua que ingresa producto de las precipitaciones. Además, cuando el ecosistema llega a un estado de saturación, este puede redireccionar el exceso de agua mediante escorrentía superficial hacia los cursos de agua y sistemas adyacentes, y aportar con la regulación a la dinámica hídrica dentro de la cuenca. Por otra parte, el perfil de la turbera (estrato inferior) puede generar movimientos de agua horizontales, que permiten la infiltración de agua. Esta infiltración horizontal es producto de la presencia de materia orgánica en un estado de baja descomposición dentro de la turba (ej. restos de madera), que forma tuberías internas, dando como resultado procesos de redirección de escorrentía subsuperficial, que abastecen a los acuíferos subterráneos y el perfil de suelo de los sistemas adyacentes.

La interacción dada por la estructura completa del ecosistema (estrato superior e inferior) origina los procesos ecosistémicos de captación y retención de agua y sedimentos dentro de la matriz orgánica de la turbera. Respecto de la retención de sedimentos, el perfil de la turbera retrasa la carga sedimentaria en los flujos de agua que salen del ecosistema. Además, la alta capacidad de captación y almacenamiento de agua por el ecosistema retarda los flujos de agua que abastecen las crecidas de caudales dentro de la cuenca. Esto da origen al proceso ecosistémico de control de disturbios catastróficos como inundaciones.

Funciones de información

Se consideró esta función a pesar de no tener una relación directa con los procesos ecosistémicos vegetación-agua, pues el estudio de estos ecosistemas desde una perspectiva técnico-científica permite aportar con información relevante y funcional sobre el comportamiento ecohidrológico de las cuencas que tienen ecosistemas de turberas.

Modelo conceptual de una turbera

A continuación, se describe la conceptualización de las principales funciones y procesos ecosistémicos asociados a la dinámica ecohidrológica de las turberas identificadas en Quemchi (Fig. 7). El modelo representa una turbera diplotelmica, que presenta dos estrados; uno superior (acrotelmo) y otro inferior (catotelmo), la cual que recibe agua exclusivamente desde las precipitaciones, puesto que las turberas identificadas no se encuentran cercanas a ningún cuerpo de agua superficial.

Los recuadros de color negro representan a los reservorios o fuentes. La atmósfera provee de agua a la turbera mediante la precipitación, que es el flujo de agua que ingresa al ecosistema. El otro recuadro representa la turbera, dividida en acrotelmo y catotelmo, que mediante sus procesos y funciones provee de agua a los ecosistemas adyacentes. Los recuadros azules representan los procesos ecosistémicos atribuibles a cada reservorio y la orientación de las flechas indica la dirección de los flujos de agua dentro del modelo. En el acrotelmo, parte del agua que ingresa producto de las precipitaciones es devuelta al reservorio atmósfera producto del proceso ecosistémico de evapotranspiración. Por otra parte, este mismo estrato, en un estado de saturación, redirecciona la escorrentía superficial aportando con agua a los sistemas adyacentes a la turbera y cuerpos de agua superficiales. Dentro del catotelmo también ocurren movimientos de agua horizontal, los que pueden proveer agua al perfil del suelo circundante o bien hacia los acuíferos

subterráneos. En suma, el proceso ecosistémico de retención de sedimentos y almacenamiento de agua está dado por la interacción conjunta de los dos estratos. La línea azul punteada representar el nivel de la capa freática que diferencia un estrato de otro.

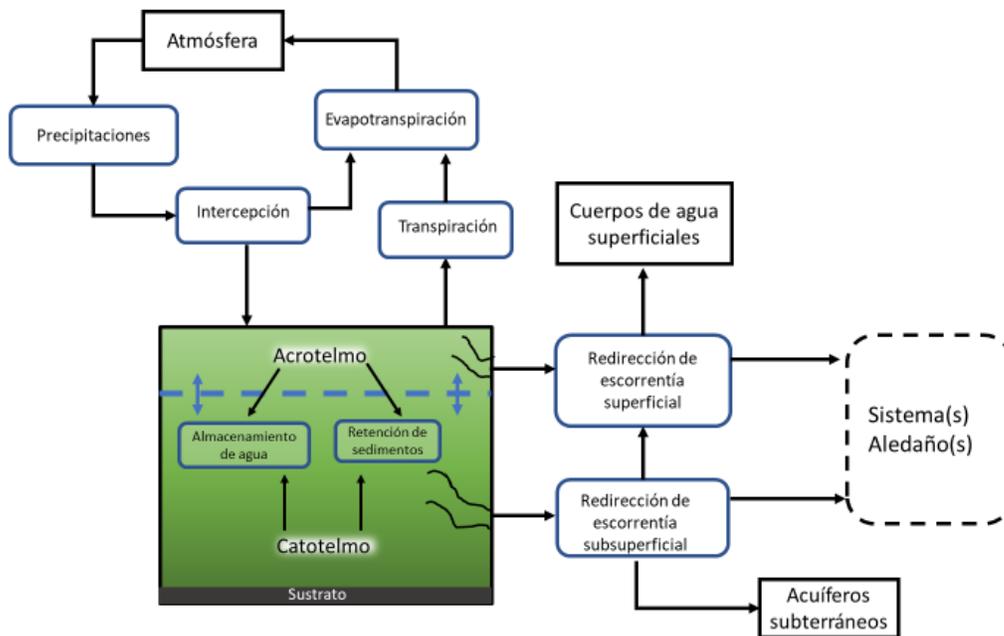


Figura 7. Modelo conceptual para una turbera de ombrotrofica de carácter diplotelmico en Quemchi. Se conceptualiza la dinámica ecohidrológica de una turbera a través de los procesos ecosistémicos de las interacciones vegetación-agua. Los recuadros de color negro corresponden a los reservorios, los recuadros azules indican los procesos ecosistémicos y las flechas negras señalan la dirección de los flujos de agua dentro del modelo.

4.2 Sistemas aledaños a las turberas.

4.2.1 Identificación de los sistemas vegetacionales aledaños

A través de las cartografías vectoriales de la fuente de datos se identificaron los sistemas aledaños a las turberas en la microcuenca. Se identificaron las coberturas de Bosque Nativo, Matorral, Matorral Arborescente y Praderas (Fig. 8). La cobertura “Plantaciones forestales” si bien se encuentra dentro de los subsistemas cercanos, no

colinda con ninguna de las turberas seleccionadas, por lo tanto, no fue considerada dentro del análisis.

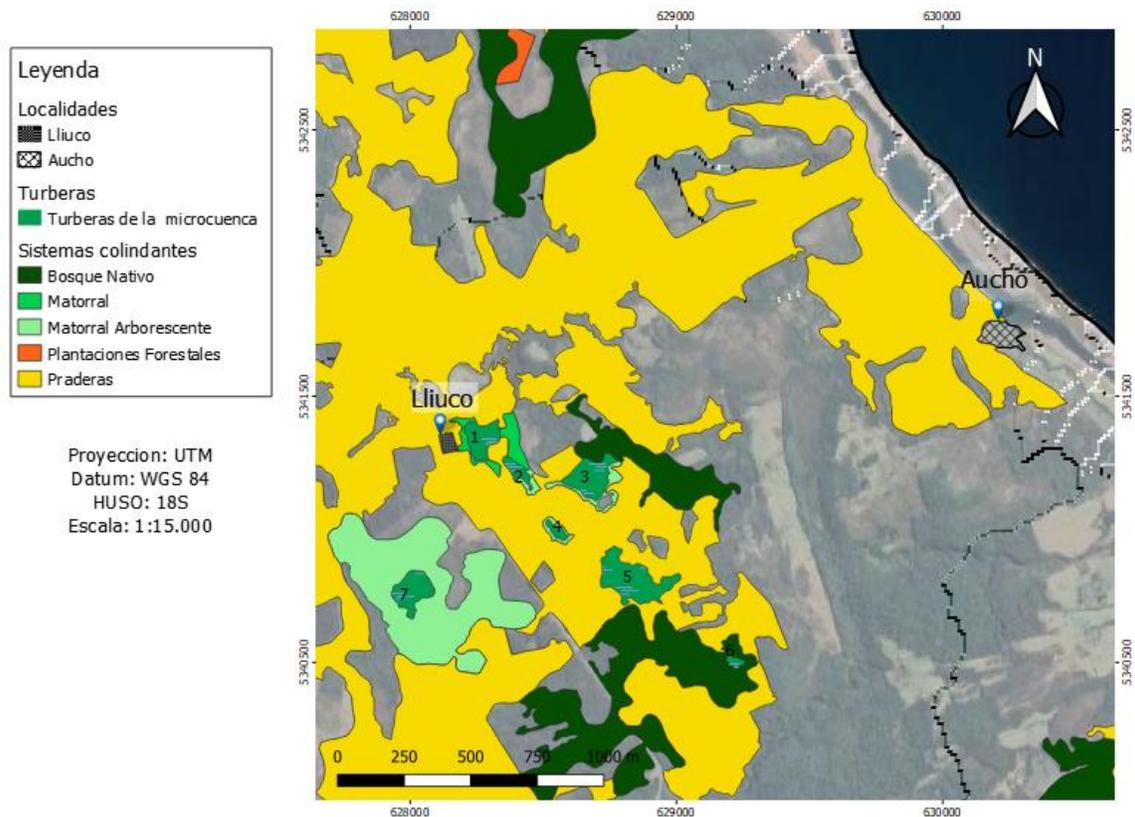


Figura 8. Sistemas aledaños. La figura muestra los tipos de sistemas que rodean a las turberas identificadas dentro de la microcuenca, donde se encuentran coberturas de tipo bosque nativo, matorral, matorral arborescente y praderas principalmente.

La mayor parte de las turberas colindan con Praderas (turberas 1,2,3, y 5) y Matorral Arborescente (turberas 2,3,4 y 7); donde las turberas 4 y 7 están rodeadas exclusivamente de este último (Tabla 3). Por otro lado, las turberas 1 y 2 limitan también con coberturas de tipo Matorral, mientras que las turberas 3 y 6 colindan con Bosque Nativo.

De acuerdo con la composición florística, se identificaron 17 especies, las cuales son las especies de mayor dominancia en cada uno de estos cuatro tipos de cobertura (Tabla 3). Dentro de estas especies hay 9 especies de arbóreas (*Drimys winteri*, *Luma apiculata*, *Amomyrtus luma*, *Laurelia philippiana*, *Eucryphia cordifolia*, *Aristotelia chilensis*,

Tepualia stipularis, *Nothofagus antártica* y *Lomatia ferrugínea*), 4 especies de hábito arbustivo (*Ulex europea*, *Berberis buxifolia*, *Fuchsia magellanica* y *Baccharis concava*) y 4 especies de hábito herbáceo (*Taraxacum officinalis*, *Holcus lanatus*, *Chusquea quila* y *Juncus* sp).

Tabla 3. Composición florística de los sistemas aledaños a las turberas de la microcuenca.

| Tipo de cobertura | Composición florística | Turbera adyacente |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Bosque nativo | <i>Amomyrtus luma</i> <i>Drimys winteri</i> <i>Eucryphia cordifolia</i> <i>Laurelia philippiana</i> <i>Luma apiculata</i> | Turbera 3 y 6 |
| Matorral | <i>Amomyrtus luma</i> <i>Aristotelia chilensis</i> <i>Berberis buxifolia</i> <i>Drimys winteri</i> <i>Holcus lanatus</i> <i>Taraxacum officinalis</i> <i>Ulex europea</i> | Turbera 1 y 2 |
| Matorral arborescente | <i>Amomyrtus luma</i> <i>Baccharis concava</i> <i>Berberis buxifolia</i> <i>Chusquea quila</i> <i>Drimys winteri</i> <i>Fuchsia magellanica</i> <i>Juncus</i> sp <i>Lomatia ferrugínea</i> <i>Nothofagus antártica</i> <i>Tepualia stipularis</i> <i>Ulex europea</i> | Turbera 2,3,4 y 7 |
| Praderas | <i>Drimys winteri</i> <i>Holcus lanatus</i> | Turbera 1,2,3 y 5 |

4.2.2 Procesos ecosistémicos de los sistemas aledaños

Para efectos del análisis se agrupó la categoría de uso de suelo Matorral arborescente con la categoría Matorral. La caracterización preliminar sobre la asimilación de agua dentro de cada sistema se enfocó en los procesos de infiltración y

evapotranspiración (Anexo 17). De acuerdo con esta caracterización, los ecosistemas pueden asimilar el agua debido a su cobertura vegetal y la profundidad de los sistemas radiculares. Sin embargo, la asimilación de agua puede variar en cada sistema de acuerdo con su composición florística y las prácticas de manejo que se pudiesen realizar en cada sistema (Tabla 4).

Tabla 4. Comparación de procesos de asimilación de agua en los sistemas aledaños.

| Sistema adyacente | Bosque nativo | Matorral | Pradera |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Proceso | | | |
| Evapotranspiración (Traspiración- intercepción) | Alta. Mayor cobertura del suelo y consumo hídrico. | Media alta. Presencia de especies arbóreas y arbustivas permite cubrir parte del suelo. | Media. Predominancia de especies herbáceas, menor área de cobertura en el suelo |
| Infiltración (Escorrentía superficial y subsuperficial) | Alta. Sistemas radiculares profundos inducen escorrentía subsuperficial y reducen escorrentía superficial | Media alta. Diferentes profundidades de sistemas radiculares permiten infiltración y escorrentía superficial | Media baja. Sistemas radiculares poco profundos, compactación del suelo por prácticas de manejo. |

A continuación, se identificaron los procesos ecosistémicos hidrológicos provenientes de la interacción vegetación-agua, que se encuentran incluidos dentro de la función de regulación (Tabla 5). El análisis cualitativo compara el aporte de cada sistema a la dinámica hídrica de la microcuenca de acuerdo con sus procesos ecosistémicos.

Tabla 5. Identificación de los procesos ecosistémicos relacionados con el agua en los sistemas aledaños y su aporte a la dinámica hídrica. Adaptado de De Groot y col., 2002.

| Proceso ecosistémico | Sistema aledaño | | |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------------|----------|---------|
| | Bosque nativo | Matorral | Pradera |
| Influencia de la cobertura vegetal sobre la mantención del clima. | ++ | ++ | + |
| Redirección y control de la escorrentía. Descarga de ríos y acuíferos | ++ | + | - |
| Mitigación y regulación de eventos de crecida de agua. | ++ | + | - |
| Almacenamiento, filtración y retención de agua dulce y sedimentos. | ++ | + | - |
| Regulación en los ciclos biogeoquímicos | ++ | ++ | + |
| Tratamiento de desechos | ++ | + | - |

(++) Alto (+) Medio (-) Bajo

Los resultados de este análisis muestran que el aporte del bosque nativo, en concordancia con los procesos ecosistémicos relacionados al agua, es alto. En contraste, las praderas presentan características que sugieren un escaso aporte a la dinámica hídrica de la microcuenca, mientras que el matorral muestra un aporte parcial de sus procesos ecosistémicos hacia la dinámica hídrica de la microcuenca.

Modelo conceptual de un sistema aledaño a una turbera.

El modelo conceptual es genérico para cualquiera de los sistemas identificados (Figura 9). El contraste entre la captación de agua de las categorías de uso de suelo esta

dado por las diferencias en evapotranspiración e infiltración identificadas en la sección anterior.

El modelo muestra los flujos de agua que abastecen a un ecosistema aledaño a una turbera. El ingreso de agua al sistema está dado por las precipitaciones y la redistribución de la escorrentía superficial y subsuperficial de la turbera adyacente. El flujo de agua proveniente de las precipitaciones es asimilado por el sistema mediante los procesos de interceptación y transpiración, donde parte de esta agua retorna a la atmosfera. Además, se incluye el proceso de infiltración, que hace referencia al agua que no es interceptada por la cobertura vegetal y penetra en el suelo. Allí el flujo hídrico puede quedar retenido como humedad en el perfil del suelo o abastecer a los acuíferos subterráneos. En caso de que el suelo del sistema esté compacto, puede alcanzar un estado de saturación más rápido y en consecuencia el agua puede ser redireccionada por medio de la escorrentía superficial hacia cuerpos de agua superficiales.

En relación con el agua que provee la turbera, esta puede llegar a un cuerpo de agua superficial o a un sistema aledaño mediante escorrentía superficial. Si llega a un sistema aledaño, este puede absorber el agua mediante infiltración o bien redireccionar el agua hacia otro sistema o cuerpo de agua superficial. Igualmente, el flujo de agua subsuperficial que provee la turbera puede ser incorporado por el sistema adyacente mediante sus raíces o bien percolar hacia algún acuífero subterráneo.

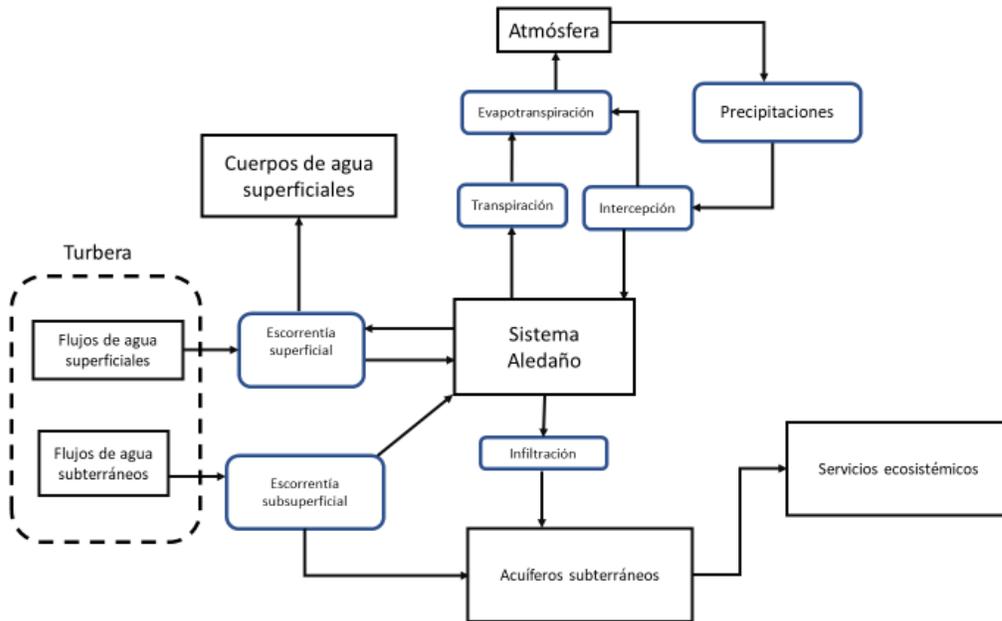


Figura 9. Modelo conceptual sistema aledaño. En esta figura se representa la conceptualización de la dinámica hidrológica de un sistema colindante a la turbera, enfocada en sus procesos hidrológicos. Los recuadros de color negro corresponden a los reservorios, los recuadros azules indican los procesos ecosistémicos y las flechas de color negro señalan el sentido del agua dentro del modelo.

4.3 Presiones antrópicas

4.3.1 Encuesta sociológica

De los 52 hogares encuestados en la comuna, el 62% de las personas encuestadas fueron mujeres mientras que el 38% fueron varones, cuyo rango etario promedio es de 53 años y una desviación estándar de ± 15 años. En relación con la actividad laboral que desempeñan las y los entrevistados, el 1,9% mencionó dedicarse a alguna actividad relacionada con el pompón (Anexo 9). Acerca de la extracción del pompón, 9,6% de los entrevistados afirmaron conocer sitios en los cuales se extrae este bien dentro de la comuna (Anexo 10). Además, un entrevistado contestó que la extracción del pompón se realizaba dentro de su propio predio. Sobre de la frecuencia y cantidad de musgo extraído, todos los entrevistados comentaron extraer una “bolsa” como unidad de medida, y la extracción la realizan algunos meses del año, a excepción de un entrevistado que comentó explotar el pompón durante todo el año (Anexos 11 y 12). En cuanto a la presencia de turberas

(pomponales) en la comuna, el 36,6% de los entrevistados respondieron que hay pomponales cerca de sus casas (Anexo 13). De ellos, 15,4% afirmó extraer musgos desde estos ecosistemas, mientras que 1,9% mencionó sacar agua.

La segunda parte de la encuesta tuvo relación con la percepción de la gente sobre los cambios en el paisaje con el transcurso de tiempo, en términos de sistemas naturales. El 71,2% de las respuestas indican que los pomponales han disminuido, mientras que 84,6% de los entrevistados percibe que el bosque nativo ha reducido su superficie. No obstante, las plantaciones forestales parecen no tener mayores cambios con relación al área que cubren dentro de la comuna (Anexo 13). La información recopilada de las encuestas fue complementada con literatura acerca de las presiones antrópicas que se ejercen sobre los ecosistemas identificados (Tabla 6).

Tabla 6. Principales presiones antrópicas sobre turberas y sistemas aledaños.

| Presión antropogénica | Impacto | Referencia |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Extracción/cosecha de musgo | Alteración en la tasa de crecimiento del musgo. | Whinam y col., 2003 Encuestas socio-ecológicas Chiloé 2019 |
| | Disminución de la capacidad de retención de agua y control de inundaciones. | Domínguez, 2014 Encuestas socio-ecológicas Chiloé 2019 |
| Cambios de uso de suelo | Perdida de la estructura y composición del ecosistema, reemplazo de ecosistemas. | Caprioli, 2019 Encuestas socio-ecológicas Chiloé 2019 |
| Extracción de lodo/Turba | Pérdida de capacidad de retención agua, control de inundaciones y regulación del clima | Zegers y col., 2006 |
| Canales de drenaje | Desecación del musgo y la turba, pérdida de retención y captación de agua | Zegers y col., 2006 |
| Pastoreo intensivo | Alteración en la composición del ecosistema. Introducción de especies herbáceas. | Van der Knaap y col., 2011 |
| | Compactación del suelo, menor almacenamiento de agua. Aumento en la escorrentía superficial, disminución de la infiltración | Meyles y col., 2006 Noble y col., 2017 |
| Monocultivos | Alteración en la humedad en el suelo, flujo y calidad del agua Aumento de erosión del suelo y transporte de sedimentos por escorrentía. | Lara y col., 2009 Encuestas socio-ecológicas Chiloé 2019 |
| Cambio Climático* | Transformación del ecosistema (pastizales o matorrales) | Dise, 2009 |

*Disminución en las precipitaciones y aumento en las temperaturas

4.3.2 Revisión bibliográfica

En concordancia con la información recopilada desde las encuestas y junto con la revisión bibliográfica, se identificó la amenaza de extracción y cosecha del musgo *Sphagnum* sobre la capa superficial de la turbera (acrotelmo). Igualmente, se reconocieron los cambios en el uso y cobertura de los suelos como una amenaza que se relaciona con las respuestas de las encuestas. Este proceso se establece desde el ámbito legislativo la posibilidad de reemplazar la cobertura del suelo para propiciar el terreno hacia otros fines (ej. usos agrícolas, silvícolas, obras de infraestructura, entre otros.). Dentro de esta categoría se incluyen amenazas como la explotación minera de las turberas, las zanjas de drenaje, el sobrepastoreo y la plantación de monocultivos de tipo forestal. Por último, el cambio climático asoma como una presión de carácter antrópico, debido a la influencia que ha tenido el ser humano en acelerar este fenómeno de escala global.

Modelo conceptual presiones antrópicas sobre la turbera

Los impactos de las presiones antrópicas identificadas están representadas en el modelo a través de flechas punteadas de color rojo, las cuales indican si la presión afecta a un reservorio o a un proceso ecosistémico (Fig. 10). La extracción del musgo *Sphagnum* afecta directamente al acrotelmo, perturbando la estructura y composición de dicho estrato al remover parte de la biomasa que allí se encuentra, lo que se traduce en una menor capacidad de almacenar agua. Luego, la extracción de turba o lodo desde la turbera afecta la estructura y composición de ambos estratos, impactando directamente en los procesos ecosistémicos de almacenamiento de agua y retención de sedimentos. Por otra parte, la construcción de canales de drenaje impacta en los flujos de agua que egresan del ecosistema, alterando la redistribución de agua hacia sistemas adyacentes. Otra presión corresponde a la introducción de ganado a la turbera, el cual puede consumir la biomasa del acrotelmo, alterando la composición vegetal de dicho estrato. Por su parte los

monocultivos forestales ejercen impacto sobre los flujos de agua que salen del ecosistema, ya que, al ser sistemas compuestos de especies de crecimiento rápido, su requiriendo hídrico mayor. Además, estos sistemas son comúnmente talados, lo que puede influir en la carga sedimentaria que va hacia los flujos de agua. Por último, se encuentran los efectos del cambio climático, representados en el reservorio atmósfera en forma de disminución en la frecuencia de las precipitaciones y aumento gradual de las temperaturas. Dichos cambios pueden generar una mayor tasa de evapotranspiración y por ende una mayor pérdida de agua en la turbera, lo que puede conducir a que este ecosistema se seque ocasionando cambios en su estructura y composición.

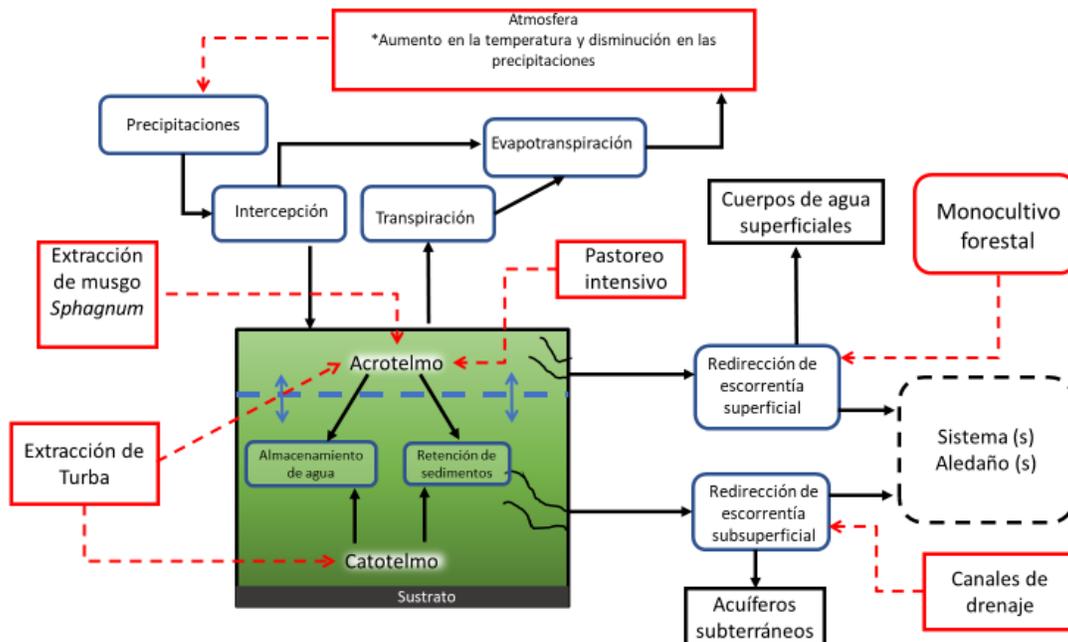


Figura 10. Modelo conceptual sobre de las presiones antrópicas que impactan a una turbera de Quemchi. Se representan las distintas amenazas identificadas, las cuales afectan a los procesos y funciones ecosistémicas de una turbera. Los impactos están representados como recuadros de color rojo, mientras que las flechas rojas punteadas indican si el impacto afecta a un reservorio o a un proceso ecosistémico.

Modelo conceptual presiones antrópicas sobre un sistema aledaño.

El sobrepastoreo afecta al sistema a través del consumo de biomasa vegetal, alterando su estructura y composición (Fig. 11). Además, disminuye la infiltración de agua

hacia el perfil del suelo y acuíferos subterráneos e intensifica la escorrentía superficial. Por otra parte, las plantaciones forestales afectan la disponibilidad de agua, producto de su alto requerimiento de hídrico, cuyo impacto está representado por el consumo de agua redistribuida desde la turbera o de algún cuerpo de agua subterráneo o superficial. Además, los impactos que produce la tala de estos ecosistemas aumentan la erosión en el suelo y la carga sedimentaria que escurre hacia los cuerpos de agua. Por último, el cambio climático afecta la disponibilidad hídrica para los sistemas, aumentando la pérdida de agua por evapotranspiración que puede alterar la composición y estructura del ecosistema.

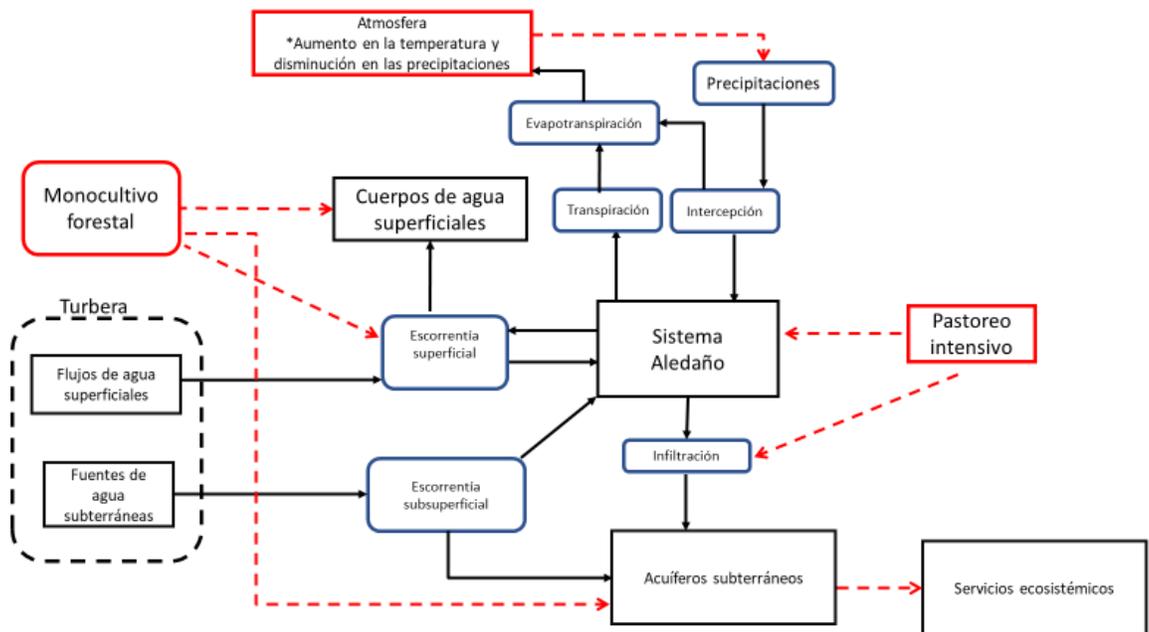


Figura 11. Modelo conceptual de las presiones antrópicas sobre un sistema aledaño a una turbera. Se conceptualizaron las principales amenazas identificadas para un ecosistema adyacente a una turbera en la comuna de Quemchi. Los recuadros rojos indican las presiones antrópicas, mientras que las flechas rojas punteadas señalan si la presión tiene un efecto sobre un reservorio o sobre un proceso ecosistémico.

4.4 Valoración económica del SSEE de provisión de agua dulce.

Los resultados de la encuesta acerca del origen del agua que abastece los hogares en la comuna mostraron que el 69,2% de estos se abastecen de agua proveniente de comités de Agua Potable Rural (APR). Un 17,3% señala que obtienen agua de algún cuerpo

natural, como lo son ríos, humedales o vertientes. Además, el 5,8% mencionó que obtienen agua desde pozos o norias, y la misma cantidad comentó abastecerse de agua desde alguna red pública de agua potable (Anexo 14).

La PMM correspondiente a los años 2009-2018 para la cuenca de Quemchi tuvo un valor de 1931 m³/ha. Luego se obtuvieron valores de almacenamiento de agua (m³), que representan el agua que es interceptada y posteriormente almacenada por una turbera de acuerdo con su superficie y a la cantidad de agua que cae sobre ella (Tabla 7).

Tabla 7. Retención de agua por la red de turberas.

| ID | Superficie (ha) | Agua caída sobre la superficie de la turbera (m ³) | Almacenamiento de agua (m ³) |
|--------------|-----------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Turbera 1 | 1,37 | 2645 | 529 |
| Turbera 2 | 0,52 | 1004 | 201 |
| Turbera 3 | 1,92 | 3707 | 741 |
| Turbera 4 | 0,28 | 541 | 108 |
| Turbera 5 | 3,21 | 6198 | 1240 |
| Turbera 6 | 0,23 | 444 | 89 |
| Turbera 7 | 1,62 | 3128 | 626 |
| Total | 9,15 | 17668 | 3534 |

Con la información recopilada de las entrevistas se valorizó el agua que almacenan las turberas de acuerdo con la tarifa de consumo de agua de una APR de Quemchi urbano (Tabla 8). El costo fijo mensual corresponde a una fracción de la tarifa que se cobra independientemente del consumo de agua que tenga el usuario (\$/mes) mientras que el cargo variable corresponde a la fracción de la tarifa que varía de acuerdo con el consumo de agua mensual (\$/m³) por parte de los miembros del comité de APR. Cabe destacar

también que muchas APR tienen cargo variable de sobreconsumo ($\$/m^3$), no obstante, dicho valor no fue considerado en el análisis.

Tabla 8. Tarifa de un comité de Agua Potable Rural en Quemchi.

| Tarifa APR | |
|-------------------|----------------------|
| Costo fijo | \$1.500 |
| Cargo variable | \$200/m ³ |

Al calcular la equivalencia del volumen de agua almacenada en cada turbera utilizando la tarifa de la APR se obtuvo que la turbera de mayor superficie (turbera 5) almacena una cantidad de agua que puede ser valorizada como \$249.500/mes. La turbera de menor superficie (turbera 6) almacena una cantidad de agua que se traduce en un consumo de \$19.100/mes (Tabla 10).

En lo que respecta a la tarifa⁶ establecida por ESSAL (Tabla 9), se utilizó el tarifario perteneciente al grupo 2. Esta tarifa contempla además del costo fijo y el cargo variable, cargos por m³ de recolección y por tratamiento de agua, cuyos valores al igual que el cargo variable, se añaden a la tarifa total y varían en función del consumo de agua potable ($\$/m^3$).

Tabla 9. Tarifa de agua potable de la compañía de agua potable ESSAL.

| Tarifa ESSAL | |
|-----------------------|-------------------------|
| Costo fijo | \$756 |
| Cargo Variable | \$594,98/m ³ |
| Cargo por recolección | \$653,71/m ³ |
| Cargo por tratamiento | \$274,85/m ³ |

⁶ <https://www.essal.cl/clientes/tarifas>, consultado el 2 de julio de 2020

Al realizar la equivalencia en volumen de agua almacenada por cada turbera, el valor de la turbera 6 asciende a \$136.080/mes, mientras que para la turbera 5 el costo por consumo aumenta a \$1.889.946/mes como muestra la Tabla 10.

Tabla 10. Valoración económica del volumen de agua almacenada por las turberas mediante la tarifa de un comité de APR en Quemchi.

| ID | Valor agua almacenada | Valor agua almacenada |
|-----------|------------------------|--------------------------|
| | Tarifa APR (\$/mes) | Tarifa ESSAL (\$/mes) |
| Turbera 1 | 107.300 | 806.817 |
| Turbera 2 | 41.700 | 306.706 |
| Turbera 3 | 149.700 | 1.130.418 |
| Turbera 4 | 23.100 | 165.498 |
| Turbera 5 | 249.500 | 1.889.946 |
| Turbera 6 | 19.100 | 136.080 |
| Turbera 7 | 126.700 | 953.909 |

Finalmente, los valores obtenidos por hectárea de turbera correspondientes a cada tarifa de agua potable fueron de \$78.737/ha/mes basados en el comité de APR y de \$589.122/ha/mes basados en la empresa ESSAL.

5. Discusión

5.1 Modelo ecohidrológico de turberas.

En primer lugar, cabe mencionar que las turberas identificadas para la elaboración del modelo son denominadas dentro del catastro vegetacional de CONAF como “turbales”, pues esta base de datos no distingue entre turberas de origen antrópico ni de origen natural, debido a que la diferenciación entre estos dos ecosistemas resulta compleja desde una aproximación de sensoramiento remoto. Un informe solicitado por Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) en 2007, tuvo como objetivo identificar y catastrar turberas productoras de *Sphagnum* en la región de Los Lagos mediante el uso de imágenes satelitales y técnicas de clasificación de imágenes (supervisada y no supervisada). Los resultados no lograron discriminar las señales espectrales de ambos tipos de turberas mediante la clasificación supervisada. Incluso para la clasificación no supervisada, los resultados muestran incertezas en la identificación y diferenciación de coberturas vegetales, por lo que discernir entre turberas naturales y antropogénicas mediante percepción remota resulta un desafío mayor. Por lo tanto, la identificación y clasificación espacial de las turberas mediante el uso de este tipo de herramientas es todavía un campo que puede ser perfeccionado, apoyado y complementado con trabajo en terreno.

Los procesos ecosistémicos que surgen a partir de interacciones agua-vegetación en una turbera son una fuente importante de funciones sistémicas que se traducen en beneficios para las comunidades humanas. En primer lugar, se ha reconocido el proceso ecosistémico de regulación climática proveniente de la vegetación de la turbera. Este proceso está dado por el estrato superficial, dominado por musgos *Sphagnum*, que asimilan y fijan el CO₂ atmosférico, para sintetizar materia orgánica, la que posteriormente se acumula en forma de turba producto de una lenta descomposición (Iturraspe, 2010). Este proceso se ve favorecido por las condiciones de anegamiento por agua, que ralentizan la

tasa de descomposición, mientras que el lento flujo subsuperficial permite que la materia orgánica parcialmente descompuesta se acumule (Holden, 2005; Dise, 2009). En consecuencia, la contribución de estos ecosistemas a la captación y almacenamiento de CO₂ tiene una relación directa con la hidrología de la turbera y el servicio ecosistémico de regulación climática.

Por otra parte, la capacidad de las turberas para redireccionar flujos de agua, tanto de manera superficial como subterránea, permite el suministro de agua hacia acuíferos, ecosistemas, y comunidades humanas que se encuentran aguas abajo en la microcuenca. Muchos hogares en la comuna de Quemchi se abastecen de manera directa desde pozos y vertientes en sus predios (Anexo 14). Además, los comités de APR necesitan una fuente de agua superficial o subsuperficial para captarla y redistribuirla (encuesta socio-ecológica 2019). En suma, estos ecosistemas al retardar la carga sedimentaria que va hacia los flujos de agua mejoran la calidad del agua que las personas consumen de forma directa. Es por lo que las turberas asoman como un eje fundamental para salvaguardar la disponibilidad de agua en la isla y en consecuencia es posible inferir su fuerte vínculo con la seguridad hídrica de las comunidades humanas.

Acerca del control que tienen estos ecosistemas sobre eventos de crecidas abruptas, no hay estudios para Chiloé que correlacionen la ausencia de turberas con episodios de inundación. No obstante, el creciente aumento de suelos desprovistos de cubierta vegetal, producto de actividades extractivas como la explotación de bosque nativo y turberas, podría ser una causa que explique el aumento en los caudales de los ríos durante eventos de precipitaciones extremas (comunicación personal residente de Quemchi 2020). Sin embargo, la capacidad de controlar crecidas abruptas de los flujos de agua superficiales por parte de las turberas debe ser contrastado con el grado de saturación y las características topográficas del lugar donde se encuentran situadas. Estudios

realizados en turberas ombrotóricas del hemisferio norte, demuestran que estas pueden tener una rápida respuesta frente a escenarios de precipitaciones; donde, en lugar de retener el agua, la liberan, ocasionando episodios de crecidas abruptas (Holden, 2005). Este fenómeno ocurre como consecuencia del estado de saturación de la turbera en ese momento, donde no es capaz de seguir almacenando agua y por lo tanto la libera rápidamente. Por lo tanto, para considerar este servicio ecosistémico hay que tener en cuenta la topografía y el estado de saturación de la turbera, ya que esta no siempre actúa como una “esponja” que absorbe y retiene agua.

Conocer las interacciones ecohidrológicas dentro de estos ecosistemas resulta relevante para el desarrollo de programas educativos de índole ambiental (ej. León, 2012), así como para planes de manejo y protección de humedales. Se ha descrito que el comportamiento de los humedales está ligado al funcionamiento de los flujos de agua superficiales y subsuperficiales (De la Hera y col., 2016). Así, entendiendo las interacciones entre la vegetación y el agua dentro de las turberas, es posible conocer el comportamiento de estos ecosistemas. De esta forma, si se aplica este conocimiento de manera conjunta con planes de gestión y manejo, se puede hacer más eficiente la protección de estos ecosistemas y, por consiguiente, los servicios ecosistémicos que proveen. En Catrumán, localidad rural ubicada en la comuna de Ancud (Chiloé), se desarrolló un proyecto de red participativa de agua potable con el fin de enfrentar el déficit hídrico que afecta la localidad principalmente en el periodo estival. Uno de los ejes fundamentales de este proyecto fue la construcción de un humedal artificial para depurar las aguas servidas que provenían de los hogares (Red de agua Chiloé, 2018). A pesar de que el tratamiento de las aguas servidas se realizó por medio de la construcción de un humedal artificial, si consideramos las cualidades de las turberas, a través de su conocimiento es posible aportar y mejorar la elaboración de planes de gestión del agua, en donde se incorporen estos ecosistemas

como parte de la red de agua potable, en vista de la ausencia de infraestructura hídrica que hay en la comuna de Quemchi.

El modelo conceptual elaborado (Fig.8) integra los principales procesos y funciones ecosistémicas de una turbera que tiene relación con hidrodinámica del ecosistema. En este seminario de título se optó por un modelo diplotélmico, que incorpora la estructura de dos capas (acrotelmo-catotelmo) y permite identificar los procesos ecosistémicos que ocurren dentro y entre sus capas, por consiguiente. Este modelo ha sido ampliamente utilizado y aceptado en estudios de ecohidrología y modelación de turberas debido su simplicidad y aplicabilidad general (Morris y col., 2011). Sin embargo, su enfoque es dirigido a modelos hidrológicos cuyos alcances se limitan al momento de integrar interacciones de otra naturaleza (biogeoquímicas principalmente). En particular, el modelo de este estudio incluye una revisión de las principales interacciones ecohidrológicas que ocurren dentro de la turbera. Sin embargo, hay interacciones que no son posibles de representar y tienen relación con variables climáticas y estacionales que influyen en el nivel de la capa freática y en la evapotranspiración, además de aspectos topográficos como la pendiente que pueden indicar variaciones en escorrentía e infiltración de agua. A nivel interno el modelo tampoco incluye los flujos verticales de agua dentro del perfil de la turba a consecuencia de la apertura de macro y microporos (Holden, 2005). No obstante, incluye flujos laterales de agua subterránea a consecuencia de tuberías internas dentro de la turba. Todas las características mencionadas anteriormente le otorgan un mayor realismo y complejidad al modelo y debiesen ser consideradas para la construcción de un modelo dinámico. Así, el modelo generado es una primera aproximación a la modelización ecohidrológica de turberas ombrotroficas de Chiloé, el cual entrega información que puede ser relevante en la elaboración de modelos predictivos, cuyo propósito puede aportar a disciplinas como la

ecología, hidrología y biogeoquímica, además de contribuir a planes y programas de manejo y gestión del agua en la isla de Chiloé.

5.2 Modelo conceptual de los sistemas aledaños.

Los resultados de la caracterización de los sistemas aledaños muestran diferencias entre los criterios establecidos de evapotranspiración e infiltración de agua. Estas diferencias pueden ser explicadas principalmente por la composición vegetacional de cada sistema. Sistemas con predominancia de especies arbóreas, como el bosque nativo, tienen una mayor superficie foliar y profundidad radical (Echeverría y col., 2007). Por ello, su tasa de evapotranspiración e infiltración debiesen ser mayores en comparación a los sistemas de matorral y pradera respectivamente.

Los procesos ecosistémicos hídricos de los sistemas aledaños contribuyen de distinta forma a la dinámica hídrica de la turbera y de la microcuenca en general. Esto puede ser consecuencia del grado de intervención al que se está expuesto cada sistema. A modo de ejemplo, las praderas son comúnmente utilizadas para actividades agropecuarias debido a su composición vegetacional, dominada principalmente por gramíneas, que son fuente de alimento para el ganado. Por consiguiente, los impactos de esta intervención pueden afectar la estructura del suelo y por ende la hidrología del sistema en su conjunto, lo que podría justificar el bajo aporte de sus procesos ecosistémicos a la hidrología de la turbera y de la microcuenca como se muestra en la Tabla 5. En cambio, los matorrales al compartir características con los sistemas de bosque nativo y pradera son propensos a ser intervenidos por acción antrópica y por ende sus procesos y funciones ecosistémicas también pueden ser vulnerables a alteraciones. Los bosques nativos en la Isla Grande de Chiloé están estrechamente ligados a la formación de turberas, en particular los bosques pantanosos, como los tepuales (Bannister, 2018). Por lo tanto, su asociación dentro del balance hídrico de la cuenca también es considerable en términos de captación y retención

de agua. Esto podría sugerir que parte importante de los procesos ecosistémicos identificados en el bosque nativo tiene un aporte positivo a las turberas y la dinámica hidrológica de la microcuenca.

El modelo conceptual (Fig. 9) es una aproximación general a la dinámica hídrica de los sistemas aledaños a una turbera. Los procesos ecosistémicos varían de acuerdo con el tipo de sistema aledaño (Tabla 5) y su influencia puede retroalimentar a la hidrología de la turbera, aportando de manera positiva como es el caso del bosque nativo, no tener mayor influencia como el matorral o tener un potencial impacto negativo como las praderas.

5.3 Presiones antrópicas sobre los ecosistemas de la microcuenca

Los resultados respecto a las amenazas humanas identificadas muestran que estas presiones pueden afectar un componente del ecosistema (ej. la cosecha del musgo y el pastoreo intensivo) o bien al ecosistema entero (ej. los cambios en el uso del suelo; Figs. 10 y 11). A continuación, se discuten los potenciales efectos e interacciones que pueden tener las amenazas humanas identificadas sobre los sistemas de la microcuenca de Quemchi.

La cosecha desmedida del musgo *Sphagnum* es una de las amenazas más frecuentes en las turberas. Los impactos asociados a esta actividad alteran los procesos ecosistémicos relacionados con el control de inundaciones, la captación y almacenamiento de agua, pues se modifica la estructura del acrotelmo. De acuerdo con el estudio realizado por Whinam y col. (2003) en turberas de Australasia, la cosecha del musgo sin mantener al menos un 30% de la cobertura del acrotelmo, tiene un impacto negativo en la tasa de regeneración y restablecimiento del musgo. Sus efectos pueden desencadenar el desecamiento del ecosistema y la transición hacia un ecosistema con menor requerimiento hídrico como pastizales o matorrales. Esta información se condice con las experiencias de

productores y productoras artesanales de musgo *Sphagnum* en Quemchi, quienes relatan que la extracción desmedida afecta de manera irreversible el restableciendo del musgo en las turberas junto con la provisión de agua en los esteros (productora artesanal de pompón de Quemchi en comunicación personal). Sin embargo, la cosecha artesanal de pompón es una actividad sustentable, siempre y cuando se realice bajo protocolos establecidos (Zegers y col., 2006). Dentro de la literatura de turberas de Chile se han sistematizado las experiencias de buenas prácticas y cosecha sustentable de musgo (ej. Domínguez, 2014; Oberpaur y col., 2018). Estas prácticas han generado buenos resultados, permitiendo la renovación de musgo, así como una cosecha sostenida en el tiempo, sin que esto afecte negativamente los procesos y funciones del ecosistema.

Los cambios en el uso y cobertura del suelo son un importante factor que modela la estructura y composición de los ecosistemas terrestres. Estos cambios son el resultado de interacciones complejas entre procesos sociales, políticos, económicos y ambientales; donde los propietarios y usuarios de la tierra toman decisiones basados en el marco político-administrativo imperante (Caprioli, 2019; Lambin y col., 2003). Esta compleja relación puede explicar la constante degradación de las turberas y ecosistemas como el bosque nativo en la zona de estudio (Anexo 13). En ambos ecosistemas hay intereses económicos relacionados a los bienes materiales que pueden proveer (musgos y madera principalmente). Este escenario se vuelve aún más complejo si se considera la actual escasez de agua que afecta a Chiloé, cuyo efecto se ha percibido con mayor intensidad en la zona norte y centro oriental de la isla (Caprioli, 2019), ya que tanto las turberas como los bosques nativos están vinculados fuertemente al ciclo hidrológico y la provisión de agua. En síntesis, las transformaciones de los ecosistemas terrestres como turberas y bosques, producto de cambios en el uso de los suelos, están deteriorando la capacidad de proveer

servicios ecosistémicos y a su vez generando impactos significativos como la escasez hídrica estacional (Caprioli, 2019).

La explotación minera de las turberas asoma como una amenaza vinculada al cambio de uso del suelo, con impactos altamente nocivos, pues una vez intervenido el ecosistema resulta difícil que este recupere sus funciones y procesos a menos que se apliquen programas de recuperación y restauración (Domínguez y Vega-Valdez, 2015). Esto se debe a que, para intervenir una turbera bajo concesión minera, se debe utilizar maquinaria pesada, como retroexcavadoras, que remueven las capas del suelo para así extraer la turba y el musgo. Esta intervención altera de forma permanente la estructura y composición del ecosistema; esto, a su vez, tiene una influencia directa sobre todos sus procesos ecosistémicos. Una consecuencia de esta actividad es la llegada de especies invasoras como *Hieracium pilosella* y *Holcus lanatus* cuya presencia es indicador de perturbaciones dentro del ecosistema. *Hieracium pilosella* es una hierba perenne perteneciente a la familia Asteraceae (Pisano, 1977). Su impacto está asociado principalmente a la disminución en la productividad de praderas naturales junto a la contaminación de turba utilizada para el comercio. Si bien la presencia de esta especie no ha sido descrita para turberas naturales o intervenidas de la Isla Grande (ej. Díaz y col., 2005; Díaz y col., 2008), si hay registros de ella en turberas explotadas en la región de Magallanes (Domínguez y col., 2012). La principal característica como especie exótica, es que elimina a las especies nativas o aquellas con valor forrajero, al monopolizar los recursos como agua y nutrientes en forma eficiente. Por su parte, *Holcus lanatus* es una gramínea de alta producción de semillas, que ha sido considerada una especie invasora en turberas, pues su presencia representa un indicador de alteración en la estructura y composición florística original del ecosistema (Domínguez y col., 2011). En consecuencia, la explotación

minera de las turberas impacta a la biodiversidad de estos ecosistemas y propicia la introducción de especies invasoras que dificultan la posibilidad de restaurar el ecosistema.

Otra amenaza que fue identificada corresponde a la construcción de zanjas de drenaje dentro de la turbera. Esta práctica está vinculada a los cambios de uso de suelo y la construcción de obras de infraestructura, pero por sobre todo está asociada frecuentemente con la explotación minera de las turberas. El uso de maquinarias requiere secar la turbera, para que estas puedan sostenerse sobre la superficie de la turbera y así remover la turba. Por lo tanto, las zanjas tienen como función drenar y redireccionar el agua de la turbera para acelerar su secado. Además, la construcción de zanjas de drenaje puede reducir el nivel freático de la turbera y provocar una producción adicional de carbono a la atmósfera (Worral y col., 2007), alterando los procesos ecosistémicos de almacenamiento de agua y fijación. El contacto de la turba con el oxígeno, debido a la reducción del nivel freático, induce procesos de descomposición aeróbica, que transforman a la turbera en una fuente emisora de carbono hacia la atmósfera y los cursos de agua, mediante la liberación de carbono orgánico disuelto, COD, (Domínguez y Vega-Valdez, 2015). La presencia de COD en los flujos de agua ha sido reportada en turberas del Reino Unido y el norte de Europa, lo que ha representado altos costos en potabilización para consumo humano (Worral y col., 2007). Por lo tanto, la construcción de zanjas de drenaje y la explotación minera de las turberas son actividades que deben cesar, pues su impacto altera múltiples procesos ecosistémicos que significan una disminución en los SSEE que pueden proveer estos ecosistemas.

Los impactos del sobrepastoreo para crianza y mantención de ganado pueden traducirse en la disminución de la biomasa vegetal y el potencial arribo de especies no nativas. Acerca del consumo de biomasa, la degradación del acrotelmo puede gatillar la disminución de la capacidad de captación y retención de agua. Esta capa quedaría

desprovista de la vegetación que contribuye a esos procesos ecosistémicos como lo son los musgos *Sphagnum* en la superficie de la turbera. En consecuencia, el sistema puede volverse más seco propiciando la llegada de especie no nativas, algunas de carácter invasor, como las ya mencionadas *Hieracium pilosela* y *Holcus lanatus*, además de *Rumex acetosella*, y *Carex canescens*. Por otra parte, la presión física que ejercen estas especies (ovejas y vacas principalmente) puede acentuar la compactación del suelo, dificultando la infiltración del agua y fomentando la escorrentía superficial. Un estudio realizado por Guerrero (2018) identificó las distintas prácticas de manejo que realizan los habitantes de dos cuencas en la comuna de Ancud. Se identificaron dos tipos de prácticas, el pastoreo libre y el pastoreo gestionado, donde el ganado pastaba en praderas cercadas. Si bien los resultados indican que no hay mayor diferencia en el impacto que provoca el ganado sobre la infiltración del suelo, las prácticas de gestión del ganado podrían ser una forma de amortiguar la pérdida de biomasa en las turberas, pues impedirían su libre acceso a estos ecosistemas.

Los monocultivos forestales pueden impactar en la humedad retenida dentro del perfil del suelo (Oyarzún y Huber, 1999; Huber y col, 2008; Lara y col, 2009). De acuerdo con los resultados (Tabla 6), las especies de crecimiento rápido, comúnmente utilizadas en las plantaciones forestales tales como *Pinnus sp* y *Eucalyptus sp*, consumen una gran cantidad de agua durante los primeros años de crecimiento (Oyarzún y Huber, 1999), cuyo impacto altera la disponibilidad de agua retenida en el perfil del suelo y en las napas freáticas. No obstante, en contraste con las praderas, los sistemas forestales al tener una mayor área de cobertura pueden captar más agua por intercepción y disminuir el impacto directo de las precipitaciones sobre el suelo previendo la erosión de este. Sin embargo, estos sistemas son establecidos para producir madera, y por consiguiente son talados cuando cumplen la edad requerida, lo que ocasiona alteraciones sobre la superficie del

suelo y los cuerpos de agua superficiales. La cosecha de sistemas forestales deja el suelo desprovisto de vegetación, fomentando la escorrentía superficial del agua y la erosión del suelo, junto con un abrupto aumento en la carga sedimentaria que va hacia los flujos de agua afectando su calidad (Oyarzún y col., 2005).

Los impactos del cambio climático sobre las turberas están ligados con el aumento en las temperaturas y la disminución en las precipitaciones. Los resultados de la revisión de la literatura muestran que los aumentos temperatura podrían acelerar la pérdida de agua producto de la evapotranspiración, induciendo sucesiones ecológicas hacia ecosistemas de menor requerimiento hídrico como pastizales o matorrales (Dise, 2009). Sin embargo, para la zona norte de la isla (incluida la comuna de Quemchi), no se muestra una tendencia a la baja en las precipitaciones (Frêne y col., 2014). Ello se contrapone con la escasez hídrica actual de esa zona, por lo que se puede intuir que el cambio climático no sería el factor principal en esta escasez hídrica, sino más bien la pérdida y degradación de los ecosistemas relacionados con la disponibilidad hídrica como las turberas, producto de la intervención antrópica y cambios en el uso del suelo.

5.4 Valoración económica

La valoración de servicios ecosistémicos es una forma de determinar los bienes y servicios que proveen los ecosistemas a las comunidades, a través de un marco teórico que abarca aspectos socioculturales, ecológicos y económicos. Bajo esta perspectiva la valoración económica busca metodologías para cuantificar monetariamente un bien o servicio de la naturaleza (Rincón-Ruiz y col., 2014) de tal forma que se hagan explícitos los beneficios económicos de dicho bien para la toma de decisiones y gestión del territorio (Núñez, 2004).

Para el caso de este estudio se debe señalar, primeramente, que la estimación sobre el volumen de agua que puede almacenar una turbera fue hecha en forma teórica. Se definieron los ecosistemas como turberas ombrotáficas de origen natural, las cuales no se encuentran en su estado de máxima saturación de agua. Además, sin alteraciones de carácter antrópico. Por consiguiente, los resultados obtenidos deben ser entendidos de acuerdo con estas consideraciones.

¿Cuánta agua pueden captar las turberas? y ¿Cuál es la valoración económica a la que equivale dicho volumen de agua? De acuerdo con los datos obtenidos fue posible determinar una relación positiva entre el área de la turbera y su capacidad para almacenar agua (Tabla 7). De acuerdo con esta relación, una hectárea de turbera puede almacenar 386 m³ de agua proveniente de las precipitaciones. Bajo el supuesto de que dicho volumen puede ser valorado económicamente, la cantidad de agua es equivalente a \$ 78.737/ha/mes, calculada con la tarifa de un comité de APR y de \$589.122/ha/mes utilizando la tarifa del servicio de agua potable de la empresa ESSAL. La diferencia en estos valores depende de variados factores. Para el caso de los comités de APR, estos corresponden a organizaciones comunitarias que no persiguen fines de lucro; donde el acceso al agua se gestiona en forma conjunta y por ende la tarifa fijada se define de manera autónoma (bajo recomendación de la unidad técnica de la empresa sanitaria correspondiente). En consecuencia, la tarifa de los comités de APR es, en promedio, más baja que aquella de la empresa de agua potable. Además, las y los integrantes de los comités pueden optar a subsidios estatales para financiamiento. En contraste, dentro del cálculo de la tarifa de la empresa de agua potable ESSAL se pueden atribuir costos de producción de agua potable asociado a gastos operacionales y tratamientos de aguas crudas y de agua servidas, sumado al carácter privado que posee esta empresa, lo que podría explicar las diferencias en el valor de la tarifa.

El consumo promedio mensual de agua en un hogar de 3 integrantes es de 18 m³ aproximadamente⁷, y una hectárea de turbera puede captar el agua mensual equivalente al consumo de 102 personas. Es decir, el volumen de agua que se consume en 34 hogares. Si consideramos el área total de las turberas analizadas (Tabla 1), el número de personas asciende a 4711, lo que es equivalente al 56% de la población de la comuna de Quemchi. Por tanto, resulta paradójico que la comuna actualmente sea una de las más afectadas por la escasez de agua en la isla, pues como se dijo en la sección anterior, no hay una tendencia clara en la disminución de las precipitaciones. Sin embargo, es habitual que muchos hogares dependan de camiones aljibes para abastecerse de agua potable, durante varios meses del año^{8 9}.

Para intentar explicar esta situación se pueden analizar las exportaciones de pompón, que durante el transcurso de los años ha tenido un crecimiento continuo. Un ejemplo de esto son las exportaciones del año 2019, que han presentado un aumento del 37,2% en comparación al año anterior (INFOR, 2020), lo que se traduce en un volumen cercano a las 4600 toneladas de musgo. Es decir, el negocio continúa generando importantes beneficios económicos para las empresas exportadoras. Por otra parte, para las y los productores de musgo, es posible intuir que también se han visto beneficiados en relación a la comercio de musgo *Sphagnum*. No obstante, es difícil obtener valores reales sobre la venta del musgo a empresas exportadoras, producto de cierta reticencia al entregar dichos montos. Ello posiblemente se debe a un trato entre particulares que es negociado en cada uno de los casos y se puede basar en la calidad del musgo (Domínguez y col, 2015). Sin embargo, el precio parece oscilar entre los \$1000/kg a \$4000/kg de musgo dependiendo

⁷ https://www.siss.gob.cl/586/articles-17722_recurso_1.pdf, consultado el 03 de agosto de 2020

⁸ <https://www.eldinamo.cl/nacional/2019/02/20/familias-de-chiloe-y-alrededores-dependen-de-camiones-aljibes-para-tener-agua/>, consultado el 03 de agosto de 2020

⁹ <https://www.paislobo.cl/2020/01/camiones-aljibes-para-la-region-de-los-lagos.html>, consultado el 03 de agosto de 2020

de si esta húmedo o seco (productora de pompón de Quemchi en comunicación personal). Además, si consideramos la explotación sostenida de las turberas durante las últimas décadas, junto con la disminución del bosque nativo y la expansión de bosques de secundarios y monocultivos forestales en la isla de Chiloé, se puede concluir que el escenario de escasez de agua es de una naturaleza multicausal y debe ser enfrentado desde esa perspectiva.

También cabe mencionar el “compromiso” que existe entre la necesidad económica de las comunidades rurales de Quemchi, puesto que hay un importante ingreso que proviene de la extracción de pompón. Pero, a su vez, esto podría disminuir la capacidad de las turberas de retener y proveer agua. Por lo tanto, urge encontrar un equilibrio entre estos dos procesos (ecológico y socioeconómico). Donde los intereses de los diferentes actores involucrados puedan definir y acordar objetivos comunes para establecer medidas que permitan la gobernanza¹⁰ de las turberas en Chiloé como se está gestando en otras zonas de Chile (ej. Martínez y col, 2020), donde se persigue la sustentabilidad del sistema socioecológico, la conservación de ecosistemas y el bienestar humano

Los resultados obtenidos de este seminario de título entregan información sobre la dinámica ecohidrológica de una turbera a través de modelos conceptuales. Lográndose conceptualizar las múltiples presiones antrópicas que las afectan, y como estas impactan en los procesos y funciones ecosistémicas, que se traducen en la capacidad de proveer servicios. Además, se discutieron las posibles causas de la escasez de agua que sufre la comuna actualmente. Ellas aparecen fuertemente ligadas con el estado de degradación de los ecosistemas de la isla, cuya solución puede ir en parte con el conocimiento de las

¹⁰Se entiende gobernanza como el proceso por el cual el gobierno, las empresas privadas, las organizaciones de la sociedad civil y los ciudadanos interactúan para definir, acordar y decidir objetivos comunes y las formas de organización, el tipo de recursos y el conjunto de actividades que resulten necesarios y adecuados para lograr dichos objetivos (Aguilar, L. 2014).

turberas y la elaboración de una propuesta para su gobernanza ambiental, donde es posible desarrollar estrategias sustentables para la conservación y uso del servicio ecosistémico (e.g. pago por servicios ecosistémicos), provisión de agua dulce, considerando a la cuenca como ecosistema para su aplicación y desarrollo (Von Bernart, 2013).

6.Conclusiones

En este seminario de título se utilizaron modelos conceptuales para identificar los procesos y funciones ecosistémicas de las turberas y los sistemas vegetacionales que las rodean, con un enfoque ecohidrológico en un microcuenca ubicada en la comuna rural de Quemchi.

Las principales presiones antrópicas que impactan a las turberas y a los sistemas adyacentes están relacionadas con los cambios en el uso de los suelos cuyos efectos están vinculados a la escasez de agua que enfrenta la comuna.

Una turbera puede almacenar un volumen de agua directamente proporcional a su superficie, la cual potencialmente puede proveer de este bien a gran parte de la población de Quemchi. No obstante, los beneficios económicos que trae consigo la extracción y cosecha del musgo desde estos humedales se contraponen a su capacidad de proveer SSEE hídricos.

7. Bibliografía

- Aguilar, L. F. 2014. Las dimensiones y los niveles de gobernanza. Cuadernos de Gobierno y Administración Pública, 1:1, pp. 11-36.
- AGRIMED (Centro de Agricultura y Medioambiente). 2017. Atlas Agroclimático de Chile- Tomo V: Regiones de Los Ríos y Los Lagos. Santiago, Chile: 134 p.
- Agüero, T. 2013. Musgo *Sphagnum*: Manejo sostenible del recurso. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, Santiago, Chile.
- Bannister, J. 2018. Tepuales. Tesoro de Chiloé y la Patagonia Insular. Instituto Forestal, Chile. 74 p.
- Barra Rivera, S., y Manushevich Bezares, M. C. 2017. Crisis hídrica en Chiloé: extractivismo y políticas públicas como detonante. Tesis Doctoral, Universidad Academia de Humanismo Cristiano, Santiago, Chile.
- Berríos Bloomfield, A. y Jirón Verdaguer, X. 2018. Régimen jurídico de los Humedales tipo turbera: sobre la necesidad jurídica de regular la extracción de turba y musgo *Sphagnum* en el Archipiélago de Chiloé: revisión crítica a alternativas para su regulación. Memoria para optar al grado de Licenciada en Cs. Jurídicas y Sociales. Facultad de Derecho. Universidad de Chile. Santiago. Chile. 186 p. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/150318>
- Blanco, D. E. y de la Balze, V.M (eds.) 2004. Los Turbales de la Patagonia: Bases para su inventario y la conservación de su biodiversidad. Publicación No.19. Wetlands International. Buenos Aires, Argentina.
- Corporación Nacional Forestal (CONAF). 2013. Catastro Nacional de usos de la tierra y de las formaciones vegetales. Décima región de Los Lagos. Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. [Base de datos en línea] <http://www.conaf.cl/nuestros-bosques/bosques-en-chile/catastro-vegetacional/> Consultado el 17 de marzo 2020.
- Caprioli, F. 2019. Desarrollo de un modelo conceptual socio-ecológico de los cambios de uso de suelo de la isla grande de Chiloé en las últimas dos décadas. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Santiago. Chile. 89 p.
- Carmona, A., y Monsalve, J. 1999. Sistemas de información geográficos. En Congreso de Ingeniería de Sistemas en la Universidad San Buenaventura de Medellín. Medellín. Colombia. 44 p.
- Clymo R. S. y P. M. Hayward 1982. The Ecology of *Sphagnum*. In: Bryophyte Ecology. A. J. E. Smith (ed.). Chapman & Hall, New York. pp. 229-289.
- Decreto N° 25. Dispone medidas para la protección del musgo *Sphagnum magellanicum*. Diario oficial de la República de Chile, Santiago, Chile, 2 de febrero de 2018. [En línea]: <https://www.leychile.cl/N?i=1114649&f=2019-08-03&p=> Consultado el: 17 de marzo de 2020.

- Decreto N° 84. Declara zona de escasez a las comunas de Quemchi y Quellón, Provincia de Chiloé, Región de Los Lagos. Diario oficial de la República de Chile, Santiago, Chile, 7 de septiembre de 2017. [En línea]: <https://www.leychile.cl/N?i=1107662&f=2017-09-07&p=> Consultado el: 29 de mayo de 2019.
- Delgado, L.E y Serey, I. 2002. Copper distribution in Mediterranean forest ecosystems. *Revista Chilena de Historia natural*, 75:3, pp. 557-565.
- De Groot, R. S., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41: 393-408.
- De la Hera A, Gurrieri J, Puri S, Custodio E, Manzano M. 2016. Ecohydrology and hydrogeological processes: groundwater–ecosystem interactions with special emphasis on abiotic processes. *Ecohydrology Hydrobiology* 16: 99–105.
- Di Castri, F., y Hajek, E.R. 1976. Bioclimatología de Chile. Editorial Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile. 128 p.
- Díaz, M., Larraín, J., y Zegers, G. 2005. Guía para el conocimiento de la flora de turberas y pomponales de la Isla Grande de Chiloé. Fundación Senda Darwin. Chiloé, Chile.
- Díaz, M., Larraín, J., Zegers, G., y Tapía, C. 2008. Caracterización florística e hidrológica de turberas de la Isla Grande de Chiloé, Chile. *Revista chilena de historia natural*, 81: 455-468.
- Dise, N. 2009. Peatland response to global change. *Science* 326: 810-811.
- Dourojeanni, A., Jouravlev, A., y Chávez, G. 2002. Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica. División de Recurso naturales e Infraestructura, Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile.
- Domínguez, E., Bahamonde, N., y Muñoz-Escobar, C., 2011. Plantas invasoras en una turbera de *Sphagnum* abandonada por la explotación de Turba. Tierra Adentro. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Punta Arenas, Chile, pp. 78-82.
- Domínguez, E. 2012. *Hieracium pilosella* L. ssp. *euronotum* Nägeli et Peter, Maleza invasora presente en turberas abandonadas y explotadas. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Informativo INIA N° 21, Centro de Investigación Kampenaike. Punta Arenas, Chile. pp.1-4.
- Domínguez, E., Bahamonde, N., y Muñoz-Escobar, C. 2012. Efectos de la extracción de turba sobre la composición y estructura de una turbera de *Sphagnum* explotada y abandonada hace 20 años. En *Anales del Instituto de la Patagonia*. Universidad de Magallanes, Chile. pp. 37-45.
- Domínguez, E. 2014. Manual de buenas prácticas para el uso sostenido del musgo *Sphagnum magellanicum* en Magallanes, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Kampenaike. Punta Arenas, Chile. Boletín INIA N° 276.113 p.

- Domínguez, E., M. Doorn, R. Navarro y Arancibia, L. 2015. Bases comerciales para el desarrollo sostenible del musgo *Sphagnum* en Magallanes, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Kampenaike. Punta Arenas, Chile. Boletín INIA N° 309. 93 p.
- Domínguez, E. y D. Vega-Valdés (eds.) 2015. Funciones y servicios ecosistémicos de las turberas en Magallanes. Colección de libros INIA N° 33. 334 pp. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Kampenaike. Punta Arenas, Chile.
- Duhart, P., Muñoz, J. y Stern, C. 2000. Geología de la Isla Grande de Chiloé, X Región de los Lagos, Chile. Puerto Varas, Chile. En IX Congreso Geológico Chileno, Actas 1, Sesión Temática N° 3: 461-465.
- Echeverría, C., Huber, A. y Taberlet, F. 2007. Estudio comparativo de los componentes del balance hídrico en un bosque nativo y una pradera en el sur de Chile. *Bosque*, 28: 271-280.
- FIA. 2009. Resultados y lecciones en uso y manejo del musgo *Sphagnum*. Proyecto de Innovación, XI Región de Aysén. Serie Experiencias de Innovación para el Emprendimiento Agrario 52. 39 p.
- Fundación Chile. 2017. Desafíos del Agua para la región Latinoamericana. Santiago, Chile. 148 p.
- Frêne, C., Ojeda, G., Santibáñez, J., Donoso, C., Sanzana, J., Molina, C., Andrade, P., y Núñez-Ávila, M. 2014. Agua en Chile: diagnósticos territoriales y propuestas para enfrentar la crisis hídrica. 73 p.
- Garcés, J. 2005. Gestión de recursos hídricos en Chile: Proposición de un modelo de gestión integrada para la cuenca Maipo Mapocho. Tesis de Magíster en Gestión y Planificación Ambiental, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Gerding, V. 2010. Suelos de humedales y trumaos húmedos del sur de Chile. Reunión de trabajo sobre Plantaciones forestales en Chiloé, con énfasis en suelos ñadi. Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales. Universidad Austral de Chile. Dalcahue. Chile.
- Guerrero, M. 2019. Local management practices in watersheds of norther Chiloé island. Integrating effects on soil physical properties related to water storage. Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias. Universidad de Chile. Santiago. Chile. 73 p.
- Haines-Young, R. y Potschin, M.B. 2018. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure.
- Holden, J. 2005. Peatland hydrology and carbon release: why small-scale process matters. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 363: 2891-2913.

- Huber, A., Iroumé, A., Bathurst, J., 2008. Effect of *Pinus radiata* plantation on water balance in Chile. *Hydrological Processes* 22, 142–148
- IHP-UNESCO. 2012. International Hydrological Programme (IHP) Eighth Phase. “Water Security: responses to local, regional, and global challenges”. Strategic Plan. IPH-UNESCO.
- INFOR, 2020. Productos Forestales no Madereros (PFNM). Boletín N° 35. Instituto Forestal. Santiago, Chile. 30 p.
- Ilustre Municipalidad de Quemchi. 2015 – 2019. Plan de desarrollo comunal (PLADECO). [En línea] <https://www.muniquemchi.cl/pladeco/> Consultado el: 15 de abril 2020.
- Iturraspe, R. 2010. Las turberas de Tierra del Fuego y el cambio climático global. - 1a ed. – Buenos Aires: Fundación para la Conservación y el Uso Sustentable de los Humedales. 32 p.
- Iturraspe, R., y Roig, C. 2000. Aspectos hidrológicos de turberas de *Sphagnum* de Tierra del Fuego-Argentina. Conservación de ecosistemas a nivel mundial con énfasis en las turberas de Tierra del Fuego. *Disertaciones y Conclusiones*, pp. 85-93.
- Jofré, P., Büchner, C. Ipinza, R., Bahamondes, C., Barros, S. García-Chevesich, P., y Cabrera, J. 2014. Estado del arte: las plantaciones forestales y el agua. Fundación para la Innovación Agraria (FIA) e Instituto Forestal de Chile (Infor). Gobierno de Chile. Ministerio de Agricultura. 120 p.
- Keddy, P. A. 2010. *Wetland ecology: principles and conservation*. Cambridge University Press.
- Lambin, E., Geist, H., y Lepers, E. 2003. Dynamics of Land-Use and Land-Cover Change in Tropical Regions. *Annual Review of Environment and Resources*, 28: 205-241.
- Lara, E. L., Simeón, C. P., y Navarro, J. G. M. 2006. Los sistemas de información geográfica. *Geoenseñanza*. 16 p.
- Lara, C. Little, R., Urrutia, J., McPhee, C., Álvarez-Garretón, C., Oyarzún, D., Soto, D., Donoso, P., Nahuelhual, L., Pino, M., y Arismendi, I. 2009. Assessment of ecosystem services as an opportunity for the conservation and management of native forests in Chile. *Forest Ecology and Management*. 258: 415-424.
- León, C. 2012. Caracterización florística y ecológica de turberas esfagnosas de la isla Grande de Chiloé-Chile: una herramienta para la conservación y el desarrollo sostenible. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.
- Ley N° 18248. Código de Minería. Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, Chile, 14 de octubre de 1983. [En línea] <http://bcn.cl/1uup6> Consultado el: 13 de abril de 2020.
- Marín, V.H, y Delgado, L.E. 2008. Modelos conceptuales en ecología de ecosistemas: Descubriendo al elefante. *Revista Chilena de Historia Natural*. Rev 81: 437-439.

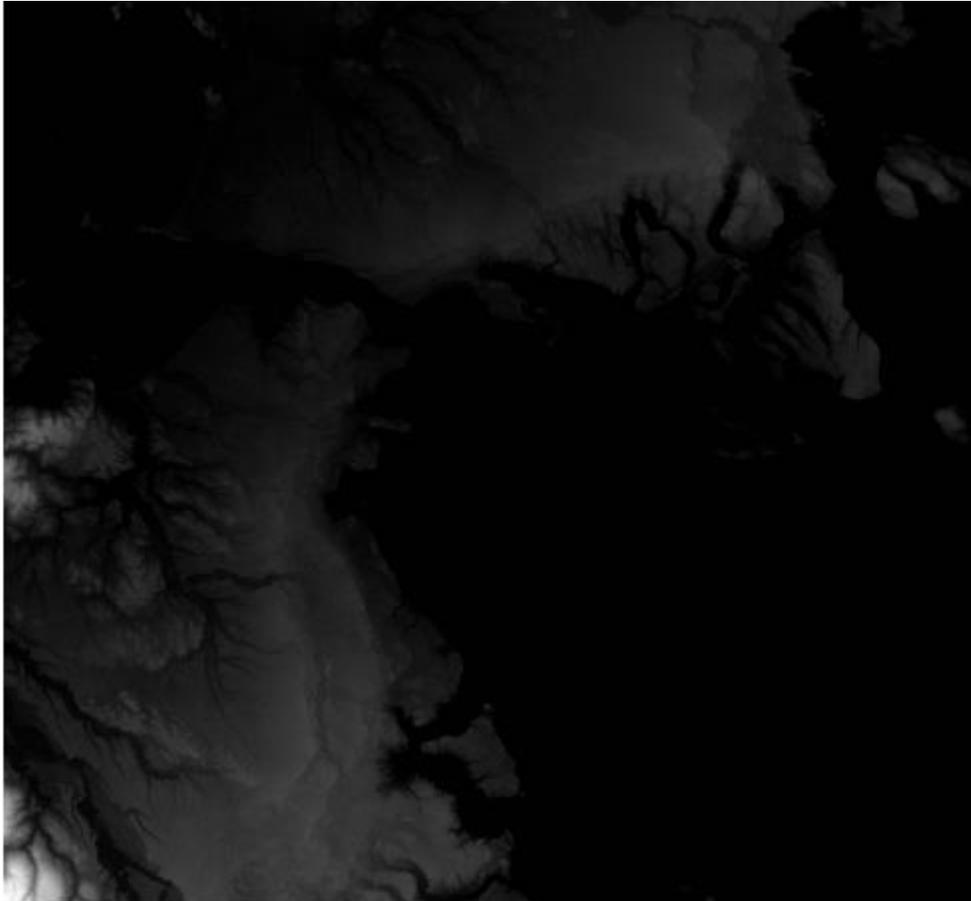
- Marín, V.H, y Olivares, G. 1999. Estacionalidad de la productividad primaria en bahía Mejillones del Sur (Chile): una aproximación proceso-funcional. *Revista Chilena de Historia Natural*, 72: 629-641.
- Martínez, M.P, Henríquez, J.M, Domínguez, E., y Báez J. 2020. Consideraciones para iniciar la elaboración de una propuesta de Gobernanza para las Turberas de SPHAGNUM MAGALLANICUM en Aysén. Informativo INIA Tamel Aike N°44. Coyhaique, Chile. 4 p.
- Merchán-Gaitán, J. B., Álvarez-Herrera, J. G., y Delgado-Merchán, M. V. 2011. Retención de agua en musgos de páramo de los municipios de Siachoque, Toca y Pesca (Boyacá). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 5: 233-243.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). 2003. Ecosystems and human well-being: a framework for assessment. A Report of the Conceptual Framework Working Group. Island.
- Morris, P. J., Waddington, J. M., Benscoter, B. W., y Turetsky, M. R. 2011. Conceptual frameworks in peatland ecohydrology: looking beyond the two-layered (acrotelm-catotelm) model. *Ecohydrology*, 4: 1-11.
- Meyles, E. W., Williams, A. G., Ternan, J. L., Anderson, J. M., y Dowd, J. F. 2006. The influence of grazing on vegetation, soil properties and stream discharge in a small Dartmoor catchment, southwest England, UK. *Earth Surface Processes and Landforms*, 31: 622–631.
- Noble, A., Palmer, S. M., Graves, D. J., Crowle, A., Brown, L. E., y Holden, J. 2017. Prescribed burning, atmospheric pollution and grazing effects on peatland vegetation composition. *Journal of Applied Ecology*, 55:2, pp. 559-569.
- Núñez, D. 2004. Valoración económica del servicio ecosistémico de producción de agua del bosque de la cuenca de Llancahue, Décima Región. Tesis Magíster en Desarrollo Rural, Facultad de Ciencias Agrarias y Facultad de Filosofía y Humanidades, Universidad Austral de Chile. 182 pp.
- Oberpaur, C., Díaz, M y León, C. 2018. Turberas de *Sphagnum* de Chiloé: ¿cómo hacer un uso sustentable? Ediciones Universidad Santo Tomás, RIL (eds) 18 p. Santiago, Chile.
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 2007. Informe final del estudio acerca de las turberas productoras de musgo en la Región de Los Lagos. [En línea] <https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/consultorias-y-asesorias/informe-final-del-estudio-acerca-de-las-turberas-productoras-de-musgo-en-la-region-de-los-lagos> Consultado el: 06 de julio 2020
- O'Neill, R. V., Angelis, D. L., Waide, J. B., y Allen, T. F. H. 1986. A Hierarchical concept of ecosystem. Princeton University. Press, Princeton. New Jersey vii. 253 p.
- Oyarzún, C.E., y Huber, A. 1999. Water balance in young plantations of *Eucalyptus globulus* and *Pinus radiata* in southern Chile. *Terra* 17: 35-44.

- Oyarzún C., Nahuelhual, L., y Núñez, D. 2005. Los servicios ecosistémicos del bosque templado lluvioso: producción de agua y su valoración económica. *Revista Ambiente y Desarrollo* 20: 88-95.
- Pisano, E. 1977. Fitogeografía de Fuego-Patagonia Chilena I.-Comunidades vegetales entre las latitudes 52 y 56° S. *Anales de Instituto de la Patagonia* 8: 122-250.
- Pizarro, R., Sangüesa, C., Vallejos, C., Mendoza, R., Pino, J., Berríos, Á., Ibáñez, A., Castillo, B., Bernal, A., García, P., Arumi, J.L., y Iroume, A. 2019. Antecedentes de la relación masa forestal y disponibilidad hídrica en Chile. ISBN- Attribution-ShareAlike 3.0 IGO. UNESCO. Montevideo. Uruguay.
- Ramsar. 2004. Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales. Secretaría de la Convención RAMSAR. Gland, Suiza.
- Red Agua Chiloé. 2018. Red Participativa de Agua Potable Rural: Un modelo de gestión de cuencas para abordar la escasez de agua en Chiloé. IEB (Instituto de Ecología & Biodiversidad). [En línea] <https://redaguachiloe.files.wordpress.com/2018/08/presentacion-proyecto-rpa.pdf> Consultado el: 08 de julio de 2020.
- Rincón-Ruiz, A., Echeverry-Duque, M., Piñeros, A. M., Tapia, C. H., David, A., Arias-Arévalo, P. y Zuluaga, P. A. 2014. Valoración integral de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos: Aspectos conceptuales y metodológicos. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D. C. Colombia, 151 pp.
- Ruiz, S., y Gentes, I. 2008. Retos y perspectivas de la gobernanza del agua y gestión integral de recursos hídricos en Bolivia. *European Review of Latin American and Caribbean Studies*.
- Schoefield, W. B. 1985. The Peat Mosses- Subclass Sphagnidae. In *Introduction to Bryology*. The Blackburn Press. Caldwell, New Jersey. pp. 32-48.
- SERNAGEOMIN y Gore-Los lagos. 2008. Catastro y levantamiento geológico de reservas explotables del recurso turba en Chiloé, Región de Los Lagos. Informe Final. Servicio Nacional de Geología y Minería - Gobierno Regional de Los Lagos, Santiago. 292 p.
- Ten Brink P., Russi D., Farmer A., Badura T., Coates D., Förster J., Kumar R. y Davidson N. 2013. La Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad relativa al agua y los humedales. Resumen ejecutivo.
- UN-Water. (2013). *Water Security and the Global Water Agenda*. Ontario, Canada: United Nations University
- Van der Knaap, W. O., Lamentowicz, M., van Leeuwen, J. F. N., Hangartner, S., Leuenberger, M., Mauquoy, D., Goslar, T., Mitchell, E. A. D., Lamentowicz, Ł., y C. Kamenik. 2011. A multi-proxy, highresolution record of peatland development and its drivers during the last millennium from the subalpine Swiss Alps. *Quaternary Science Reviews* 30: 3467-3480.

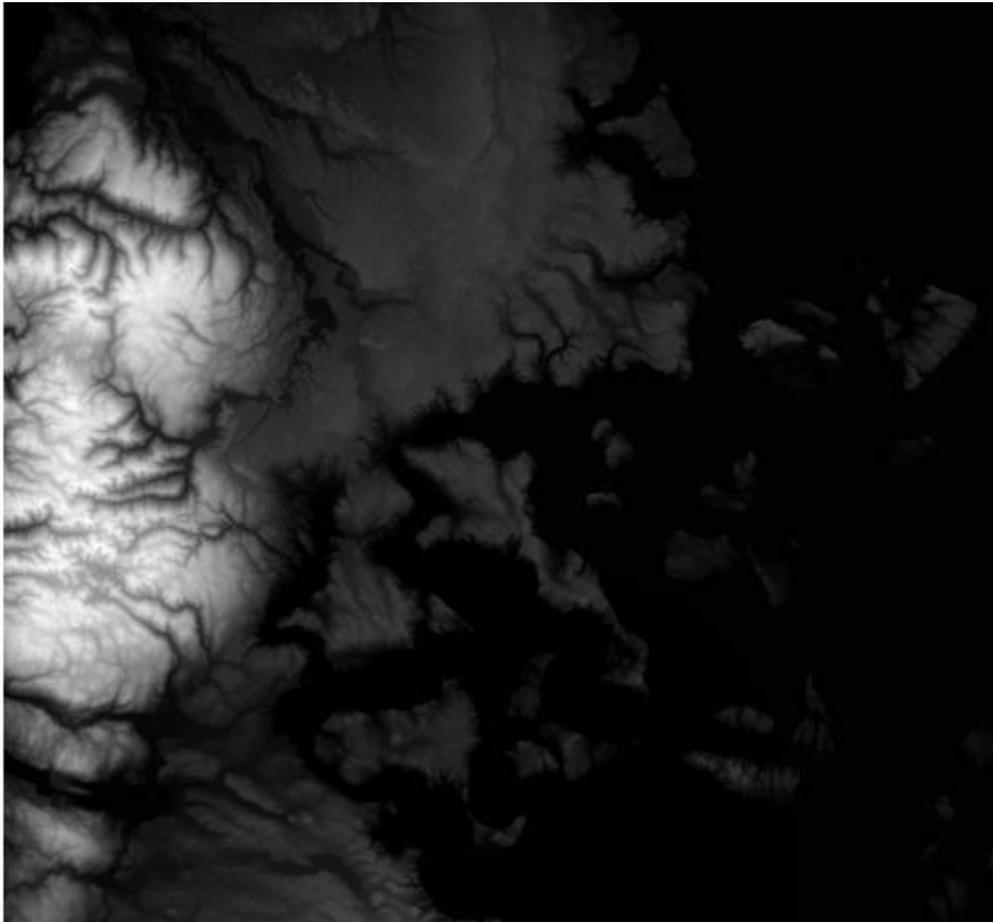
- Verardi, G. 2013. Aplicación de herramientas de sensoramiento remoto para la conservación y gestión del humedal de río cruces. Seminario de título, para optar al Título de Bióloga con mención en Medio Ambiente, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Santiago, Chile. 79 p.
- Villarroel, F. 2017. Diagnóstico de la gestión actual del recurso hídrico y propuestas para un manejo sostenible y una Gestión Integrada del Agua (GIA) en el Archipiélago de Chiloé. Tesis de Magister, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España.
- Whinam, J., Hope, G. S., Clarkson, B. R., Buxton, R. P., Alspach P. A., y Adam., P. 2003. *Sphagnum* in peatlands of Australasia: Their distribution, utilization and management. *Wetlands Ecology and Management* 11: 37-49.
- Von Bernath, Z. 2013. Análisis de una Estrategia de Pago por Servicios Ecosistémicos (PSE) para el Humedal del Río Cruces. Biología Ambiental. Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, 2013.
- Worrall, F., Gibson, H.S., y Burt., T.P. 2007. Modelling the impact of drainage and drain-blocking on dissolved organic carbon release from peatlands. *Journal of Hydrology*, 338: 15-27.
- Yu, Z., Loisel, J., Brosseau D.P., Beilman, W., y Hunt., S.J. 2010. Global peatland dynamics since the Last Glacial Maximum. *Geophysical Research Letters* 37: L13402
- Zalewski, M., Janauer, G.A. y Jolankai, G. 1997. Ecohydrology. A new paradigm for the sustainable use of aquatic resources. UNESCO IHP Technical Document in Hydrology No. 7.; IHP – V Projects 2.3/2.4, UNESCO Paris, 60 p.
- Zalewski, M. 2000. Ecohydrology—the scientific background to use ecosystem properties as management tools towards sustainability of water resources. *Ecological Engineering* 16: 1-8.
- Zegers, G., Larraín, J., Díaz, MF., y Armesto, J. J. 2006. Impacto ecológico y social de la explotación de pomponales y turberas de *Sphagnum* en la Isla Grande de Chiloé. *Revista Ambiente y Desarrollo*, 22: 28-34.

8.Anexos

Anexo 1. Imagen satelital ID ALPSRP266226330 tomada el 23 de enero de 2011, desde el satélite ALOS PALSAR, cuya orientación corresponde a la zona norte de la cuenca de Quemchi, escala 1:650.000.



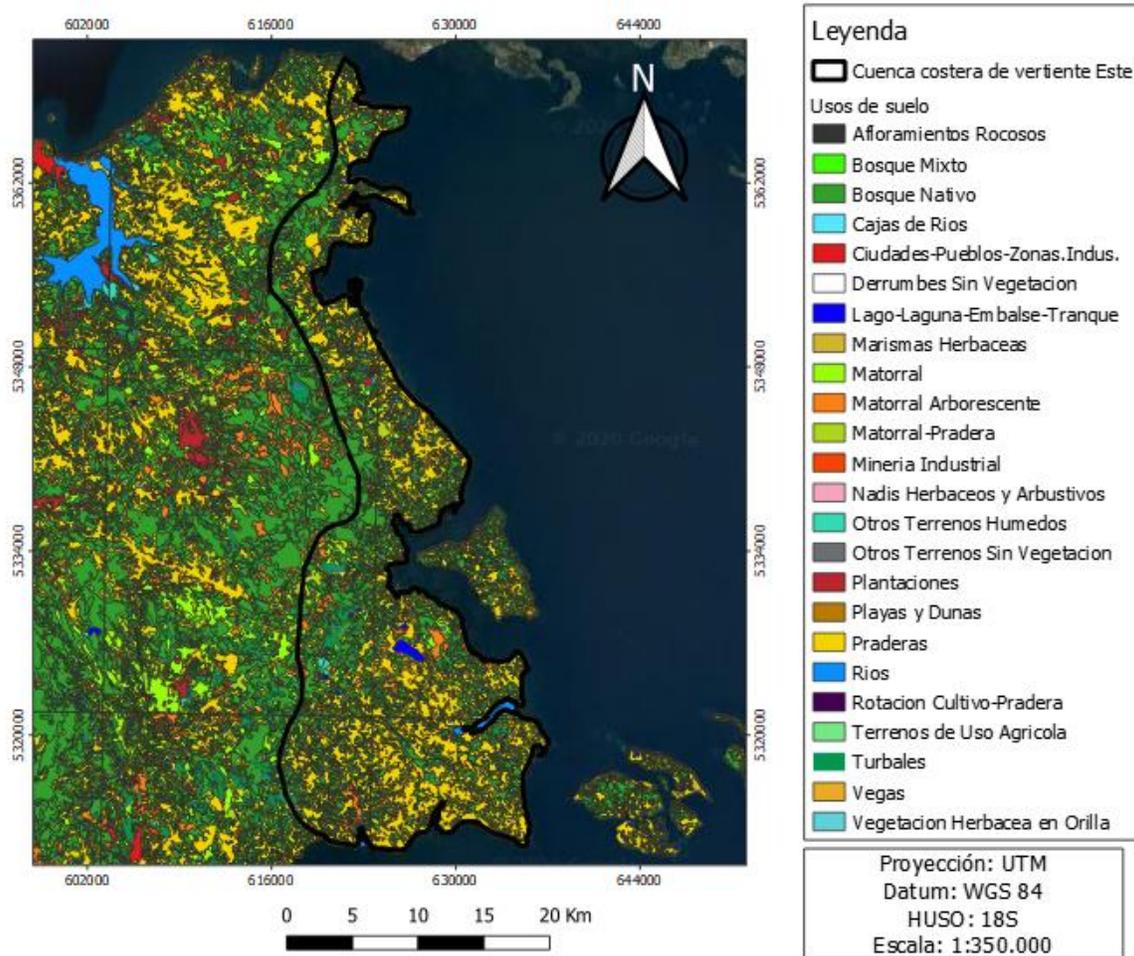
Anexo 2. Imagen satelital ID ALPSRP264684480 tomada el 12 de enero de 2011, desde el satélite ALOS PALSAR, cuya orientación corresponde a la zona sur de la subcuenca de Quemchi, escala 1:650.000.



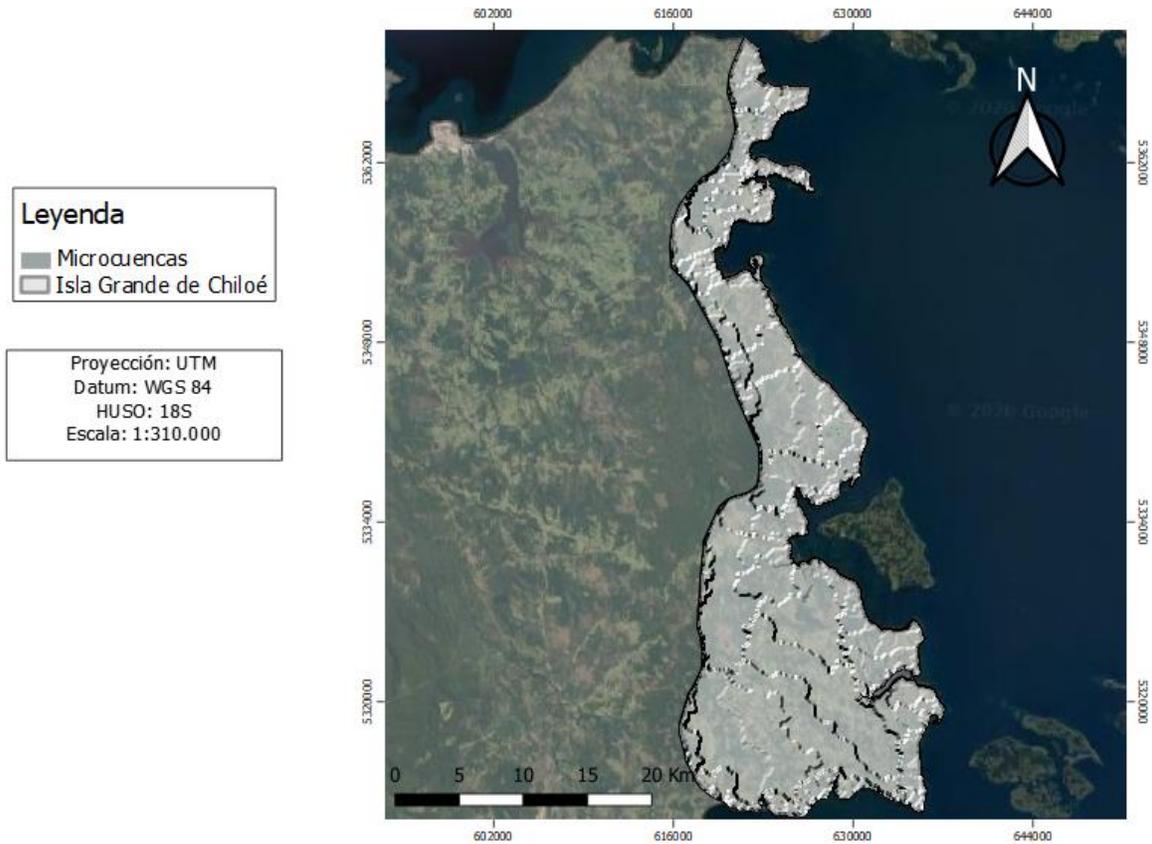
Anexo 3. Representación de las imágenes Landsat para demostrar la ubicación de la subcuenca de Quemchi, escala 1:1.000.000. Elaboración propia.



Anexo 4: Catastro de vegetación CONAF para la región de Los Lagos 2013. La figura muestra muestran los usos de suelo catastrados para la IGC, y en particular para la cuenca de Quemchi.



Anexo 5. Modelo de elevación digital (DEM) para la cuenca de Quemchi. Los relieves en la cartografía representan la división por microcuencas, estimadas de acuerdo con las diferencias de elevación del modelo, que fueron obtenidas por medio de las imágenes del satélite ALOS PALSAR tomadas sobre la IGC.



Anexo 6. Consentimiento informado



CONSENTIMIENTO INFORMADO

Parte 2: Hoja de firmas

Yo _____
mayor de edad, he sido invitada(o) a participar en el estudio "Modelos conceptuales del sistema complejo sociedad-naturaleza" que llevan a cabo la Fundación CTF y la Universidad de Chile con el financiamiento de la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología CONICYT (Proyecto FONDECYT N° 1170532). Entiendo que mi participación consistirá en responder preguntas de una entrevista y he leído, o se me ha leído la información del documento de consentimiento informado. He tenido tiempo para hacer preguntas y se me han contestado claramente, no teniendo dudas sobre mi participación.

Por tanto, acepto voluntariamente participar y sé que tengo el derecho a terminar mi participación en cualquier momento, sin riesgos ni costos para mí y sin que quede guardada información alguna.

Firma de la (del) encuestada(o):

Fecha:

C. Vergara
Dra. Cecilia Vergara
Presidenta Comité de Ética
Fac. de Ciencias
Universidad de Chile
Las Palmeras 3425, Ñuñoa
Santiago
Fono: 2-29787313
Email: cvergara@uchile.cl

Luisa E. Delgado
LRA. Luisa E. Delgado
Investigadora Responsable
Fundación CTF/Universidad de Chile
Padre Mariano 301, Of. 704
Providencia, Santiago

Datos de contacto: Prof. Luisa E. Delgado. Facultad de Ciencias, Universidad de Chile y Fundación CTF. Fonos: 2-29787319 y 2-26314141. Correo electrónico: ldelgado@ctf.cl/ldelgado@uchile.cl

Anexo 7. Ítems de la encuesta socio-ecológica Proyecto FONDECYT N°1170532 usadas en este Seminario de Título.

II. Capitales

2. ¿Cuál es el ingreso promedio mensual de este hogar? (marque una sola alternativa)

| | |
|-------------------------------|--|
| Menos de 140.000 pesos | |
| Entre 140.000 y 250.000 pesos | |
| Entre 250.000 y 370.000 pesos | |
| Más de 370.000 pesos | |

III. Actividad Económica (socio-económico; producción). Se entiende que las actividades permanentes pueden ser aquellas relacionadas a actividades productivas como pesca o salmonicultura.

1. ¿En qué trabaja usted regularmente?

| Trabajo | Independiente/ Asalariado | Permanente/ Temporal (oficios) | Número de horas diarias | Numero de meses |
|---------|------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|--------------------|
| | | | | |

16. (Si la respuesta 1 responde “extracción de pompón) especificar lugar, número de bolsas y frecuencia:

| Lugar | Número de bolsas (alguna unidad de medida) | Frecuencia Todo el año/periodos |
|-------|-----------------------------------------------|------------------------------------|
| | | |

IV. Uso del recurso hídrico (regulación; producción; subsistencia)

IMPORTANTE: con esta pregunta se pretende medir la intensidad de uso del agua dulce y su uso como un bien.

18. El agua que consume la familia proviene de:

| | |
|--|---------------------------------|
| | 1. Red pública de agua potable |
| | 2. Pozo Profundo o noria |
| | 3. Río-Lago-Humedal o Vertiente |
| | 4. Agua potable Rural |
| | 5. Turberas (pompón) |
| | 6. Camión aljibe |
| | 7. Otro |

22. Si la respuesta a la pregunta 18 es agua potable rural, preguntar la sede y cuantos vecinos usan este sistema.

| Costo mensual | Número de vecinos | ubicación de la sede |
|---------------|-------------------|----------------------|
| | | |

23. Si la respuesta a la pregunta 18 es red pública de agua potable o agua potable rural, preguntar el costo.

24. La vivienda deposita los desechos y aguas servidas directamente a:

| | |
|--|-------------------|
| | 1. Alcantarillado |
| | 2. Pozo |
| | 3. Acequia |
| | 4. Baño químico |

| | |
|--|---------|
| | 5. Otro |
|--|---------|

V. Uso del bosque y turberas (Servicio ecosistémico de aprovisionamiento)

34. ¿Hay pompón cerca de su casa? (si/no)

| | |
|--|-------|
| | 1. Si |
| | 2. No |

35. Si la respuesta es sí: ¿Usa o extrae agua, lodo o musgo? Marcar con una cruz en cada opción y si consume, usa o extrae para uso personal y/o lo vende.

| Marcar la opción | Recurso | Para consumo personal | Para venderlo |
|------------------|---------|-----------------------|---------------|
| | Agua | | |
| | Lodo | | |
| | Musgo | | |

36. Si extrae musgo o lodo para uso personal o subsistencia (uso del hogar y vender): preguntar, en que época del año y donde la vende:

| | |
|--------------------------|--|
| Cuántas bolsas extrae | |
| Época el año | |
| Donde o a quien le vende | |

VII. Ambiental/

44. Pensando en cómo ha cambiado el lugar en que usted vive en los últimos 5 años, usted diría que*:

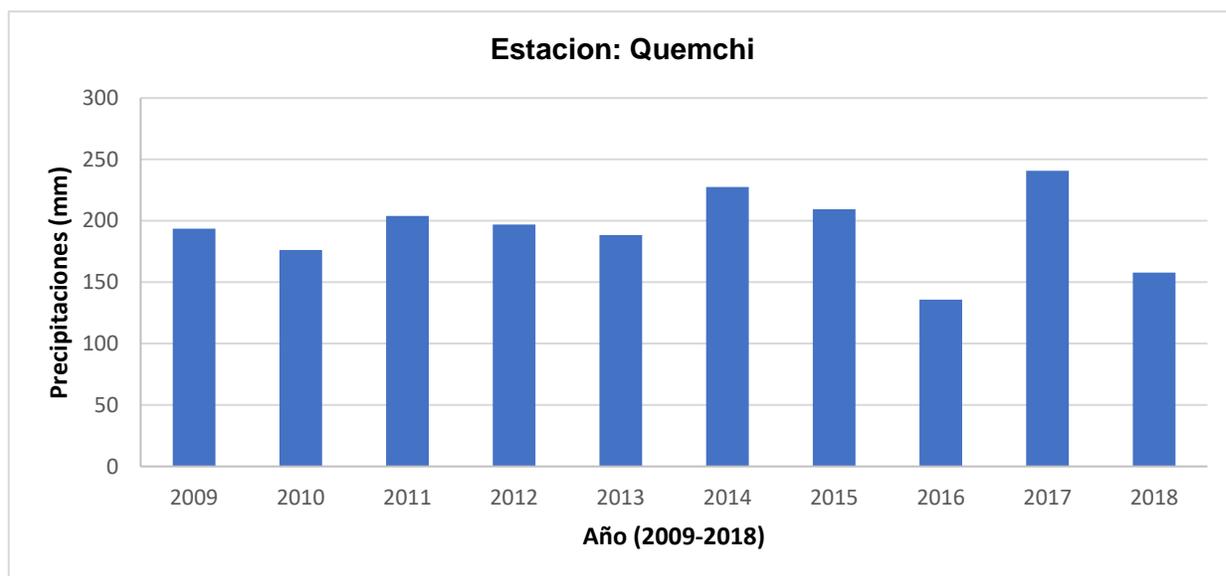
| | Si | No | No aplica (no usa agua, no hay pompones no hay bosque, etc.) |
|--------------------------------------------------------|----|----|--------------------------------------------------------------|
| Hay más contaminación que antes | | | |
| Los bosques naturales han disminuido | | | |
| Las plantaciones han aumentado (especificar especie) | | | |
| Los pompones han disminuido | | | |
| Los recursos de este lugar no alcanzan para vivir bien | | | |
| El agua dulce ha disminuido | | | |

*Tabla adaptada de la encuesta, solo se utilizaron los datos de estas 6 alternativas, cuestionario original cuenta con más categorías de selección.

45. ¿Cree que los ríos, los lagos, mar y/o turberas se encuentran contaminadas? ¿por qué elementos contaminantes? (Plagas, químicos, basura) Especificar

46. Si la respuesta es sí ¿Cree que con su actividad económica contamina el medio ambiente? Especificar qué tipo de ecosistema contamina y como.

Anexo 8. Pluviograma de la precipitación media anual desde 2009-2018 de la estación meteorología de la DGA ubicada en la comuna de Quemchi. Elaboración propia



Anexo 9. Respuestas de la pregunta: ¿En que trabaja usted?

| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|----------------|-------------------------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| Válidos | Agricultura | 18 | 34,6 | 34,6 | 34,6 |
| | Jubilado (a) | 6 | 11,5 | 11,5 | 46,2 |
| | Miticultura | 1 | 1,9 | 1,9 | 48,1 |
| | Casa | 1 | 1,9 | 1,9 | 50 |
| | Recolector(a) de orilla | 2 | 3,8 | 3,8 | 53,8 |
| | Transporte | 2 | 3,8 | 3,8 | 57,7 |
| | Educación | 3 | 5,8 | 5,8 | 63,5 |
| | Comercio | 2 | 3,8 | 3,8 | 67,3 |
| | Venta de leña | 1 | 1,9 | 1,9 | 69,2 |
| | Salmonera | 3 | 5,8 | 5,8 | 75 |
| | Construcción | 4 | 7,7 | 7,7 | 82,7 |
| | Sin trabajo | 1 | 1,9 | 1,9 | 84,6 |
| | Buzo | 1 | 1,9 | 1,9 | 86,5 |
| | Pompón | 1 | 1,9 | 1,9 | 88,5 |
| | Empleado(a) | 2 | 3,8 | 3,8 | 92,3 |
| | Pesca | 1 | 1,9 | 1,9 | 94,2 |
| | Elaboración alimentos | 2 | 3,8 | 3,8 | 98,1 |
| | Ganadería | 1 | 1,9 | 1,9 | 100 |
| | Total | 52 | 100 | 100 | |

Anexo 10. Lugar de extracción el pompón

| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|----------------|------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Válidos | No extrae pompón | 47 | 90,4 | 90,4 | 90,4 |
| | Pido | 1 | 1,9 | 1,9 | 92,3 |
| | Lliuco | 1 | 1,9 | 1,9 | 94,2 |
| | Monte | 2 | 3,8 | 3,8 | 98,1 |
| | Su predio | 1 | 1,9 | 1,9 | 100 |
| | Total | 52 | 100 | 100 | |

Anexo 11. Número de bolsas de pompón.

| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|-----------------|---------|-------------------|-------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Válidos | 15 | 1 | 1,9 | 25 | 25 |
| | 16 | 1 | 1,9 | 25 | 50 |
| | 25 | 1 | 1,9 | 25 | 75 |
| | 30 | 1 | 1,9 | 255 | 100 |
| | Total | 4 | 7,7 | 100 | |
| Perdidos | Sistema | 48 | | | |
| Total | | 52 | 100 | | |

Anexo 12. Respuestas a pregunta frecuencia de extracción del pompón.

| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|----------------|-----------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Válidos | No extrae pompón | 47 | 90,4 | 90,4 | 90,4 |
| | Algunos meses | 4 | 7,7 | 7,7 | 98,1 |
| | Todo el año/todos los días | 1 | 1,9 | 1,9 | 100 |
| | Total | 52 | 100 | 100 | |

Anexo 13. Resultados preguntas relacionadas con el pompón para la comuna de Quemchi.

| Comuna | Quemchi |
|-----------------------------------------|-------------|
| N° encuestas | 52 |
| Nivel de confianza (%) | 95 |
| Error (%) | 13 |
| Agua proviene de APR (%) | 69,2 |
| Costo mensual APR (\$ chilenos) | 6205 ± 4373 |
| No extrae pompón (%) | 90,4 |
| Extrae de su predio (%) | 1,9 |
| Extrae del campo (%) | 7,6 |
| Si hay pompón cerca de casa (%) | 36,5 |
| Agua del hogar proviene de turberas (%) | 0 |
| Extrae agua del pompón (%) | 1,9 |
| Extrae lodo del pompón (%) | 0 |
| Extrae musgo del pompón (%) | 15,4 |
| Los pomponales si han disminuido (%) | 71,2 |
| El bosque nativo si ha disminuido (%) | 84,6 |
| Desarrollo de la comuna: | |
| Aumentar las reservas naturales* | 2,83 ± 0,43 |

Anexo 14. Respuestas a pregunta sobre procedencia de agua que abastece al hogar

| | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|-------------------------------------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| Válidos | | | | |
| Red pública de agua potable | 3 | 5,8 | 5,8 | 5,8 |
| Pozo profundo o noria | 3 | 5,8 | 5,8 | 11,5 |
| Río-Lago-Humedal o vertiente | 9 | 17,3 | 17,3 | 28,8 |
| Agua potable rural | 36 | 69,2 | 69,2 | 98,1 |
| Mas de una fuente | 1 | 1,9 | 1,9 | 100 |
| Total | 52 | 100 | 100 | |

Anexo 15. Valoración económica del servicio ecosistémico de provisión de agua dulce utilizando la tarifa de una APR de la comuna de Quemchi.

| | Volumen de agua (m ³) | Cargo variable (\$200 x m ³ de consumo) | Costo fijo (\$) | Total (\$) |
|-------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------|-------------|
| Consumo Estándar | 1 | 200 | 1500 | 1700 |
| Turbera 1 | 529 | 105800 | 1500 | 107300 |
| Turbera 2 | 201 | 40200 | 1500 | 41700 |
| Turbera 3 | 741 | 148200 | 1500 | 149700 |
| Turbera 4 | 108 | 21600 | 1500 | 23100 |
| Turbera 5 | 1240 | 248000 | 1500 | 249500 |
| Turbera 6 | 88 | 17600 | 1500 | 19100 |
| Turbera 7 | 626 | 125200 | 1500 | 126700 |

Anexo 16. Valoración económica del agua del servicio ecosistémico de provisión de agua dulce utilizando la tarifa de la compañía de agua potable ESSAL para la región de Los Lagos.

| | Volumen de agua (m ³) | Cargo fijo (\$) | Metro cúbico agua potable (\$) | Metro cúbico de recolección (\$) | Metro cúbico tratamiento (\$) | Consumo mensual (\$) |
|-------------------------|-----------------------------------|-----------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------|
| Consumo Estándar | 1 | 756 | 594,98 | 653,71 | 274,85 | 2280 |
| Turbera 1 | 529 | 756 | 314787 | 345859 | 145415 | 806817 |
| Turbera 2 | 201 | 756 | 119481 | 131275 | 55194 | 306706 |
| Turbera 3 | 741 | 756 | 441161 | 484708 | 203794 | 1130418 |
| Turbera 4 | 108 | 756 | 64336 | 70687 | 29720 | 165498 |
| Turbera 5 | 1240 | 756 | 737775 | 810600 | 340814 | 1889946 |
| Turbera 6 | 89 | 756 | 52847 | 58064 | 24413 | 136080 |
| Turbera 7 | 626 | 756 | 372230 | 408972 | 171951 | 953909 |

Anexo 17. Referencias bibliográficas utilizadas para el análisis preliminar de asimilación de agua por sistemas adyacentes a las turberas.

| Referencia | Evapotranspiración | Infiltración |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Echeverría y col., 2007 | Comparación tasa de evapotranspiración entre Bosque nativo y Pradera | Mayor producción hídrica en pradera que en Bosque nativo |
| Lara y col., 2009 | Comparación tasa de evapotranspiración del bosque nativo en relación con un sistema forestal | Mayor tiempo de retención de humedad en el suelo de un bosque nativo |
| Jofre y col., 2014 | Comparación entre cubierta forestal y praderas | Comparación entre producción hídrica entre bosque nativo y plantación forestal |
| Pizarro y col., 2019 | Comparación evapotranspiración sistema bosque y pradera | Comparación infiltración sistema bosque y plantación forestal y pradera |
| Guerrero, 2019 | Aporte de evapotranspiración desde los ecosistemas a la atmosfera | Comparación en infiltración del suelo entre bosque nativo y praderas debido a prácticas de manejo |
| Oyarzun y col., 2011 | Aumento de evapotranspiración producto de transición de sistema pradera a forestal. | Comparación infiltración bosque nativo y sistema forestal. |