



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

ROL ECOSISTÉMICO, SOCIAL E IMPORTANCIA DE LA CONSERVACIÓN DE
LA BIODIVERSIDAD DE LOS HONGOS EN CHILE Y EN EL BOSQUE
ESCLERÓFILO

Memoria para optar al título de Geógrafo

Autor: MARTÍN MORALES AMIGO

Profesor guía: Dr. Hugo Romero Aravena

SANTIAGO – CHILE
2021

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mis papás, por todo el amor que me han dado y por haberme apoyado en las buenas y juntos haber salido de las malas. A mis hermanos Paz, Kai y Gaspar por todos los muy buenos momentos compartidos día a día. A mi familia, que siempre ha estado a mi lado acompañándome y apoyándome. Al Mauri, al Camo y al Luchito, por haber estado siempre ahí, enseñarme, hacerme reír y pasar con ellos los mejores momentos de mi vida. A la Julieta, por haberme acompañado, apoyado y amado todos estos años. Al Octavio, al Lukitas, al Sebita, a la Catali, a la Paula, a la Feña, al Mati, al Bodoke, a la Naty y todos y todas esas grandes amigas que ya son mi segunda familia. A todos esos amigos que me han dejado alguna enseñanza y que me han ayudado a crecer y me han servido de apoyo para llegar a ser lo que soy hoy día. A toda la gente de la FAU con la que tuve el gusto de vivir muy buenos momentos estos últimos 5 años. Y, por último, pero no menos importante: *“A todos esos invisibles que me abrieron los ojos a lo que ahora es visible”*.

Agradecido de las experiencias que me ha tocado vivir y de los lugares que he tenido la suerte de conocer, a los hongos, plantas y animales que he podido ver, y de haber conocido a la geografía, que me ayudará a seguir viviendo muchas experiencias más.

*“Celebro mi destino de sentir como siento,
De vivir como vivo,
De morir como muero.
Y porque lo celebro,
Y soy al fin la nada
De la sombra de un verso,
Les digo: ¡Muchas gracias!”*

- Atahualpa Yupanqui

Resumen

La importancia ecosistémica de los hongos es amplia, interactuando con todos los reinos que la conforman y siendo vitales para su funcionamiento en todo el mundo. A su vez, presentan un gran vínculo con el ser humano, contribuyendo a su alimentación, medicina y construcción, entre muchos otros servicios.

La conservación de la biodiversidad a través de la creación de Áreas Protegidas en Chile, por su parte, tiene como tarea pendiente lograr representar la variedad de ecosistemas presentes en el territorio. El bosque esclerófilo es una de las formaciones vegetacionales que presenta una muy baja conservación en la zona central del país.

A nivel Internacional, la conservación de la biodiversidad se ha preocupado de proteger la flora y fauna existente en los ecosistemas, dejando de lado a la funga, la que aparece como el tercer reino de los seres vivos con taxones macroscópicos.

En esta memoria se estudió en primer lugar la importancia ecosistémica que tienen los hongos, la cual se clasificó según sus grupos tróficos (micorrizas, saprófitos y parásitos) y cómo éstos se relacionan con los demás reinos de los seres vivos. Seguido a esto, se identificaron los servicios ecosistémicos que proveen los hongos, clasificándolos en los servicios de provisión, de regulación, de soporte y culturales.

En tercer lugar, y en base a los dos objetivos anteriores, se consideró la integración del reino Fungi en la conservación de la biodiversidad a través de la creación de Áreas Protegidas. Para esto, se acudió principalmente al *“Manual para la Planificación del Manejo de las Áreas Protegidas del SNASPE”* de la Corporación Nacional Forestal (CONAF) (2017).

Y, en último lugar, se propuso la creación de áreas potenciales para la conservación de la comunidad de hongos presentes en el bosque esclerófilo. Para lograrlo, se consideraron aquellas variables que influyen en la distribución geográfica de éstos y se realizó un análisis multicriterio para obtener las áreas potenciales.

Habiendo entendido el rol ecosistémico y social que poseen los hongos, es necesario que se integre el reino Fungi en la conservación de la biodiversidad, ya que sin ellos no existiría ni la flora ni la fauna. En el caso específico del bosque esclerófilo, es estrictamente necesario que las Áreas Protegidas ya existentes integren a los hongos en sus planes de manejo, y que se priorice conservar las áreas potenciales propuestas en esta memoria.

De ahora en adelante, cuando se hable sobre la conservación de la biodiversidad deben considerarse los tres reinos macroscópicos presentes en ella: Flora, Fauna y Funga.

Palabras clave: *Hongos, funga, bosque esclerófilo, conservación de la biodiversidad, Áreas Protegidas.*

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN	7
1.1. Introducción	7
1.2. Planteamiento del Problema	8
1.3. Objetivos.....	10
1.3.1. Objetivo General:.....	10
1.3.2. Objetivos Específicos:	10
CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ASUNTO.....	11
2.1. Biogeografía de la Conservación	11
2.2. Funga	12
2.3. Ecología de los Hongos	13
2.4. Servicios Ecosistémicos	16
2.5. Hongos en el Bosque Esclerófilo	17
2.6. Patrones Biogeográficos y Estimación de la Distribución Potencial de la Comunidad de Hongos	20
2.6.1. Sistemas de Información Geográfica en la Conservación de la Biodiversidad	20
CAPÍTULO 3: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO.....	22
3.1. Área de Estudio	22
3.2. Método	24
3.2.2. Entrevistas.....	26
3.2.3. Análisis Multicriterio	26
CAPÍTULO 4: RESULTADOS.....	29
4.1. Importancia Ecosistémica de los Hongos.....	29
4.1.1. Relación Simbionte Hongo-planta.....	30
4.1.2. Líquenes.....	36
4.1.3. Relación Hongo-animal	37
4.1.4. Hongos Saprófitos o Saprobiontes	39
4.1.5. Hongos Parásitos	42
4.2. Servicios Ecosistémicos Provistos por los Hongos	42
4.2.1. Servicios de Soporte.....	42
4.2.2. Servicios de Provisión	42
4.2.3. Servicios de Regulación	44
4.2.4. Servicios Culturales	46
4.3. Importancia de los Hongos para la Conservación de la Biodiversidad	48
4.3.1. Conservación de los Hongos y de sus Ecosistemas	48
4.3.2. Hongos en la Creación de Áreas Silvestres Protegidas	49

4.4. Áreas Potenciales para la Conservación de la Comunidad de Hongos en el Bosque Esclerófilo.....	52
DISCUSIÓN.....	66
CONCLUSIONES.....	68
RECOMENDACIONES.....	69
BIBLIOGRAFÍA.....	70
ANEXOS.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1: Clasificación de los reinos de los seres vivos.....	12
Figura N°2: Líquenes colonizando rocas tras el retroceso de un glaciar.	14
Figura N°3: Hongo: seta y micelio.....	15
Figura N°4: Clasificación de los servicios ecosistémicos.	17
Figura N°5: Poster Setas de hongos del bosque esclerófilo.....	18
Figura N°6: Seta de <i>Mycena cyanocephala</i>	19
Figura N°7: Área de estudio: Bosque esclerófilo.	22
Figura N°8: Esquema metodológico.....	24
Figura N°9: Estrategias de los hongos para conseguir sus alimentos.	30
Figura N°10: Representación de una micorriza.....	31
Figura N°11: Ejemplo de liquen <i>Telochistes flavicans</i>	37
Figura N°12: Micelio y cuerpo fructífero de un hongo saprófito de tipo <i>Mycenoides</i> creciendo sobre hojarasca.	40
Figura N°13: Champiñones ostra creciendo en un suelo contaminado con petróleo.	45
Figura N°14: Áreas potenciales para la conservación de la comunidad de hongos en el bosque esclerófilo.	52
Figura N°15: Superficie en hectáreas de áreas potenciales por categoría.	54
Figura N°16: Distribución de la precipitación anual en el bosque esclerófilo.	55
Figura N°17: Distribución de la precipitación estacional en el bosque esclerófilo.....	56
Figura N°18: Distribución de la humedad (índice TWI) en el bosque esclerófilo.....	57
Figura N°19: Distribución de la calidad, cantidad y desarrollo de las plantas (índice NDVI) en el bosque esclerófilo.	58
Figura N°20: Distribución del pH del suelo en el bosque esclerófilo.....	59
Figura N°21: Distribución del nitrógeno del suelo en el bosque esclerófilo.....	60
Figura N°22: Distribución del carbono orgánico del suelo en el bosque esclerófilo.	61
Figura N°23: Distribución de la temperatura del mes más cálido en el bosque esclerófilo.	62

Figura N°24: Distribución de la capacidad de intercambio catiónico del suelo en el bosque esclerófilo.	63
Figura N°25: Áreas potenciales para la conservación de la comunidad de hongos del bosque esclerófilo y SNASPE.	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Variables seleccionadas para el análisis multicriterio.	28
---	----

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N°1: Pauta de entrevista.	77
Anexo N°2: Efecto medicinal y compuestos bioactivos de hongos silvestres comestibles.	77
Anexo N°3: Compuestos químicos de hongos formadores de setas con actividad farmacológica.	78
Anexo N°4: Ejemplo de selección de OCB para el plan de manejo de la Reserva Río de Los Cipreses.	79

CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN

1.1. Introducción

La biodiversidad constituye un recurso fundamental para el sostenimiento de la especie humana y para los sistemas que soportan la vida en el planeta (Figueroa, 2015). Una de las maneras que existe para proteger la biodiversidad es a través de la conservación *in situ* (Plissock, 2015), en la que destaca la creación de Áreas Silvestres Protegidas (de ahora en adelante ASP), las cuales son uno de los instrumentos de gestión de la biodiversidad más importantes y comúnmente empleados para asegurar la conservación del patrimonio natural y sus valores asociados (Simonetti-Grez, Simonetti y Espinoza, 2015).

Aunque en Chile existe un alto porcentaje del territorio nacional destinado a ASP, no todos los ecosistemas se encuentran protegidos por éstos. Gracias a su alto endemismo, la región mediterránea de Chile es considerada como un “hotspot” de la biodiversidad (Myers et al., 2000, en Plissock y Fuentes, 2008), lo que la clasifica como “sobresaliente y con máxima prioridad de conservación” debido a su singularidad, alto valor biológico y peligro crítico de conservación (Comisión Nacional del Medio Ambiente – Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [CONAMA – PNUD], 2005, en Pino, 2008). Uno de estos ecosistemas corresponde al bosque de tipo esclerófilo que, a pesar de contar con un alto porcentaje de vegetación autóctona, sólo un 2% se encuentra representada en el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) (Martínez et al., 2011).

Por otro lado, las ASP a nivel nacional cuentan con un amplio conocimiento sobre su flora y fauna, pero esto no ocurre de igual manera con el reino Fungi, el tercer reino dentro de los seres vivos con taxones macroscópicos. En el Registro Nacional de Áreas Protegidas del Ministerio del Medio Ambiente de Chile, en donde destacan 36 parques nacionales y 26 reservas nacionales, no se presenta ningún plan de manejo o base de datos que cuente con información o listados sobre los hongos presentes y, por ende, sobre su estado de conservación (Marín, Torres, Furci, Godoy y Palfner, 2018).

La importancia de los hongos en la biodiversidad es amplia, interactuando con todos los reinos que la conforman, destacando entre diversas características por ser los primeros taxones macroscópicos en poblar la superficie terrestre y asociarse con aproximadamente el 80% de las plantas vasculares (Alcántara, 2010). Por otra parte, los hongos tienen un gran vínculo con el ser humano, contribuyendo a su alimentación, medicina y construcción, entre muchos otros servicios.

Esta memoria propone en primer lugar, a través de la revisión bibliográfica y entrevistas reconocer la importancia y los servicios ecosistémicos (de ahora en adelante SSEE) que entregan los hongos, para así poder identificar el aporte que éstos pueden tener en la creación de ASP; y, en segundo lugar, en base a un análisis multicriterio, identificar aquellas áreas que tengan el potencial para conservar la comunidad de hongos en el bosque esclerófilo. Como resultados se espera obtener una recopilación de las características de

los hongos a nivel nacional, tanto desde el punto de vista ambiental como social, que sirva como sustento para la implementación de nuevas ASP, así como en la integración de las ya existentes. También se proponen áreas que puedan conservar a los hongos y además ayuden en la conservación del bosque esclerófilo.

1.2. Planteamiento del Problema

Los ecosistemas son el resultado de cientos de miles y millones de años de evolución conjunta y adaptación a las condiciones ambientales, por medio de procesos de sucesión ecológica (Washitani, 2001, en Fontúrbel, 2004). Al perderse una o más especies, se interrumpen parcial o totalmente los flujos energéticos y de materia que mantienen el equilibrio y el funcionamiento saludable del ecosistema, ocasionando una perturbación en las redes tróficas y en los mecanismos de control de la diversidad y riqueza de las comunidades (Achá y Fontúrbel, 2003, en Fontúrbel, 2004).

Por otra parte, esta biodiversidad constituye un recurso fundamental para el sostenimiento de la especie humana y para los sistemas de soporte de la vida en el planeta, y, por lo tanto, resulta indispensable para el bienestar social y el desarrollo económico (Figueroa, 2015).

Una de las maneras que existe para proteger la biodiversidad es a través de la conservación *in situ*, que se refiere a la protección de los distintos elementos constituyentes de sus hábitats naturales (Plissock, 2015). Dentro de esta modalidad aparecen las ASP, las cuales son uno de los instrumentos de gestión de la biodiversidad más importantes y comúnmente empleados para asegurar la conservación del patrimonio natural y sus valores asociados (Simonetti-Grez et al., 2015).

Chile es considerado como una “isla biogeográfica”, debido a una baja riqueza de número de especies, altos niveles de endemismo y una gran diversidad de ambientes, relacionado directamente a los gradientes climáticos altitudinal, latitudinal y longitudinal que determinan un mosaico de paisajes que va desde desiertos tropicales en altura, hasta climas templados fríos en el extremo sur del país (Plissock, 2015). Dentro de su territorio actualmente cuenta con una gran variedad de ASP con sobre 100 unidades que cubren más de 14,5 millones de hectáreas de superficie terrestre y más de 15 millones en el mar, lo que representa en conjunto aproximadamente el 20,7% del territorio nacional continental y un 4% del mar territorial chileno, a los que se les suman además iniciativas privadas de conservación (Figueroa, 2015).

A través del SNASPE, la conservación de la biodiversidad presenta diferentes aspectos críticos, marcados principalmente desde el punto de vista institucional por la descoordinación que existe entre los servicios públicos que se encargan de las ASP y por la ineficaz representatividad de los ecosistemas considerados en estas áreas, los cuales se encuentran fragmentados a lo largo del territorio, con un desequilibrio geográfico en su distribución espacial, al estar ubicadas principalmente en los extremos norte y sur y fuera

de los territorios de mayor nivel de diversidad y endemismo (Jorquera-Jaramillo et al., 2012; Rozzi, Armesto y Figueroa, 1994).

Uno de los ecosistemas que destaca por su alto nivel de endemismo corresponde al matorral y bosque esclerófilo, ubicado en la zona central mediterránea de Chile. Considerado como un “hotspot” de biodiversidad (Myers et al., 2000, en Plischoff y Fuentes, 2008) debido a su singularidad y alto valor biológico, estos ecosistemas presentan un estado crítico de conservación: de los 22 pisos vegetacionales con mayores superficies antropizadas en Chile, la gran parte de estos se encuentran presentes en la zona central mediterránea, destacando en gran parte diferentes pisos de bosque esclerófilo, identificándose algunos con un 0% de representación en las ASP (Plischoff, 2015). Sumado a esto, al 2015 se registró una tasa anual de pérdida de la vegetación nativa de entre 3,5% a 4,5%, debido a la presión por el uso antrópico del suelo (Ministerio del Medio Ambiente, 2015), principalmente por extensos campos de cultivos agrícolas, plantaciones frutales, viñedos, plantaciones forestales, y potreros de ganado (Altamirano, 2008; Martínez et al., 2011).

Además de los reinos vegetal y animal, aparece el reino Fungi como el tercero de los seres vivos con taxones macroscópicos. Caracterizados como organismos vivos mayormente inmóviles y que necesitan de compuestos orgánicos de otras especies para su alimentación (Piepenbring, López y Cáceres, 2016), tienen una amplia importancia en la biodiversidad interactuando con todos los reinos que la conforman, destacando entre sus diversas características por ser los primeros taxones macroscópicos en poblar la superficie terrestre y asociarse con aproximadamente el 80% de las plantas vasculares (Alcántara, 2010). Por otra parte, los hongos se vinculan enormemente con el ser humano, gracias a los diferentes SSEE que generan. Esto es de vital importancia ya que la cooperación e interacción que existe entre los hongos y los diferentes organismos, especies e individuos sostiene la vitalidad y la estabilidad del ecosistema en el que viven, a diferentes niveles de las cadenas tróficas y de los ciclos biogeoquímicos (de Miguel, 2019; Marín et al., 2018).

Volviendo al concepto de “isla biogeográfica”, gracias al largo y diverso gradiente de ecosistemas, Chile cuenta con una alta diversidad de especies fúngicas, poseyendo un gran porcentaje de la micobiota chilena endémica en el Cono Sur (Smith-Ramírez et al., 2005, en Marín et al., 2018).

A pesar de que a nivel nacional las ASP cuentan con un amplio conocimiento sobre su flora y fauna, no ocurre de igual manera con los hongos. En el Registro Nacional de Áreas Protegidas del Ministerio del Medio Ambiente de Chile, en donde destacan 36 parques nacionales y 26 reservas nacionales, no se presenta ningún plan de manejo o base de datos que cuente con información o listados sobre los hongos presentes y, por ende, sobre su estado de conservación (Marín et al., 2018).

En el caso de los hongos presentes en el matorral y bosque esclerófilo, son muy pocos los estudios que se han realizado al respecto y están enfocados únicamente a hongos

micorrícicos (Silva-Flores et al., 2017; Silva-Flores et al., 2017b; Silva-Flores et al., 2017c; Silva-Flores et al., 2017d; Silva-Flores et al., 2018; Silva-Flores et al., 2019; Silva-Flores et al., 2019b; Silva-Flores et al., 2019c), lo que se vuelve una limitante a la hora de poder conservarlos a ellos y, a su vez, la biodiversidad del bosque esclerófilo.

Esta memoria busca responder a la problemática de la falta de consideración del reino Fungi en las áreas de protección de la conservación de la naturaleza, identificando y proponiendo áreas geográficas potenciales para ello dentro de las superficies de bosques esclerófilos típicos de Chile Central, sobre la base de un conjunto de criterios relacionados a factores ambientales que explican su presencia en estos paisajes, Desde aquí se propone destacar la importancia que tiene este reino en los ecosistemas, sumado a los SSEE que entregan al ser humano, para así poder comprender el aporte que pueden tener en la creación de ASP en Chile, ya que, como aclara CONAF (2017), *“la planificación de las áreas protegidas debe considerar el bienestar y calidad de vida de la sociedad y muy especialmente de la comunidad local”* (p. 84). Y, por otra parte, con el fin de aportar en la conservación del bosque esclerófilo, proponer áreas potenciales para la conservación de la comunidad de hongos en la misma formación vegetal.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General:

- Elaborar una propuesta que considera la importancia ecosistémica y social y el aporte de los hongos en la creación de Áreas Silvestres Protegidas en Chile y su potencial aporte en la conservación del bosque esclerófilo.

1.3.2. Objetivos Específicos:

1. Reconocer la importancia ecosistémica de los hongos.
2. Identificar los servicios ecosistémicos provistos por los hongos.
3. Considerar la integración del Reino Fungi en la creación de Áreas Silvestres Protegidas en Chile.
4. Proponer áreas potenciales para la conservación de la comunidad de hongos en el bosque esclerófilo.

CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ASUNTO

2.1. Biogeografía de la Conservación

La *Biogeografía de la Conservación* ha sido definida recientemente por Robert Whittaker et al. (2005) como la aplicación de los principios, teorías y análisis que se preocupan de la distribución dinámica individual y colectiva de los taxones, relacionados a los problemas relacionados con la conservación de la biodiversidad. Ésta puede ser considerada como una subdisciplina tanto de la Biogeografía como de la Biología de la Conservación (Whittaker et al., 2005).

La Biogeografía es comprendida como:

“El estudio en todas las escalas posibles de análisis de la distribución de la vida en el espacio y cómo ha cambiado a través del tiempo, dentro de lo cual una preocupación principal siempre ha sido la distribución y dinámica de la diversidad, frecuentemente codificada en términos simplemente de números de especies o proporciones de especies endémicas.” (Whittaker et al., 2005, p. 4).

Esta subdisciplina de la Geografía y de la Ecología ha tenido aportes claves para la teoría y práctica de la conservación biológica, poniendo principal atención al contexto escalar y espacial, generando por ejemplo en gran medida modelos espaciales de la distribución de la biodiversidad y su relación con el área, sentando las bases para la creación de ASP (Grehan, 1993, en Carton, Bocco, Córdova y Winkler, 2011).

Por otra parte, Whittaker et al. (2005) comprenden el concepto de la Biología de la Conservación como aquellas investigaciones diseñadas para informar las decisiones de gestión relativas a la conservación de la biodiversidad.

A estos dos conceptos además se les debe integrar el paradigma de la conservación de ecosistemas, que se basa en postulados que plantean que su estabilidad depende directamente de la riqueza y abundancia de especies, lo que busca no discriminar dentro de un ecosistema a un grupo de especies “importantes” o “fundamentales” por sobre otras “no fundamentales” o “no importantes” (Schwartz et al., 2000, y Hector et al., 2001, en Fontúrbel, 2004); y también, desde la episteme de la Geografía, ambiente y sociedad deben ser visualizadas como una unidad inalienable, como el resultado de la interacción milenaria entre ambos (Cronon, 1995, en Carton et al., 2011). Así, la Geografía aporta una visión que contrasta con la tradicional perspectiva biocéntrica que comprende al ambiente como ecosistemas prístinos en equilibrio (Carton et al., 2011).

2.2. Funga

La funga es a los hongos, como la flora a las plantas y la fauna a los animales. En términos simples, un hongo es un organismo vivo que se caracteriza por ser mayormente inmóvil y por necesitar de compuestos orgánicos de otros seres vivos para su alimentación, por lo tanto, es heterótrofo (Piepenbring et al., 2016). Propios del reino Fungi, los hongos se encuentran sistemáticamente entre los reinos de las plantas y los animales. Esto significa que los seres humanos estamos más relacionados con los hongos que con cualquier otro reino (Schwartzberg, 2019).

A diferencia de los otros 4 reinos presentes en la naturaleza, el Reino Fungi no fue considerado hasta 1969 por Robert Whittaker, sumándose 13 años después a esta clasificación de los seres vivos, junto al Reino Plantae, Animalia, Protista y Monera (ver Figura N°1), por lo que se podría considerar, en términos científicos, como un reino joven (Iberdrola, 2021; Chilecientífico, 2020). De hecho, el primer registro de un hongo en la lista de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) fue en el año 2006, muy distinto a las plantas, por ejemplo, que para el año 1996 ya tenían más de 5.000 especies registradas (Chilecientífico, 2020). Al 2020, en la misma lista roja de la UICN, aparecen 344 hongos registrados, versus 45.106 plantas y 77.460 animales (Ledezma, 2020). Hoy en día, a nivel mundial se han descrito 69.000 especies aproximadamente propias del reino Fungi, pero se estima que existen entre 1,5 y 3 millones de especies si se consideran los hongos asociados a los insectos, lo que significa que hay 4 veces más especies de hongos que de plantas (Alcántara, 2010).

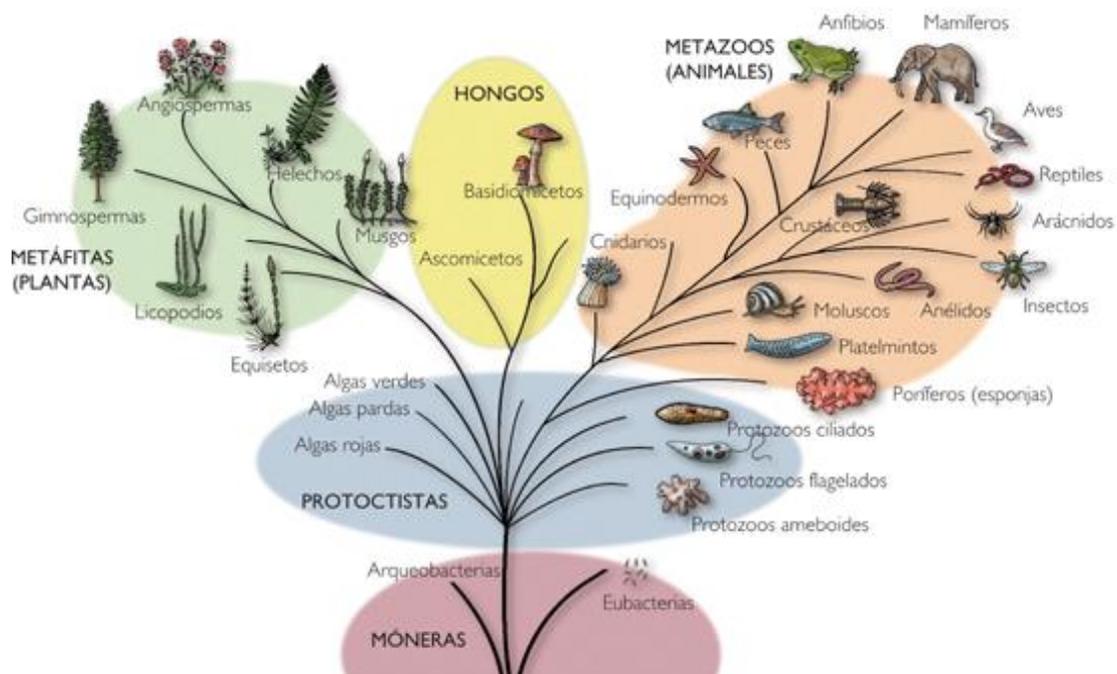


Figura N°1: Clasificación de los reinos de los seres vivos.

Fuente: Ibarrera, 2020.

Si bien los hongos tienen características de plantas, bacterias y animales, evolutivamente se separaron de los otros linajes hace aproximadamente 1500 millones de años, aunque colonizaron la Tierra hace aproximadamente 400 millones de años (Marín, 2018). No obstante, las características que presentan el día de hoy son fruto de la evolución de millones de años en la propia Tierra.

2.3. Ecología de los Hongos

Una manera de comprender el rol de los hongos en el poblamiento de especies sobre la superficie terrestre es en los ambientes glaciares: Tras el retroceso de un glaciar, el que va dejando sólo los componentes más firmes, luego de pocos días aparecerán los primeros organismos, pequeños líquenes. Estas agrupaciones simbióticas (compuestas por hongos y organismos fotosintéticos, explicados en detalle en el capítulo de *Relación simbiote hongo-planta*) tienen la capacidad de captar energía del Sol, soportar la radiación solar y resistir el constante viento de estas zonas expuestas. Los líquenes, al ir muriendo, comienzan a aportar materia orgánica, la cual es descompuesta por bacterias de gran resiliencia (Ortiz-Álvarez, Fierer, de los Ríos, Casamayor y Barberán, 2018). Como resultado aparecen los primeros nutrientes para la llegada de los primeros organismos vegetales, como musgos y pequeñas plantas con flores, las cuales pueden presentar raíces extremadamente fuertes con la capacidad de ir rompiendo y erosionando las rocas en busca de nutrientes y agua. Éstos, sumado a la erosión provocada por el viento y el agua, van disgregando los componentes minerales que, junto a los compuestos orgánicos derivados de los mismos organismos colonizadores en descomposición, generarán una nueva capa de suelo, dando paso a nuevos individuos de plantas, y posteriormente a especies animales, los cuales al morir vuelven a ser descompuestos por otros hongos y bacterias (Gygli, 2020). “*Están como al final de las cosas, pero también están al principio*” (Bone, 2019, en Schwartzberg, 2019).



*Figura N°2: Líquenes colonizando rocas tras el retroceso de un glaciar.
Fuente: National Geographic, 2017.*

A diferencia de la creencia común, el hongo no es lo mismo que la seta. La seta (carpóforo o callampa) es al hongo como el fruto es al árbol. La seta solo es una pequeña pero importantísima parte que le permite reproducirse mediante la dispersión de esporas (de Miguel, 2019). Los hongos en definitiva están compuestos por hifas, que son hileras de células y que en su conjunto forman una red llamada micelio, la que se oculta en el suelo, madera o cualquier otro sustrato (Lazo, 2016; Furci, 2007) (Figura N°3).

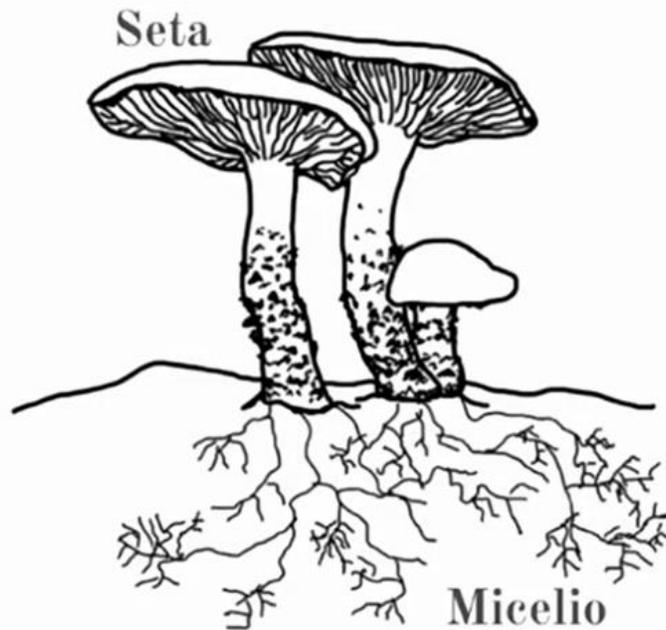


Figura N°3: Hongo: seta y micelio.

Fuente: Cesta de Setas, S.F.

Existen tres grupos estratégicos para que los hongos obtengan sus alimentos: a través de la simbiosis mutualista entre dos organismos, a través del parasitismo y a través de la descomposición de materia orgánica. En el caso de la simbiosis mutualista, cuando el hongo interactúa con una planta recibe el nombre de *micorriza*, que significa “hongo-raíz”, pero que actualmente se considera en un sentido más amplio para dar cabida a asociaciones que no se establecen en raíces sino en otros órganos de contacto (Honrubia, 2009). Es a través de esta micorriza que se genera un beneficio mutuo entre ambos organismos por el intercambio de nutrientes, y en donde el hongo le permite además a la planta habitar en condiciones hostiles, crecer más vigorosa y saludable (ya que puede absorber más agua y nutrientes) y la protege de otros hongos patógenos.

Estas funciones, además de los beneficios que generan a nivel individual, proporcionan beneficios a nivel comunitario, como la regulación de diversidad de plantas y de hongos, y el reclutamiento de nuevos individuos; a nivel ecosistémico, regulando la distribución y productividad de los ciclos del carbono, nitrógeno y fósforo; y también a nivel biogeográfico, colaborando a la distribución de especies de plantas en gradientes macroecológicos (Dibán, 2020). Se estima que el 80% de las plantas vasculares están asociadas a hongos, sin los cuales no resistirían ciertas inclemencias en el tiempo, como la sequía o la falta de nutrientes en el suelo (Alcántara, 2010).

2.4. Servicios Ecosistémicos

Según Camacho y Ruiz (2011), los ecosistemas cumplen 23 funciones básicas, clasificadas en cuatro grandes grupos: a) *Funciones de regulación*, relacionadas con la capacidad de los ecosistemas de controlar los procesos ecológicos esenciales y sostener sistemas vitales a través de ciclos biogeoquímicos y otros procesos biológicos; b) *Funciones de hábitat*, las que comprenden la existencia de áreas de refugio y reproducción para plantas y animales, contribuyendo a la conservación biológica y diversidad genética; c) *Funciones de producción*, que se refieren a los procesos fotosintéticos de autótrofos en general, de los cuales los organismos autoabastecen sus requerimientos orgánicos a partir de compuestos inorgánicos, y d) *Funciones de información*, en que los ecosistemas proporcionan servicios de referencia y contribuyen al mantenimiento de la salud humana proporcionando diferentes oportunidades de enriquecimiento.

De estas funciones se derivan diferentes beneficios y servicios que las sociedades humanas obtienen de los ecosistemas, los que se comprenden como *Servicios Ecosistémicos* (MEA, 2003, en Laterra, Jobbágy y Paruelo, 2011), los que incluyen:

“i) los bienes o recursos naturales como el agua o los alimentos, ii) los procesos ecosistémicos que regulan las condiciones en los que los humanos habitan, como la regulación del clima o de la erosión, iii) la contribución de los ecosistemas a experiencias que benefician directa o indirectamente a las sociedades, como el sentido de pertenencia o la recreación, y iv) los procesos ecológicos básicos que permiten que se provean los anteriores.” (MEA, 2003, Maass et al., 2005, en Laterra et al., 2011, p. 45).

Estos servicios a su vez se pueden agrupar en cuatro grandes clases: 1) *Servicios de soporte*: necesarios para la producción de todos los demás SSEE; 2) *Servicios de aprovisionamiento*: aquellos productos obtenidos del ecosistema; 3) *Servicios de regulación*: beneficios obtenidos de la regulación de los procesos del ecosistema; y 4) *Servicios culturales*: Beneficios no materiales que la gente obtiene de los ecosistemas (Camacho y Ruiz, 2011) (ver Figura N°4).



*Figura N°4: Clasificación de los servicios ecosistémicos.
Fuente: Millenium Ecosystem Assessment, 2005.*

Esta clasificación ha sido de gran utilidad para comprender desde un punto de vista social la importancia de los ecosistemas y así se puedan conservar más áreas de alto valor ambiental, pero, por otra parte, también ha llevado a que se caricature el concepto, lo que hace que en un extremo los ecosistemas se consideran única y exclusivamente por su utilidad directa a las sociedades, poniendo en peligro el mantenimiento del conjunto (Montes, 2007, citado en Vásquez, 2016). Debe entonces comprenderse en este caso a los hongos desde su importancia humana, pero sin olvidar su rol ecosistémico.

2.5. Hongos en el Bosque Esclerófilo

Los estudios que existen acerca de la comunidad de hongos presentes en esta formación son escasos. Se han podido registrar especies nativas y endémicas, en particular aquellas que se asocian con una única especie vegetal endémica. Patricia Silva-Flores (2018) logró reconocer en sus investigaciones que todas las especies dominantes del bosque estudiado (*Peumus boldus*, *Lithraea caustica*, *Quillaja saponaria*, *Cryptocarya alba*, *Kageneckia oblonga* y *Escallonia pulverulenta*) tienen estructuras de hongos micorrízicos arbusculares en sus raíces. Además, destaca que la mayor abundancia de hongos pertenece a los géneros *Glomus*, *Claroideoglomus* y *Paraglomus*.

Dibán (2021) y Ponce (2021) reconocen varias especies nativas como: *Cyptotrampa hygrocyboides*, *Simocybe olivaceiceps*, *Omphalina versatilis*, *Phylloporia boldo*, *Mycena*

hyalinotricha, *Mycena subglutinosa*, *Marasmiellus alliiodorus*, *Fomitiporia chilensis*, entre otras. La ONG Micófilos (S.F.) por su parte, creó un poster con las setas de hongos que son comunes de avistar en el bosque esclerófilo:



Figura N°5: Poster Setas de hongos del bosque esclerófilo.

Fuente: ONG Micófilos, S.F.

Desde el punto de vista antrópico, destacan especies comestibles como la *Morchella esculenta*, conocida como “cagarria” o “morilla” y la *Lepista nuda*; desde su uso medicinal aparecen las especies del género *Bovista*, utilizadas en preparaciones homeopáticas (Hughes, 1868), la *Trametes versicolor* o “Cola de pavo”, utilizada principalmente para combatir diversos tipos de cáncer; y también desde la recreación y el turismo aparece la *Mycena cyanocephala*, la que es muy atractiva por su color azul fosforescente (Dibán, 2021) (ver Figura N°6). Hay que destacar además aquellas especies simbióticas que ayudan a la subsistencia de la planta y el ser humano las ocupa como plantas medicinales, como el boldo (*Peumus boldus*) y el quillay (*Quillaja saponaria*) (Ponce, 2021).



Figura N°6: Seta de Mycena cyanocephala.
Fuente: Oscar Fuentes, 2015.

Sumado a la investigación de Silva-Flores en el bosque esclerófilo, se han realizado investigaciones sobre micorrizas asociadas a las plantas presentes en el matorral chileno (Silva-Flores et al., en revisión) y otras sobre algunas comunidades de hongos micorrizas que han sido descritas (Benedetti, Balocchi y Hormazábal, 2018, Marín et al., 2018, en Silva-Flores, 2018). Los resultados obtenidos por estas publicaciones describen a 23 especies de hongos micorrícicos arbusculares asociados a poblaciones naturales de *Peumus boldus* en Chile central (Benedetti et al., 2018), diversidad y efectos de crecimiento de 42 hongos ectomicorrícicos en bosque de *Nothofagus pumilio* en los andes del sur de Chile (Marín et al., 2018), y los factores que determinan la comunidad de hongos micorrícicos arbusculares del bosque esclerófilo en Chile central mediterráneo (Silva-Flores, 2018). Ello evidencia la escasez de estudios asociados a la descripción de las comunidades de hongos pertenecientes a los tres grupos estratégicos, y no exclusivamente a hongos formadores de micorrizas.

2.6. Patrones Biogeográficos y Estimación de la Distribución Potencial de la Comunidad de Hongos

Existen en la literatura diversos autores que han descrito patrones biogeográficos que explican la distribución de la diversidad y riqueza de especies de hongos en los diferentes ecosistemas: Erland y Taylor (2002) explicaron aquellos factores presentes en los suelos que tienen un efecto en el número de puntas de micorrizas, en la colonización y su efecto en los carpóforos; Tedersoo et al. (2014) describen aquellas características que tienen efectos en el desarrollo de ectomicorrizas, saprobiontes, parásitos y los tres grupos en simultáneo. Estas características no solo se rigen a condiciones edáficas, sino que también a variables climáticas y espaciales como la precipitación y la distancia desde el Ecuador; y Dibán (2019) recoge los resultados de estos autores y los aplica para obtener los patrones biogeográficos de los ensamblajes de hongos *Agaricales* en bosques dominados por *Nothofagus obliqua* y *Nothofagus macrocarpa* en el centro y sur de Chile, utilizando las variables edáficas, climáticas, espaciales y vegetacionales, y aplicándolas para las ectomicorrizas, saprobiontes, parásitos y los tres en conjunto.

En cuanto a la distribución biogeográfica en específico, este reino presenta un rango geográfico de taxones que se amplía hacia los polos y que aumenta con la precipitación media anual, pero con un menor endemismo que en las regiones tropicales (Tedersoo et al., 2014). Sumado a esto, los climas afectan directamente la riqueza de plantas y hongos y los grupos funcionales, e indirectamente las condiciones edáficas (Tedersoo et al., 2014), en las que, la precipitación (por su importancia en la humedad), la temperatura (que influye en el desarrollo miceliar durante la etapa temprana de crecimiento) y la radiación (debido a su vital importancia en la fructificación) aparecen como las principales características (González, 2020). Y, por último, debe considerarse la altura sobre el nivel del mar y la exposición de laderas, ya que implican cambios en la humedad y temperatura de los ecosistemas (González, 2020).

2.6.1. Sistemas de Información Geográfica en la Conservación de la Biodiversidad

Los sistemas de información geográfica (SIG) tienen un alto potencial para apoyar los estudios de conservación biológica ya que, para la conservación de especies, comunidades y ecosistemas, es imprescindible el conocimiento de su localización y distribución en el espacio (Moreira, 1996). Gracias a la capacidad de desplegar numerosas referencias obtenidas de la interpretación de imágenes u observaciones hechas en campo asociadas a la distribución de especies, se ha posibilitado llevar a cabo proyectos de análisis multitemáticos que permiten conocer la distribución y área que ocupa una especie (Zamora-Martínez, 2013).

Una de las metodologías existentes para identificar áreas prioritarias para la conservación de ecosistemas naturales descrita por Chávez, González y Hernández (2014) es el *Análisis multicriterio*, entendido como “una herramienta útil en la toma de decisiones, ya que permite seleccionar, analizar y combinar un sinnúmero de criterios e indicadores para generar alternativas de solución jerarquizadas, de acuerdo con el objetivo planteado” (p. 20).

Gracias a su análisis cuantitativo de datos, disminuye la incertidumbre e inconsistencia de los resultados, pero a la vez presenta como debilidad importante la subjetividad en las ponderaciones a los criterios al recurrir a la opinión de expertos en la asignación de los pesos y la importancia relativa entre los mismos (Dysktra, 1984 en Chávez et al., 2014). Además, esta metodología no incluye un análisis detallado de las amenazas o restricciones, lo que es indispensable para otorgar la categoría de prioritaria a un área determinada, por lo que el uso de esta herramienta es más adecuado para la identificación de áreas potenciales y óptimas (Chávez et al., 2014).

CAPÍTULO 3: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

3.1. Área de Estudio



*Figura N°7: Área de estudio: Bosque esclerófilo.
Fuente: Elaboración propia, 2021.*

Todos los hongos presentes dentro de los límites político-administrativos de Chile han sido considerados para comprender su importancia ecosistémica y social en la conservación de la biodiversidad y en la creación de las ASP. Por otro lado, las comunidades de hongos consideradas para la elaboración de áreas potenciales de conservación corresponden a aquellas presentes en el bosque esclerófilo. El área de estudio corresponde al bosque esclerófilo identificado en la capa de información en formato shapefile del Catastro Vegetacional de CONAF (2013), la que reconoce su localización, distribución, tamaño, estructura y estado de la comunidad, utilizando exclusivamente para este estudio su

localización (Figura N°8). Esta formación vegetacional se encuentra dentro de la zona mediterránea de Chile, la que se comprende como una región mediterránea que se extiende principalmente entre los 32°45' y los 37°30' Sur, alcanzando aproximadamente 850 kilómetros de longitud (Quintanilla, Cadiñanos, Latasa y Lozano, 2012), pero que según Luebert y Pliscoff (2006) se extiende hacia el norte hasta los 23°S en la franja costera y penetra hacia el interior aproximadamente a la latitud del paralelo 25°S, y hacia el sur sufre un angostamiento extendiéndose solo en la depresión intermedia, desapareciendo definitivamente a los 39°S.

El macrobioclima de esta zona, de tipo mediterráneo austral, se caracteriza en general por estaciones marcadas con temperaturas frías durante otoño e invierno y altas temperaturas en verano, a su vez que las precipitaciones se concentran mayoritariamente durante las estaciones más frías y se incrementan hacia el sur, alcanzando los 900 mm. Anuales en condiciones ideales, pero con prolongadas condiciones de estrés hídrico durante los meses más cálidos (Quintanilla et al., 2012; Martínez et al., 2011).

Estas variaciones latitudinales, marcadas en las temperaturas y precipitaciones principalmente, pueden clasificarse en cuatro bioclimas mediterráneos: a) el bioclima mediterráneo hiperdesértico, que se distribuye en toda el área norte del macrobioclima, abarcando la zona costera desde los 23°S y penetrando hacia el interior hasta la latitud 25°S, y presenta una vegetación que se caracteriza principalmente por matorrales desérticos costeros y matorrales bajos desérticos; b) el bioclima desértico-oceánico, que se ubica al sur del bioclima anterior y limita con el bioclima mediterráneo xérico-oceánico en la latitud 31°S, se identifican principalmente matorrales desérticos, bajos desérticos y bajos de altitud; c) el bioclima mediterráneo xérico-oceánico, que abarca las faldas cordilleranas de los Andes del norte de la región de Coquimbo, por el interior y las zonas costeras desde los 31°S, hasta el interior del sur de la región de Valparaíso, hasta la latitud 33°S aproximadamente, y que presenta variados pisos vegetacionales como matorrales desérticos, espinosos, esclerófilos y de baja altitud, y bosques espinosos y esclerófilos en menor cantidad; y d) el bioclima mediterráneo pluviestacional, que presenta la mayor distribución de estos bioclimas, distribuyéndose desde la latitud 33°S hasta el límite del macrobioclima, con una vegetación compuesta de matorrales espinosos, bosques espinosos, bosques esclerófilos, bosques caducifolios de *Nothofagus macrocarpa*, *N. glauca* o *N. obliqua*, matorrales bajos de altitud, herbazales de altitud y en forma marginal estepas y pastizales y matorrales esclerófilos (Luebert y Pliscoff, 2006).

La vegetación autóctona de los bosques siempreverdes que predominan en esta región climática corresponde a bosques latifoliados esclerófilos de 1) tierras bajas y planas de espinal o sabana de *Acacia caven* y palmares de *Jubaea chilensis* con sotobosque esclerófilo; 2) tierras altas y media altitud de *Quillaja saponaria*, *Lithraea caustica* y *Cryptocarya alba*; 3) higrófilos de quebradas y suelos húmedos de *Cryptocarya alba*, *Beilschmiedia miersii*, *Drimys winteri* y variados *Nothofagus*; y 4) en el caso de bosques de coníferas siempreverdes, predominan el *Austrocedrus chilensis* con sotobosque esclerófilo y también con variadas especies de *Nothofagus* (Donoso, 1982). En base al Catastro

Vegetacional de CONAF (2013) es posible identificar que estos bosques se distribuyen desde la latitud 29,5°S en límite norte hasta los 38,5°S en el límite sur aproximadamente, lo que significa que se emplaza entre el bioclima mediterráneo oceánico y el bioclima mediterráneo estacional.

En términos generales, se puede considerar a las zonas mediterráneas como hábitats raros, caracterizados por una extraordinaria biodiversidad capaz de soportar las condiciones climáticas presentes (Martínez et al., 2011), siendo considerada como un “hotspot” o “punto crítico” de biodiversidad a nivel global, gracias a la alta proporción de endemismo en sus especies (Myers et al., 2000, en Pliscoff y Fuentes, 2008), alto valor biológico y peligro crítico de conservación (CONAMA – PNUD, 2005, en Pino, 2008).

3.2. Método

A continuación, se presenta el esquema que resume las etapas metodológicas realizadas durante la investigación:

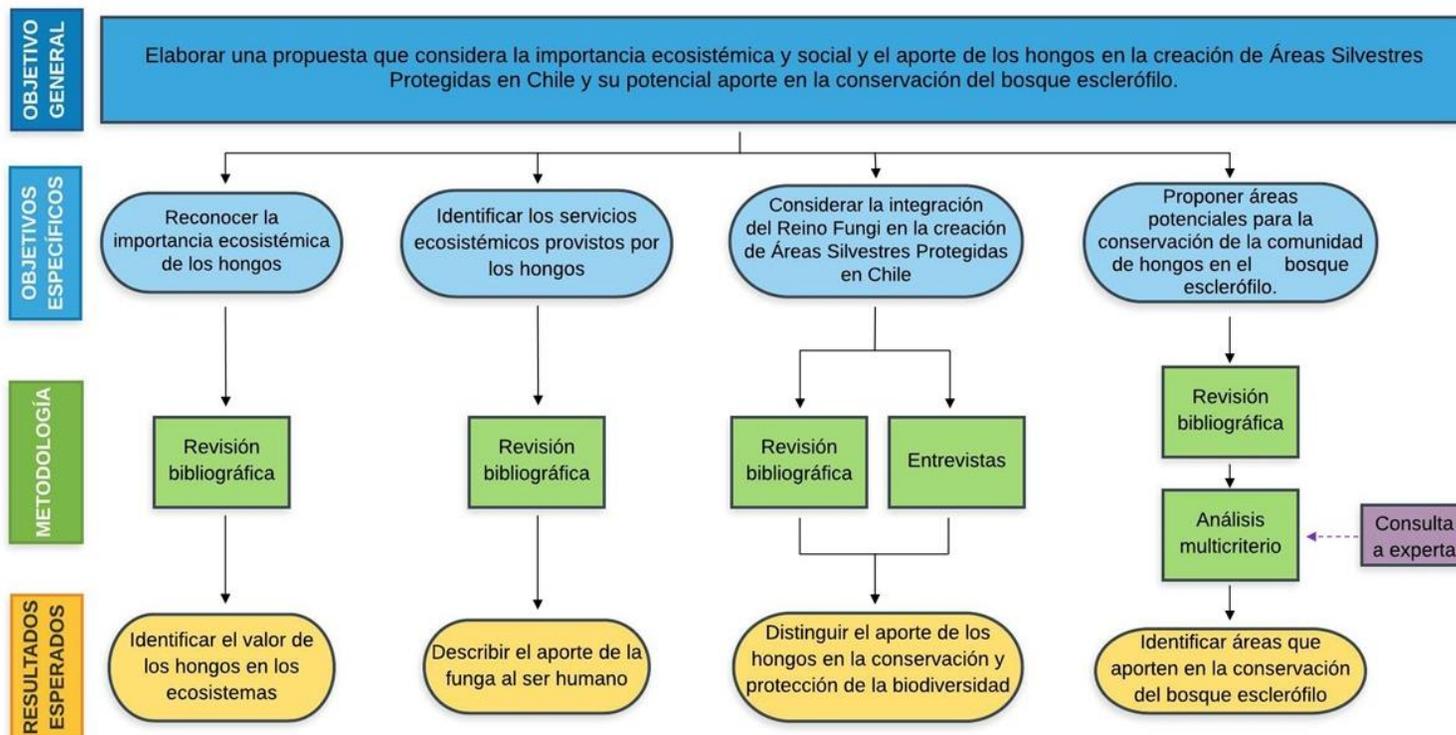


Figura N°8: Esquema metodológico.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Para lograr el objetivo general de “Elaborar una propuesta que considera la importancia ecosistémica y social y el aporte de los hongos en la creación de Áreas Silvestres

Protegidas en Chile y su potencial aporte en la conservación del bosque esclerófilo”, se propusieron cuatro objetivos específicos: 1) *Reconocer la importancia ecosistémica de los hongos*; 2) *Identificar los servicios ecosistémicos provistos por los hongos*; 3) *Considerar la integración del Reino Fungi en la creación de Áreas Silvestres Protegidas en Chile*; y 4) *Proponer áreas potenciales para la conservación de la comunidad de hongos en el bosque esclerófilo*. Como resultados para cada objetivo específico se esperó 1) *Identificar el valor de los hongos en los ecosistemas*; 2) *Describir el aporte de la funga al ser humano*; 3) *Distinguir el aporte de los hongos en la conservación y protección de la biodiversidad*; y 4) *Identificar áreas que aporten en la conservación del bosque esclerófilo*, respectivamente.

En primer lugar, la investigación se basó en una revisión bibliográfica sistemática, recopilando fuentes primarias y secundarias y de variados archivos, destacándose principalmente los de carácter académico. Para ello, la revisión se realizó a través de *Google*, *Scholar Google* y *Youtube*, buscando principalmente conceptos asociados al reino Fungi, a la ecología y biogeografía de hongos, a los servicios ecosistémicos que proveen y a las áreas protegidas en Chile, utilizando principalmente textos en español y de origen nacional y latinoamericano, realizando varias iteraciones en el proceso.

Para el objetivo de “*Reconocer la importancia ecosistémica de los hongos*”, esta revisión se centró en conocer qué relaciones sostienen los hongos con los diferentes reinos presentes en los seres vivos. Así, basándose en el conocimiento existente sobre sus grupos estratégicos, se clasificó su importancia ecosistémica según las relaciones simbióticas que sostienen con las plantas y animales a diferentes escalas, otras relaciones que sostienen con bacterias y, en situaciones adversas, el rol que tienen como descomponedores y parásitos.

En el caso del objetivo de “*Identificar los servicios ecosistémicos provistos por los hongos*”, se buscó evidenciar los SSEE que proveen los hongos para comprender la relación que sostiene la sociedad con los mismos, clasificados según las cuatro categorías descritas por Millenium Ecosystem Assessment (2005).

Para el tercer objetivo, el que corresponde a “*Considerar la integración del Reino Fungi en la creación de Áreas Protegidas en Chile*”, se consideraron las características de los hongos que pueden aportar en la conservación de la biodiversidad a través de la creación de ASP a nivel nacional, bajo los requisitos solicitados por CONAF para la creación de éstas, según el “*Manual para la Planificación del Manejo de las Áreas Protegidas del SNASPE*” (2017), los que corresponden a: i) la identificación de los candidatos a Objeto de Conservación Biológico, ya sean de filtro fino o grueso; ii) su posterior agrupación entre aquellos que comparten amenazas, procesos y co-ocurren en el mismo espacio; y iii) la selección final de estos Objetivos de Conservación Biológicos.

Y, para el objetivo de “*Proponer áreas potenciales para la conservación de la comunidad de hongos en el bosque esclerófilo*”, se realizó una revisión bibliográfica sobre autores que describen las variables que influyen en la distribución biogeográfica de los hongos.

3.2.2. Entrevistas

Para el objetivo de “*Considerar la integración del Reino Fungi en la creación de Áreas Protegidas en Chile*”, se realizaron entrevistas a las micólogas Sandra Troncoso (2021) y María José Dibán (2021) y al micólogo Sebastián Ponce (2021), con el fin reconocer la importancia que los hongos tienen en la conservación de la biodiversidad y en la creación e integración en las ASP (ver Anexo N°1).

3.2.3. Análisis Multicriterio

Se seleccionaron variables identificadas en la revisión bibliográfica (Tabla N°1) que se encontraron disponibles para su análisis como capas o niveles de información en SIG a través del software *ArcGIS*, las que correspondieron a: a) Precipitación anual, b) Precipitación estacional, c) Temperatura del mes más cálido, d) Humedad (índice TWI), e) Calidad, cantidad y desarrollo de las plantas (índice NDVI), f) pH, g) Nitrógeno, h) Carbono orgánico e i) Calidad y cantidad de mantillo en el suelo, todas estas identificadas en Tedersoo et al. (2014), Dibán (2019) y González (2020). A pesar de encontrar más variables en la literatura, éstas fueron descartadas para su uso ya que, en primer lugar, para las variables de concentraciones de calcio y sodio en el suelo se presentaron resoluciones abruptamente mayores al resto de las variables utilizadas y, en segundo lugar, las variables de porcentaje de cielo descubierto, diámetro a la altura del pecho de las especies arbóreas (DAP) y concentraciones de aluminio y fósforo necesitaban de levantamiento de información en terreno para su utilización.

A cada una de las variables seleccionadas, y basándose en lo descrito por Dibán (2019), se les otorgó un peso en porcentaje según su influencia en el desarrollo de las comunidades de hongos, las que posteriormente fueron corregidas a través de una entrevista realizada a la propia micóloga Dibán (2021).

Las variables seleccionadas fueron las siguientes:

CATEGORÍA	VARIABLE	JUSTIFICACIÓN	PESO (100%)	FUENTE
Ambiental	Precipitación anual (BIO 12)	- El gradiente de riqueza de especies se encuentra correlacionado principalmente con los aumentos en las precipitaciones anuales y estacionales, cuyos veranos son más lluviosos y menos cálidos (Tedersoo y col., 2014, en Dibán, 2019).	16%	World Clim (1970-2000)
	Precipitación estacional (BIO 15)		14%	World Clim (1970-2000)
	Temperatura del mes más cálido (BIO 5)	- En general, se observa un aumento en la riqueza total de especies y de cada grupo trófico por separado al disminuir los valores más altos de temperatura (Dibán, 2019).	8%	World Clim (1970-2000)
	Humedad (índice TWI)	- Los hongos se ven favorecidos en lugares húmedos para la germinación de las esporas y posteriormente para producir cuerpos fructíferos (Salerni y col., 2002, en Dibán, 2019).	12%	DEM (EarthExplorer, 2021)
Vegetacional	Calidad, cantidad y desarrollo de las plantas (índice NDVI)	- Mayores valores del índice NDVI se traducen en más luz incidente en el suelo y más aporte de materia orgánica, vitales para el desarrollo de hongos (Ganuza & Almendro, 2003, en Dibán, 2019).	12%	Landsat 8 (Earth Explorer, 2021)
Edáfica	pH	- A pH más ácidos aumenta la diversidad de hongos, lo que ha sido documentado a nivel global para ectomicorrizas (Erland & Taylor, 2002, en Dibán, 2019) y para la colonización de éstas en las raíces de las plantas (Soudzilovskaia y col., 2015), así como también para saprobiontes (Tedersoo y col., 2014, en Dibán, 2019).	11%	Soil Grids (2020)
	Nitrógeno	- Más N es fundamental para el crecimiento y producción de metabolitos secundarios que les permiten a los hongos colonizar y sobrevivir en zonas limitantes de nutrientes (Tudzynski, 2014 en Dibán, 2019).	11%	Soil Grids (2020)
	Carbono orgánico	- Los aumentos de carbono orgánico total son un factor que influye positivamente sobre la riqueza de especies de hongos total, micorrizas y saprobiontes (Erland & Taylor, 2002; Ganuza & Almendro, 2003; Tedersoo y col., 2014, en Dibán, 2019).	9%	Soil Grids (2020)
	Calidad y cantidad de mantillo en el suelo (CIC)	- El nivel de CIC indica la habilidad de suelos a retener cationes, disponibilidad y cantidad de nutrientes a la planta, su pH potencial entre otras. Un suelo con bajo CIC indica baja habilidad de retener nutrientes, arenoso o pobre en materia orgánica (FAO, 2021). Un suelo con alto CIC indica mejores condiciones para el desarrollo de la comunidad de hongos.	7%	Soil Grids (2020)

Tabla N°1: Variables seleccionadas para el análisis multicriterio.

Fuente: Elaboración propia, 2021, en base a Dibán, 2019.

Estas capas tuvieron una resolución de 250 m² por píxel, siendo corregidas durante la conversión del formato shapefile a raster mediante el geoproceso de *Polygon to raster*, o bien mediante el geoproceso de *Resample*, ambos en *ArcGis*.

Posterior a la selección de variables, los valores propios de cada una de las variables se reclasificaron mediante la herramienta *Reclassify*, en 10 categorías agrupadas por deciles, las cuales fueron puntuadas según su valor e influencia para el desarrollo de hongos en valores del 1 al 10, siendo 10 lo más favorable. Los valores otorgados se realizaron en base a la literatura que describe cómo influye cada variable en la comunidad de hongos.

Con estos nuevos valores y con el peso establecido para cada variable se realizó una superposición ponderada en *ArcGIS*, mediante la herramienta *Weighted Overlay*. Esta superposición ponderada consistió en ingresar todas las variables mencionadas anteriormente como capas de entrada, con sus pesos en porcentaje correspondientes y sus valores reclasificados de 1 a 10, para ser combinadas en un único análisis y así obtener las áreas potenciales para la conservación de la comunidad de hongos en el bosque esclerófilo.

Tras esta superposición se obtuvo como resultado áreas con valores de 2 a 8, siendo 8 lo más favorable, pero que, para una mejor comprensión de los resultados, fueron reclasificadas como “No recomendable”, “Muy baja”, “Baja”, “Media”, “Alta”, “Muy alta” y “Óptima”, siendo 2 como “No recomendable” y 8 como “Óptima”. Estos fueron presentados a través de una cartografía dividida en cuatro *Map frames*, para lograr abarcar el territorio en su totalidad y de manera detallada los resultados obtenidos. Además, se utilizó el software *Excel* para un análisis cuantitativo de los resultados.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS

4.1. Importancia Ecosistémica de los Hongos

En términos generales, las principales funciones que cumplen los hongos dentro de los ecosistemas corresponden a la descomposición de materia orgánica, el ciclado de nutrientes y la mantención de la humedad en el ecosistema (Dibán, 2020):

“Los hongos del suelo, como las micorrizas y los hongos descomponedores de hojas y materia orgánica, son de vital importancia para el transporte, reciclaje, y aprovechamiento de nutrientes esenciales (carbono, nitrógeno, fósforo, potasio, sodio, magnesio, entre otros) para las plantas, animales, y otros organismos.” (Marín, 2018, p. 46).

Otra función fundamental que tienen los hongos, pero que históricamente ha sido subestimada, corresponde a la sujeción del terreno (Alcántara, 2010). Al tener estructuras filamentosas como cuerpo asexual, logran entrelazar las partículas del suelo, ayudando a que sea resistente a la erosión (Piepenbring et al., 2016; Cornejo, 2006). En 1996, Wright y Upadhyaya describieron la existencia de una proteína producida por hongos micorrícicos, conocida como glomalina, que tiene un papel importante en la agregación del suelo, representando además una importante fuente de carbono y nitrógeno (Miller y Jastrow 2000, en Cornejo, 2006). Sin los hongos (ni bacterias), muchos suelos serían menos fértiles y más degradados y difícilmente podrían ser colonizados por las plantas (Piepenbring et al., 2016).

Los hongos además pueden ser bioindicadores de la salud del bosque, si este es joven o maduro, y si es posible su restauración (Alcántara, 2010; Angelini, 2020). En una evaluación ecológica del bosque es necesario considerar el ecosistema presente, ya que cada zona del planeta tiene una biodiversidad de hongos diferente; por ende, no es posible comparar áreas en diferentes localizaciones, pero de todas maneras es posible considerar ciertas situaciones, como por ejemplo a mayor diversidad de especies de hongos, más sano el bosque. El primer signo de desequilibrio en un bosque es la disminución de hongos simbiotes, aunque los que están presentes en un bosque joven son distintos a los presentes en un bosque maduro (Angelini, 2020). Los *Hygrocybes*, que corresponden a un género caracterizado principalmente por desarrollar cuerpos fructíferos fuertemente coloreados y viscosos (Aturnatura, 2021), son los centinelas en un prado sano (Angelini, 2020). Otro ejemplo son los hongos lignícolas (aquellos que se alimentan de madera), los cuales son centinelas de los bosques en un buen estado ecológico, además de presentarse especies especializadas, vale decir que se alimentan de un solo tipo de madera. Si el bosque se encuentra alterado, solo se presentarán especies genéricas, habrá un aumento de especies parasitarias y una presencia casi exclusiva de agentes de pudrición blanca y no marrón (Angelini, 2020).

Otro aspecto igual de relevante en la relación con los ecosistemas son las esporas, que cuando se encuentran en el aire absorben los rayos solares, y además participan en la formación de gotas y cristales de agua (Elbert et al., 2007, en Piepenbring et al., 2016).

Antes de continuar con las próximas relaciones es imperativo recordar los tres grupos de estrategias que emplean los hongos para obtener sus alimentos (Figura N°9): En primer lugar, se presenta la simbiosis mutualista, que corresponde a aquel beneficio mutuo entre dos organismos. Por lo general, los hongos suelen asociarse con plantas para la obtención de sus alimentos, y a la vez ayudan a proteger y aportar nutrientes, además de permitirle habitar en condiciones más hostiles (se verá más en detalle en el capítulo *Relación Simbionte Hongo-planta*), pero también desarrollan relaciones simbióticas con animales principalmente, y con bacterias en menor medida. En segundo lugar, están los hongos descomponedores, saprófitos o saprobiontes, que corresponden a aquellos hongos descomponedores de materia orgánica y recicladores de nutrientes. Y, por último, aparecen los hongos parásitos, los cuales obtienen su alimento a través de su huésped (Dibán, 2020).

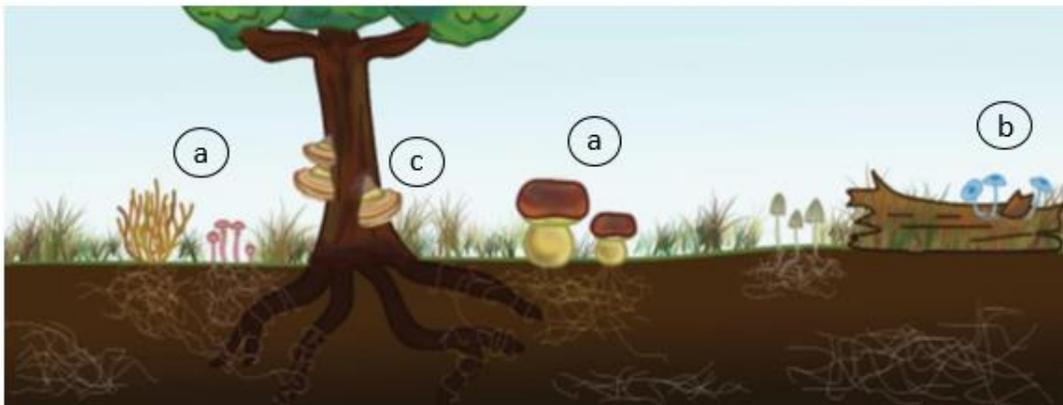


Figura N°9: Estrategias de los hongos para conseguir sus alimentos.

Fuente: Viviana Salazar, 2016.

Nota. A) Hongos simbióticos
 b) Hongos saprófitos
 c) Hongos parásitos

4.1.1. Relación Simbionte Hongo-planta

“La micorriza es una importante interacción que se observa en la naturaleza. Es probable que la mayoría de las plantas vasculares hayan coevolucionado asociadas con hongos, al menos durante los últimos 100 millones de años. Por tanto, lo que hoy observamos y clasificamos es resultado de esta cercana interacción y la subsiguiente modificación y especialización de determinadas estructuras (hifas y raíces principalmente) en ambos grupos de organismos a través del tiempo” (Andrade-Torres, 2010, p. 90).

La micorriza, como se definió en el *Estado del asunto*, es la asociación simbiótica entre hongos del suelo y raíces de plantas vasculares en la que, a modo general, la planta trasporta energía en forma de azúcares y lípidos, mientras que los hongos a través de sus hifas transfieren agua y nutrientes como fósforo y nitrógeno a la planta, además de propiciar una mayor resistencia a sequías, toxicidad, patógenos, salinidad, entre muchos otros beneficios (Marín, 2018) (ver Figura N°10).

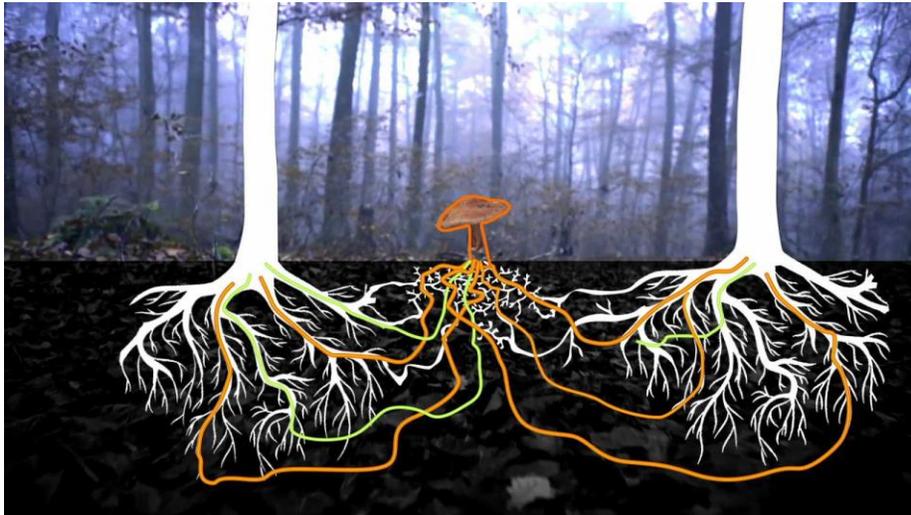


Figura N°10: Representación de una micorriza.

Fuente: rtve.es, 2021.

Dentro de los cuatro grandes tipos de micorrizas, las arbusculares, vale decir aquellas en las que la hifa ingresa en la raíz para que ocurra el intercambio de nutrientes, son las de mayor alcance dentro de la naturaleza, estableciéndose en aproximadamente entre el 80% y el 85% de las plantas y encontrándose en prácticamente la totalidad de los ecosistemas terrestres (Smith & Read, 1997, en Cornejo, 2006). Su origen se remonta al período de la colonización de plantas acuáticas sobre la tierra, hace 400 millones de años, y es desde entonces que tanto los hongos micorrícicos arbusculares como las plantas han evolucionado en una estrecha relación, lo que probablemente sea la causa de la dependencia del hongo a encontrar y colonizar una raíz hospedadora para poder continuar y completar su ciclo de vida, que culmina con la formación de nuevos propágulos viables (Azcón-Aguilar et al. 1991; 1998, en Cornejo, 2006).

Las funciones de las micorrizas tienen cuatro diferentes alcances, dependiendo de la escala a considerar: a) *Individual*, que corresponde a los beneficios nutricionales, mejora en la tolerancia a estrés biótico y abiótico, y el hecho de que la planta es el hábitat del hongo micorrícico; b) *Comunitario*, correspondiente a la sobrevivencia de la planta, regulación de la diversidad de plantas y hongos, y reclutamiento de nuevos individuos; c) *Ecosistémico*, vale decir los ciclos de carbono, nitrógeno y fósforo, y su regulación en la distribución y productividad; y d) *Biogeográfico*, que considera la distribución de las especies de plantas en gradientes macro ecológicos (Silva-Flores, 2020).

4.1.1.1. Individual.

“La importancia de las micorrizas arbusculares en la nutrición mineral de las plantas es, sin duda, uno de los aspectos más estudiados de la simbiosis por su repercusión en el desarrollo vegetal” (Cornejo, 2006, p. 35).

Esta mejora nutricional se podría deber a varias causas, como son: i) el aumento del volumen de suelo explorado gracias al actuar de las hifas del hongo como un sistema radical complementario altamente efectivo; ii) una mayor competitividad de las hifas del hongo con respecto a otros microorganismos del suelo que la presentada por las propias raíces de la planta (Linderman, 1992, en Cornejo, 2006); iii) una mayor especificidad de los transportadores del hongo respecto de los de la planta vascular (Cress et al. 1979, en Cornejo, 2006); y iv) la posibilidad de absorber fuentes de nutrientes minerales no disponibles a la propia planta (Swaminathan 1979; Clark y Zeto 2000, en Cornejo, 2006).

Entre los nutrientes cuya absorción favorece la formación de micorrizas, el fósforo (P) es uno de los más importantes, debido a que las diferentes formas en que está presente en el suelo no siempre puede ser absorbido por la planta. Esto determina su grado de disponibilidad para la raíz y que, a pesar de las bajas concentraciones en que normalmente se halla en los suelos, las plantas requieren grandes cantidades de este macronutriente (Faggioli y Symanczik, 2018), el cual entre un 95% y un 99% se encuentra de forma no disponible para estas (Bielecki, 1973, en Cornejo, 2006). En general, la micorriza permite una mayor absorción de P para las plantas, llegando en algunas especies a ser responsables del 100% de su absorción (Smith et al. 2004, en Cornejo, 2006).

Si bien el aporte de las micorrizas en la nutrición fosforada es la más estudiada, cada vez hay más investigaciones referidas a la obtención de otros nutrientes. Se han observado efectos en la nutrición de cinc, cobre, hierro, potasio, calcio y magnesio (Smith y Read, 2008, en Faggioli y Symanczik, 2018). Además, las micorrizas permiten incrementar la absorción de nitrógeno, a partir de fuentes orgánicas (Faggioli y Symanczik, 2018).

Por otra parte, la relación entre la cantidad de esporas y la concentración de nutrientes demuestra que, entre más pobre se encuentra el suelo en nutrientes, principalmente en fósforo, menor número de esporas, y viceversa (Quiñonez y Garza, 2018).

Queda bastante claro el efecto positivo de las micorrizas en el crecimiento de la planta, pero a esto hay que sumarle la mejora en su calidad, pensando principalmente en aquellas producciones agrícolas, tales como lechugas, tomates, pimienta y frutillas, apareciendo como mecanismos responsables de la acumulación de metabolitos secundarios, vitaminas, minerales, compuestos antioxidantes y ácido ascórbico (Faggioli y Symanczik, 2018).

Los hongos micorrícicos también recubren las raíces aumentando la absorción de agua, contribuyendo así de manera decisiva a la vitalidad y desarrollo de los bosques: *“En un*

contexto de cambio climático, sin la ayuda de los hongos, los árboles tendrían aún más dificultades para sobrevivir en unas condiciones cada vez más áridas” (de Miguel, 2019). Ante situaciones de sequía, las plantas micorrizadas tienen menores pérdidas de biomasa que plantas sin micorrizas, lo cual les permite una mejor recuperación cuando se reestablece la condición hídrica. Aunque cabe mencionar que el exceso de agua es un factor adverso para los hongos micorrícicos, ya que estos microorganismos son sensibles a una baja disponibilidad de oxígeno, teniendo como consecuencia la ausencia de esporas en suelos que son inundados periódicamente (Solaiman e Hirata, 1996, en Faggioli y Symanczik, 2018).

En el caso de las plantas presentes en ecosistemas áridos y semiáridos, éstas soportan condiciones climáticas ambientales muy estresantes con largos períodos de sequía, temperaturas extremas, suelos de baja fertilidad y altos grados de erosión. Se cree que esta resistencia puede estar directamente relacionada con la presencia de hongos micorrícicos arbusculares (Monroy-Ata et al., 2007, Montaña et al., 2007 y Martínez-García, 2011, en Quiñonez y Garza, 2018).

En los ambientes salinos, aunque disminuye la participación de hongos micorrícicos y plantas a medida que aumentan las concentraciones de sal en el suelo o en el medio de crecimiento, la participación de estos hongos colabora en la tolerancia a la salinidad, la cual involucra la regulación homeostática de los iones, la mejora de captación de agua y la inducción de genes específicos en las raíces colonizadas. Además, pueden estimular la presencia de osmolitos (compuestos que afectan la osmosis) como la prolina, azúcares y polioles que contribuyen en la protección de las células vegetales, e inclusive inducen la síntesis de enzimas antioxidantes y glutatión que participan en la disminución de especies reactivas de oxígeno, que en épocas de estrés ambiental sus niveles reactivos pueden aumentar de gran manera y afectar a las estructuras celulares (estrés oxidativo) (Aguilar et al., 2009).

Otro aspecto muy importante en la simbiosis de hongos con plantas es la ayuda de los hongos micorrícicos en la protección frente a hongos patógenos, enfermedades y parásitos. Si bien, numerosos estudios sugieren que las ectomicorrizas (cuando el micelio no penetra la raíz y el intercambio de nutrientes ocurre fuera de ésta) protegen a los árboles frente a hongos patógenos mejor que otros tipos de micorrizas, a modo general la micorriza de por sí puede actuar en la supresión de patógenos fúngicos del suelo e incrementar además la tolerancia al daño ocasionado por nematodos (de Miguel, 2019). Estos nematodos son organismos de vida libre que habitan principalmente en el suelo, aunque algunos residen en la superficie, actuando como parásitos de cultivos e impactando en la parte aérea de la planta. Las micorrizas contribuyen directa e indirectamente en la atenuación de daños ocasionados por nematodos, más que una total inhibición de las enfermedades (Faggioli y Symanczik, 2018):

“La competencia directa por nutrientes y espacio, la inducción de resistencia sistémica y la alteración de las interacciones rizosféricas son los principales

mecanismos directos en que las micorrizas protegen a la planta de los nematodos. Mientras que, de manera indirecta, el mejor crecimiento de la planta por incremento de acceso a nutrientes incrementa la tolerancia de la planta al ataque de nematodos. Sumado a ello, la formación de micorrizas también puede generar alteraciones en la morfología de las raíces que favorecen la tolerancia de la planta.” (Faggioli y Symanczik, 2018, p. 93).

Por último, en el caso de ciertas especies de hongos endófitos, vale decir que habitan dentro de la planta, también protegen a las plantas contra ciertas enfermedades, y se sabe además de otras especies que producen compuestos tóxicos que ayudan a la planta contra animales herbívoros (Piepenbring et al., 2016).

4.1.1.2. Comunitario.

“Los hongos simbiotes nos dicen si los bosques están sanos, ya que ayudan a la subsistencia de las plantas.” (Angelini, 2020).

La importancia de la simbiosis hongo-planta a nivel comunitario recae en la relación que sostienen con otros seres vivos y con el entorno en el cual se desarrollan. *“El propio micelio es una fuente importante de potencial infectivo para continuar la colonización del mismo sistema radical o de algún otro próximo”* (Barea, 1991, en Cornejo, 2006, p. 34). Aquí aparece el micelio extra-radical como un elemento clave, ya que, dada su ubicación en el suelo, es el que establece una serie de interacciones con los micros y macroorganismos allí presentes, y con el ambiente físico que lo constituye (Jeffries y Barea, 2001, en Cornejo, 2006), teniendo importancia tanto desde el punto de vista físico, como biológico, y en el desarrollo y mantenimiento de las interfaces suelo-planta (Cornejo, 2006).

Es este micelio extra-radical el que está involucrado en la búsqueda de nuevas plantas y en la exploración del suelo para la adquisición de nutrientes minerales (mencionados en el capítulo anterior) que utilizarán tanto el hongo como la planta. Gracias a sus extensiones de hasta 8 centímetros desde la raíz, son capaces de conectar diferentes plantas hospedantes y establecer simbiosis micorrízica con diversas especies al mismo tiempo (Giovannetti et al, 2004, en Faggioli y Symanczik, 2018).

“Estos árboles madre reconocen su parentesco a través de las redes micorrizales. El árbol madre y las plántulas bebé envían señales, hablan el uno con el otro. Cuando se conectan entre sí e intercambian carbono entre las plantas, los árboles sostienen a los más débiles. Si ella sabe que hay plagas cerca y que está bajo peligro, va a aumentar la competitividad del ambiente hacia sus propios bebés, para que se regeneren más lejos.” (Simard, 2019, en Schwartzberg, 2019).

Otro aspecto importante de las hifas extra-radicales es que, gracias a la sinérgica interacción que sostienen con microorganismos solubilizadores, son capaces de absorber

los iones fosfato del suelo que se mencionaban anteriormente, dejando de ser un nutriente limitante para las plantas (Faggioli y Symanczik, 2018).

A diferencia del micelio intra-radical, las hifas extra-radicales tiene la capacidad de formar esporas con estructuras únicas para cada especie de hongos formadores de micorrizas arbusculares, las que poseen una alta cantidad de lípidos, lo cual les permite mantenerse viables en el suelo por un período más o menos prolongado (Faggioli y Symanczik, 2018).

Debido a la correlación que existe entre la diversidad genética y funcional de los seres vivos presentes en el suelo, mientras más variada sea la comunidad, mayor será el abanico de beneficios que obtendrán (Faggioli y Symanczik, 2018). Una de las interacciones más importantes de las micorrizas se produce en la simbiosis tripartita de hongos formadores de micorrizas arbusculares, junto con bacterias del género *Rhizobium* (fijadoras del nitrógeno atmosférico) y leguminosas, ya que *“los requerimientos de N y P de la planta pueden quedar cubiertos en gran medida por la actividad interactiva de los simbiosistas”* (Barea et al. 1992, en Cornejo, 2006, p. 40-41).

4.1.1.3. Ecosistémico.

“El establecimiento de la micorriza no sólo resulta ventajoso para la planta y el hongo, sino que también favorece al ecosistema en su conjunto, ya que mejora la calidad del suelo, la diversidad y productividad de la cubierta vegetal y el establecimiento de otros microorganismos beneficiosos, como son Rhizobium y rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal.” (Cornejo, 2006, p. 4).

Junto con lo mencionado por Pablo Cornejo (2006), los hongos a la par con las plantas, a nivel ecosistémico, brindan protección contra inundaciones, contra el viento, la desertificación, contribuyen al almacenamiento de CO₂, la regeneración del suelo y el control de plagas (Piepenbring et al., 2016).

Los hongos micorrícicos son unos de los principales responsables del almacenamiento del carbono en el suelo de los bosques (de Miguel, 2019). Su presencia promueve una mayor movilización de carbono hacia las raíces y a la rizósfera (zona de interacción entre las raíces de la planta y los microorganismos del suelo). La planta puede transferir hasta un 20% de todo el carbono fijado en la micorriza (Jakobsen y Rosendahl, 1990, en Faggioli y Symanczik, 2018), pudiendo producir una cantidad significativa de biomasa. En condiciones experimentales, encontraron que los hongos formadores de micorrizas arbusculares produjeron hasta un 50% del total de biomasa microbiana de un suelo arenoso (Olsson et al., 1999, en Faggioli y Symanczik, 2018).

Y, por otra parte, *“las micorrizas al aumentar la eficiencia de absorción de nutrientes reducen el riesgo de pérdidas por lixiviación o desnitrificación”* (Faggioli y Symanczik, 2018, p. 94). En efecto, se ha medido que las micorrizas pueden reducir por lixiviación de nitrógeno hasta 70 kilogramos por hectárea al año y hasta 150 gramos de fósforo por

hectárea al año, además de reducir pérdidas tanto de nutrientes orgánicos como inorgánicos (van der Heijden, 2010, en Faggioli y Symanczik, 2018). Al 2015, se demostró que los hongos formadores de micorrizas arbusculares tienen inclusive la capacidad de reducir las emisiones de óxidos nitrosos del suelo, un potente gas de efecto invernadero (Bender et al., 2015, en Faggioli y Symanczik, 2018).

4.1.1.4. Biogeográfico.

Y, por último, a una escala biogeográfica, las diferentes comunidades vegetales, su diversidad y productividad se ven determinadas en gran medida por la diversidad de hongos micorrícicos arbusculares (van der Heijden et al., 1998^a, en Cornejo, 2006). En sentido inverso, existen diversos estudios que indican la influencia de la diversidad y estructura florística sobre la composición y diversidad de las comunidades de estos hongos (Cornejo, 2006). Esta diversidad en las comunidades vegetales ha sido posible gracias a la presencia de estas micorrizas que han permitido la colonización en la gran mayoría de ambientes terrestres, incluso en zonas áridas o de temperaturas extremas (Truong et al., 2017, en Marín et al., 2018), pero también es gracias a los líquenes, correspondientes de igual manera a simbiosis mutualistas entre hongos y plantas, que se verán en detalle en el siguiente capítulo.

4.1.2. Líquenes

Los líquenes están formados por una exitosa colaboración entre hongos y algas o cianobacterias, lo que les permite colonizar ambientes muy exigentes gracias a la energía solar que captan los fotobiontes (algas o cianobacterias) para sintetizar azúcares (ver Figura N°11). Estos hongos liquenizados no pueden vivir sin sus fotobiontes, mientras que las algas y cianobacterias en ciertas condiciones favorables sí pueden sobrevivir, aunque el hongo es quien forma con sus hifas la estructura del líquen, llamada talo, con lo que protege las algas y cianobacterias contra rayos solares fuertes, desecación y depredación por otros animales (Alcántara, 2010; Piepenbring et al., 2016).



*Figura N°11: Ejemplo de liquen Telochistes flavicans.
Fuente: Iris Pereira, S.F.*

Los líquenes representan la quinta parte de los hongos conocidos (Alcántara, 2010) y, dentro de sus características aparece la contribución a su hábitat con sustancias nutritivas, como resultado de la fotosíntesis de sus fotobiontes. Además, las cianobacterias son capaces de captar y fijar el nitrógeno del aire e integrarlo en compuestos orgánicos. *“Una baja concentración de compuestos con nitrógeno a menudo es el factor limitante para el crecimiento de plantas en suelos pobres, por lo que las actividades metabólicas de cianolíquenes son muy importantes para estos ecosistemas”* (Piepenbring et al., 2016, p. 65).

Otro aspecto de igual importancia es que los talos de los líquenes captan el agua de neblina con una gran superficie, absorbiendo agua como esponjas y reteniendo la humedad en su hábitat (Piepenbring et al., 2016). Y, en último lugar, cabe destacar que estos organismos son bioindicadores de la salud ambiental y han sido utilizados como índices para ver los efectos del cambio climático y los niveles de contaminación (Ledezma, 2020).

4.1.3. Relación Hongo-animal

“Sin la presencia de hongos, muchos animales tendrían menos comida y la materia orgánica de plantas (sobre todo la madera) no sería comestible para muchos animales” (Piepenbring et al., 2016, p. 61).

La relación entre hongos y animales es amplia, desde el acceso a comida hasta la formación de nidos, pero a diferencia de la relación simbiótica con las plantas, con los animales no siempre son ambos los que obtienen beneficios; por lo mismo es que se considerarán otras estrategias que incorporan a ambos, como por ejemplo los hongos descomponedores (que de todas maneras se verán en detalle en el capítulo de *Hongos saprófitos o saprobiontes*). El primer aspecto importante por considerar en esta relación es la alimentación. Las células de los hongos ya sean esporas, hifas o cuerpos fructíferos, sirven como fuente de nutrición para diversos animales, desde nematodos, ácaros, colémbolos, insectos, babosas y caracoles, hasta aves y mamíferos como ardillas, venados y chanchos, sin dejar de considerar obviamente al ser humano. Varios grupos de insectos depositan sus huevos en los cuerpos fructíferos de los hongos, donde nacen las larvas y se alimentan del tejido del hongo, y aquellos animales que cambian su sitio de alimentación, como efecto de la zoocoria, dispersan las esporas y contribuyen a la diseminación del hongo (Piepenbring et al., 2016).

Gracias a la capacidad que tienen los hongos saprobiontes de degradar la madera y otros órganos de las plantas, logran que este material se vuelva digerible para otros organismos. Muchos insectos y animales invertebrados se alimentan de este material orgánico muerto pre digerido por hongos, y que sin los cuales no podrían sobrevivir, ya que este material no contiene suficientes compuestos con nitrógeno. Existen insectos inclusive que cultivan estos hongos sobre hojas cortadas o madera, como es el caso de hormigas cortadoras de hojas y termitas respectivamente, y luego comen además las células fúngicas. Ésta es una técnica que llevan adoptando tanto animales como hongos, como estrategias para convivir. Las hormigas *Macrotermes*, por ejemplo, durante 20 millones de años han cultivado un hongo dentro de sus nidos, los que tienen la capacidad de transformar la madera en alimento, haciendo crecer hasta 9 metros de altura a los nidos (Barbieri, 2020).

Por otra parte, *“existen hongos microscópicos que viven dentro del tubo digestivo de animales donde, juntamente con bacterias y protozoarios, descomponen compuestos orgánicos difíciles de degradar.”* (Piepenbring et al., 2016, p. 61).

Otro aspecto por considerar es la formación y contribución en la creación de nidos. Los mismos hongos capaces de degradar madera muerta de árboles vivos o muertos crean nichos o escondrijos para murciélagos, insectos, arañas e inclusive aves (Piepenbring et al., 2016). Más de mil especies de aves en el mundo requieren huecos en árboles para anidar, y los principales responsables de estos huecos son estos saprófitos:

“Estos hongos, principalmente los políporos, degradan con enzimas los principales componentes de la madera (celulosa, hemicelulosa y lignina) y algunos están adaptados a vivir en el interior de los árboles en pie. Con su actividad estos hongos modifican progresivamente las propiedades químicas y físicas de la madera, ablandando el duramen en el centro del árbol. Luego este duramen ablandado es expuesto y removido por aves como los carpinteros, o más lentamente, por daños físicos como rotura de ramas, el viento y el agua.” (Cockle, Bodrati y Robledo, 2013,

p. 36).

Algunas aves usan unas pocas hifas en la cámara del nido, como el caso del piojito picudo (*Inezia inorata*) y otras las usan para armar toda la cámara, como lo hace en ocasiones el boyero cacique (*Cacicus haemorrhous*), o el nido entero como el pichocato grande (*Tolmomyias sulphureus*) y el boyero ala amarilla (*Cacicus chrysopterus*). Además, se han propuesto varias hipótesis para explicar por qué tantas aves utilizan en sus nidos los rizomorfos (cordones miceliales de hifas orientadas en paralelo) del género *Marasmius*, en las que destacan sus propiedades antibacterianas, que protegerían a los pichones, y su resistencia natural para repelar el agua y soportar el peso, como contraparte de las fibras vegetales que soportan menos peso y absorben más agua (Cockle et al., 2013).

El último aspecto importante por considerar en este capítulo es el del género de hongos *Ophiocordyceps*, el cual ha desarrollado una forma única de reproducirse:

“Escoge a un insecto, a menudo una hormiga, pero también saltamontes y arañas, su micelio entra en él y controla a la víctima obligándole a hacer lo que quiere. El insecto permanece consciente pero ya no puede manejar sus movimientos, transformándose en un verdadero zombi. El hongo generalmente le obliga a trepar a los árboles al mediodía para dispersar mejor sus esporas.” (Barbieri, 2020).

4.1.4. Hongos Saprófitos o Saprobianes

Hongos descomponedores, saprófitos, saprótrofos o saprobiontes son lo mismo, y su gran función es descomponer la materia orgánica en sus diferentes formas (madera, animales muertos, hojarasca, etc.), siendo uno de los roles más importantes de este reino a nivel ecosistémico, dado que mediante este proceso se da un reciclaje de nutrientes, y en algunos casos provenientes de sustratos de difícil degradación como la madera (Marín, 2018).

“Por degradar el material orgánico muerto, los hongos saprótrofos presentes en el suelo contribuyen a los ciclos de sustancias nutritivas, liberando azúcares, compuestos con nitrógeno o fósforo y otras sustancias nutritivas que luego pueden ser absorbidas por las raíces de las plantas.” (van der Heijden et al., 2008, en Piepenbring et al., 2016, p. 62) (ver Figura N°12).



Figura N°12: Micelio y cuerpo fructífero de un hongo saprófito de tipo Mycenoides creciendo sobre hojarasca.

Fuente: Hongusto, 2021.

Los hongos como organismos macroscópicos y microscópicos anualmente degradan millones de toneladas de residuos a minerales y carbono, elementos esenciales para la vida de otros seres, beneficios que se contrastan con los daños que causan otros organismos, puesto que además de saprófitos, pueden actuar como parásitos de plantas y animales superiores (Marín et al., 2014).

Hay hongos especialistas que crecen en las hojas muertas de una sola especie, hongos que colonizan la madera para descomponerla, otros que actúan cuando la madera ya está bien degradada, y otros como los del género *Humicola*, de mucha valía ecológica, que transforman la materia orgánica en humus asimilable para las plantas (Dibán, 2020; Alcántara, 2010).

En el bosque, los hongos saprófitos son los limpiadores: *“En un bosque tropical se producen de 7 a 12 toneladas de desechos de hojas y ramas por hectárea al año”* (Angelini, 2020). Los hongos degradan la celulosa y la lignina, que solamente algunas bacterias también descomponen. Sin la presencia de ellos, esta materia vegetal muerta se acumularía en la superficie del suelo de los bosques, al igual que los excrementos y organismos muertos, asfixiando al bosque mismo e impidiendo que exista un intercambio de gases necesario para un suelo biológicamente activo y para el crecimiento de plántulas. En el dosel de los árboles por su parte, habría más ramas muertas, inhibiendo el paso de la luz del sol, por tanto, menos sustancias nutritivas disponibles y menor crecimiento de plantas epífitas. A largo plazo, los árboles se morirían por falta de nutrientes y oxígeno a nivel de sus raíces, por lo que posiblemente iniciaría un proceso de desertificación con la capa orgánica siendo erosionada por viento y agua. Gracias a estos hongos funcionan los ciclos del carbono, del nitrógeno y de otros nutrientes (Piepenbring et al., 2016).

En el agua, los hongos acuáticos, terrestre-acuáticos y aero-acuáticos descomponen el material muerto presente en el mismo, limpiando así el agua y contribuyendo a una buena aireación y ciclos de sustancias nutritivas. Si no estuvieran presentes, el material orgánico se acumularía y generaría una putrefacción anaeróbica que afectaría los organismos vivos en el agua y se rompería el balance energético de los cuerpos de agua. Además, junto con otros microorganismos contribuyen a la impermeabilidad del lecho de agua con los desechos de la degradación del material vegetal, evitando que el agua se filtre rápidamente en el sustrato y que los cuerpos de agua se sequen (Piepenbring et al., 2016).

“Esta habilidad de descomponer cosas es un talento, si lo deseas, que puede ser aprovechado para ayudarnos a lidiar con problemas como la contaminación. Estos desintegradores pueden descomponer todo aquello que es natural. A eso evolucionaron. Todo lo que sea a base de hidrocarburos, lo cual incluye cosas como derrames de petróleo, problemas contaminantes.” (Bone, 2019, en Schwartzberg, 2019).

En el documental *Fantastic Fungi*, el micólogo Paul Stamets (2019) comenta sobre un experimento al que asistió:

“Había cuatro pilas llenas de diésel y otros residuos de petróleo. Una era una pila de control, una pila fue tratada con enzimas, una pila tratada con bacterias y a nuestra pila la inoculamos con hongos. Los hongos absorben el aceite, así que los hongos producen enzimas para las oxidasas que rompen enlaces de hidrógeno y carbono. Estos son los mismos enlaces que mantienen juntos a los hidrocarburos. Entonces, los hongos se saturan de aceite. Y cuando volvemos, seis semanas después, todas las lonas fueron quitadas. Todas las pilas estaban muertas, oscuras y olorosas. Volvimos a nuestra pila, estaba cubierta de cientos de kilos de hongos ostra. Algunas de estas setas son muy felices. Muy grandes, mostrando cuanta nutrición podían obtener. Pero sucedió algo más, lo cual fue una epifanía en mi vida. Esporularon. Las esporas atraen a los insectos. Luego llegaron los pájaros, trayendo

semillas, y nuestra pila se convirtió en un oasis de vida.” (Schwartzberg, 2019).

Los hongos descomponedores tienen un rol muy importante en el inicio y en el fin de la vida en los ecosistemas, que inclusive puede ser aprovechado para el ser humano en catástrofes ambientales, punto que se verá en detalle en el segundo objetivo en el capítulo de *Servicios de provisión*.

4.1.5. Hongos Parásitos

En último lugar, pero no menos importante, aparecen los hongos parásitos, los que tienen como rol principal en los ecosistemas el control de la población de especies. Éstos afectan sobre todo a los individuos débiles, y de esta manera realizan una selección natural. Cuando la población de un organismo crece desmesuradamente, las esporas logran infectar fácilmente a estos hospederos. Así, la incidencia de infectados aumenta y disminuye el número de individuos de la especie: *“De esta manera, los hongos parásitos contribuyen al equilibrio ecológico de las poblaciones dentro de un ecosistema. Los parásitos co-ayudan para que en un ecosistema conviva una gran diversidad de especies de plantas y animales”* (Piepenbring et al., 2016, p. 66).

4.2. Servicios Ecosistémicos Provistos por los Hongos

Del reino de los hongos, las especies simbiotes y saprobias están particularmente ligadas a los SSEE o ambientales, pero hay que tener en claro que, al estar asociados a especies de otros reinos, en ocasiones sus relaciones son indirectas con estos servicios (Heredia, 2020).

4.2.1. Servicios de Soporte

Los servicios de soporte de los hongos son aquellos servicios básicos y vitales que cumplen en los ecosistemas y que corresponden a: 1) Colonización de ecosistemas terrestres por parte de los líquenes; 2) Reciclaje de nutrientes, tanto de hongos saprófitos como simbiotes de plantas y animales; 3) Mantenimiento de la humedad en los ecosistemas y retención del agua, ya sean los hongos simbiotes con plantas como los líquenes; y 4) Formación y sujeción del suelo, gracias a los hongos simbiotes de plantas.

4.2.2. Servicios de Provisión

“Los arrieros llevan consigo una bolsita con esporas de Calvatia en estado maduro para cicatrizar sus heridas y la de los animales. Además, en estado joven sirve como alimento, y cuando está seco sirve como material combustible” (Furci, 2020, sobre los arrieros de la Patagonia).

Los servicios de provisión que entregan los hongos son muy variados, y en ciertas ocasiones pueden cumplir más de uno a la vez, como es el caso del género *Calvatia*, como explica Giuliana Furci (2020). Los usos que se le pueden dar son comestibles, combustibles, forrajeros, como herramientas de trabajo, medicinales, ornamentales, en perfumes y cosméticas, como pesticidas, como pigmentos y colorantes, para hacer bebidas y alimentos fermentados, e incluso como lápiz, entre muchos otros (Montoya, 2020). Dentro de estos servicios destacan los aportes que tienen en la alimentación, nutrición y medicina.

En primer lugar, los hongos están altamente ligados a la alimentación en todo el mundo. Gracias a la levadura, por ejemplo, un hongo que no desarrolla ni micelio ni cuerpo fructífero, se puede elaborar pan, cerveza, vino, y gracias a otros hongos que participan en la elaboración de quesos, chocolates y alimentos fermentados por ejemplo (Furci, 2020).

En Monteverde, en la Región de Los Lagos, está el primer registro de consumo humano de hongo comestible, realizado hace 13 mil años (Furci, 2020). Varios hongos han sido recolectados históricamente por los Mapuche, destacando las especies del género *Cyttaria*, conocidas vulgarmente como “Digüeñe”, “Pena”, “Quireñes”, “Pinatra” o “Curacucha”. Éstos no solamente se consumen frescos, sino que también se fermentan para hacer chicha. Otros pueblos como los Kawashkar, Yámanas y Selknam en Tierra del Fuego solían comerlos, al igual que la *Cyttaria hookeri*, conocida como “Assium” o “Uaíaca”, que se consumían preferentemente secos (Espinosa, 1926, y Schmeda- Hirschmann et al., 1995, en Sánchez et al., 2017).

Actualmente, las propiedades organolépticas (características físicas), composición nutricional y propiedades antioxidantes únicas de los hongos, hacen que sean cada vez más consumidos, llegando a considerarse productos gourmet. Las callampas que crecen en los bosques nativos de Chile que más se consumen son el *Boletus Loyo* (Loyo), *Grifola gargal* (Gargal), *Ramaria sp.*, *Cyttaria sp.*, y *Morchella sp.*, y en las plantaciones forestales de pino aparecen el *Lactarius deliciosus* (Níscalo, Lactario o Rovellón) y el *Suillus luteus* (Callampa negra o Callampa de pino) (Marín et al., 2018; Furci, 2007).

Además del valor gastronómico y ligado a la importancia nutricional que presentan los hongos, diversos estudios recientes han demostrado también su alto valor medicinal y farmacéutico, donde destacan la actividad antimicrobiana debido a compuestos que actúan sobre diversas bacterias (Cano y Romero, 2016). También se ha reportado actividad de los compuestos activos de hongos como las setas de cola de pavo (*Trametes versicolor*), que han sido utilizadas por miles de años para tratar el cáncer, el *Agaricus bisporus*, que además cuenta con propiedades antiinflamatorias, y al menos 15 especies de *Pleurotus*, con propiedades importantes para prevenir la oxidación celular (Cano y Romero, 2016; Schwartzberg, 2019) (ver Anexo N°2 y N°3).

Existen casos también como el de la seta Melena de León (*Hericium erinaceus*) que estimula el recrecimiento de los nervios y que podría servir como un tratamiento efectivo contra el Alzheimer (Schwartzberg, 2019), y otras especies que su efecto

inmunoestimulante podría aprovecharse para aumentar las defensas de personas que, por diversos procesos patológicos, sufran una bajada de defensas prolongadas. Actualmente se están estudiando los compuestos de los hongos que sirvan como fuente de utilidad en enfermedades como la diabetes o el SIDA, y en tiempos de pandemia, su consumo ayuda a sintetizar la vitamina D, lo que ayuda en la inmunología contra el COVID (Sánchez, 2015; Trigos, 2020).

Otro aspecto muy importante para considerar y en auge en lo que concierne a los estudios psicológicos y psiquiátricos, es el efecto neuronal y espiritual que provoca el consumo del género *Psilocybe* principalmente:

“En la Universidad del Sur de Florida, salió un estudio muy interesante. Se entrenó ratones para tener una respuesta condicionada al miedo y entonces cuando hay un sonido asociado con el dolor luego de haber escuchado el sonido, se encogen de miedo. Cuando trataron los ratones con Psilocibina, el compuesto de setas mágicas, los ratones disociaron ese enlace. Los ratones vencieron la respuesta condicionada al miedo. No estaban usando las mismas vías neurológicas que tenían en el pasado. Esto es emocionante, porque significa que el cerebro tiene plasticidad, es capaz de sanar, capaz de crecer. Solo necesita los compuestos correctos que le ayuden a desarrollar nuevas vías neurológicas.” (Schwartzberg, 2019).

4.2.3. Servicios de Regulación

“Los hongos pueden ayudar a amortiguar los efectos de estos impactos del ser humano sobre ecosistemas, a menudo, sin que nosotros nos demos cuenta y sin que los científicos hayan entendido cómo.” (Piepenbring et al., 2016, p. 68).

Así como se mencionó en el capítulo de hongos saprófitos, los hongos son capaces de amortiguar impactos del ser humano, como derrames de petróleo, sin que aún se sepa bien cómo poder ocuparlos en esas ocasiones. La gran cantidad de enzimas, además de poseer grandes vacuolas, son capaces de almacenar metales pesados y de degradar plástico y colillas de tabaco (Goyes, 2020) (ver Figura N°13).



*Figura N°13: Champiñones ostra creciendo en un suelo contaminado con petróleo.
Fuente: Susan Thomas, 2010.*

*“Son seres capaces de derribar rocas, petróleo, poliuretano, TNT. Resisten la radiación nuclear e incluso son capaces de explotarla. Después de la catástrofe de Hiroshima, el primer ser vivo que emergió de los escombros radiactivos fue un hongo. Otro caso extraordinario es el del *Cladosporium sphaerospermum*, descubierto en Chernóbil, donde crece maravillosamente utilizando la radiación y convirtiéndola en energía gracias a la melanina que sintetiza.” (Barbieri, 2020).*

Hay también hongos entomopatógenos (aquellos que producen una patogénesis letal o muy seria en insectos o arácnidos) que sirven como agentes controladores de plagas, constituyendo un grupo con más de 750 especies (Pucheta et al., 2006, en Motta y Murcia, 2011), los que tienen mecanismos de invasión únicos, ya que no necesitan ser ingeridos por el insecto para controlarlo, sino que lo infectan por contacto y adhesión de las esporas a partes de su cuerpo (Charnley, 1997, Jeffs et al., 1997, Kershaw y Talbot, 1998, en Motta y Murcia, 2011).

“Los hongos entomopatógenos son organismos de importante valor ecológico al desempeñar funciones de regulación sobre insectos, quienes debido al mal manejo de pesticidas realizado por el humano para su control se han convertido en plagas incontrolables y resistentes, convirtiendo a los hongos entomopatógenos en una opción viable para la elaboración de bioplaguicidas que permitan el control de estos sin contaminación y deterioro del medio ambiente.” (Motta y Murcia, 2011, p. 84).

La *Amanita muscaria*, conocida como el hongo de la mosca, tiene altos niveles de toxinas, usándose desde hace siglos para efectos alucinógenos y enteógenos (experiencias espirituales y divinas), pero también como insecticida (Cano y Romero, 2016). Al usar estos controladores hay que tener mucho cuidado con infectar a otras especies polinizadoras como las abejas, pero últimamente, como otra consecuencia del uso excesivo de químicos en la agricultura y apicultura, se han utilizado extractos de hongos como medicina para reducir niveles virales en las abejas (Schwartzberg, 2019).

El último aspecto muy importante para considerar es el de la micorrestauración. Como ya se ha dicho, el funcionamiento de los ecosistemas terrestres depende en gran parte de los microorganismos del suelo, puesto que la mayoría de los ciclos biogeoquímicos son desarrollados por ellos (Requena, 1997, Barea, 1998, Jeffries y Barea, 2001, en Cornejo, 2006). La desaparición o disminución de la microbiota terrestre debido a la erosión y desertificación como consecuencia de estrés ambiental (sequía, salinidad, temperaturas elevadas, deficiencias nutricionales, etc...), afecta al funcionamiento normal de estos ciclos, a la calidad del suelo y, en consecuencia, al establecimiento del material vegetal. A la hora de llevar a cabo programas de restauración ecológica, que tienen como objetivo final el restablecimiento de un ecosistema estable, tanto hongos como bacterias deben ser considerados de forma prioritaria. En este sentido, de gran importancia resulta el efecto de las micorrizas en la mejora de la estructura del suelo mediante la agregación de sus partículas y la formación de agregados hidroestables (Tisdall et al., 1997, Bethlenfalvay et al., 1999, Borie et al. 2000, en Cornejo, 2006). Esto se debe por:

“La combinación de un efecto físico, que produce la red de micelio del hongo entrelazando las partículas entre sí, junto a otro químico, debido a la producción de glomalina, una glicoproteína sintetizada por el hongo, que actúa como material cementante de las partículas del suelo. La glomalina, dadas sus condiciones de hidrofobicidad, y por ser altamente recalcitrante, puede llegar a ser un factor clave para la mejora de las condiciones físicas de los suelos en ecosistemas degradados.” (Wright et al., 1996, Wright y Upadhyaya, 1999, en Cornejo, 2006, p. 49).

4.2.4. Servicios Culturales

“De acuerdo con los referentes históricos, los hongos han estado relacionados desde la prehistoria con el ser humano y sus prácticas religiosas, estos vestigios están presentes en todo el mundo, desde África, Europa, China y América, desde pinturas rupestres representando a los chamanes de las tribus cavernícolas, hasta en las representaciones artísticas cristianas del catolicismo del siglo XII en Europa y en el XVI en México.” (Marín et al., 2014, p. 18).

La relación histórica que ha existido con los hongos es extremadamente estrecha, no solo en la comida y en el fuego, sino que también para poder como especie humana transitar a lo celestial desde lo terrenal. Las culturas chamánicas, anteriores a todas las religiones en el mundo, confiaban en las setas por sus experiencias trascendentales. Este fenómeno se

ve replicado a lo largo de toda la historia en todas las ceremonias de todas las culturas en todos los países del mundo. Hasta hoy en día la Iglesia Católica ocupa hongos para comulgar. Sin hongos no hay ni pan ni vino. Esta conexión del individuo con el mundo espiritual o con el misterio, ha estado ligada a los hongos desde que se tiene registro (Furci, 2020; Schwartzberg, 2019).

Ahora, existe una relación molecular entre los receptores del cerebro con las setas y sus propiedades enteógenas. Tanto hongos como plantas han sido pilares en los conceptos de salud, espiritualidad y bienestar humano, que después fueron demonizados por las culturas europeas en su proceso de modernización del mundo. El etnomicólogo Robert Wasson sugirió que los hongos enteógenos son el agente causal en la aparición de seres humanos espiritualmente conscientes y en la génesis de la religión (Wasson, Hofmann y Ruck, 1978, en Rodríguez y Quirce, 2012). Terence Mckenna por su parte, propuso que los hongos enteógenos incrementaban la conciencia de sí mismo, producían un sentido de interconexión y balance con la naturaleza, y potenciaban la elocuencia. Basado en esto, propuso la “Teoría del simio dopado”, la que alude a que los hongos *Psilocybe*, presentes en las heces de los animales que nuestros antepasados cazaban, los recolectaban y consumían, incrementando esta interconexión neuronal. Los hongos *Psilocybe* son, en dicha teoría, el catalizador en la evolución de los primates que llevó a nuestros ancestros simiescos a volverse humanos. La presencia de la psilocibina en la dieta humana, como cita Rodríguez y Quirce (2012) a Mckenna (1992), “cambió los parámetros de los procesos de la selección natural al cambiar los patrones de comportamiento sobre los cuales esa selección estaba operando” (p. 11):

“Excita la vocalización; empodera la articulación; transmuta el lenguaje en algo que es visiblemente contemplado. Esto pudo haber tenido un impacto en la repentina emergencia de la conciencia y el uso del lenguaje en los primeros seres humanos. Puede que literalmente nos hayamos comido nuestro camino hacia una mayor conciencia.” (Mckenna, 1992, en Rodríguez y Quirce, 2012, p. 26).

Si los estudios actuales han demostrado que una dosis alta de psilocibina en adultos puede conllevar mejorías importantes y persistentes en el perfil de la personalidad, no es difícil concebir que en el pasado ancestral ello pudiese influenciar significativamente los procesos de la selección natural y sexual de una especie que triplicó el tamaño de su cerebro en 2 millones de años (Rodríguez y Quirce, 2012).

La llegada de los colonos europeos a América principalmente, como se mencionó anteriormente, transformó esta relación en una práctica demoniaca, con abundantes descripciones parciales y deformadas, juicios y condenas a dichas prácticas. Si bien estas prácticas lograron sobrevivir, se desarrolló una fuerte micofobia al respecto, con imposiciones de creencias y persecución, exclusión y discriminación hacia las comunidades indígenas de los países, y aún en estos días se cree más en los mitos que en los hechos científicos de hace más de 50 años (Ledezma, 2020). En cuanto al género *Psilocybe*, su redescubrimiento aparece recién desde los 50s, más de 400 años más tarde de su

prohibición. En el caso de Chile, la Ley 20.000 cataloga a psilocibina, psilocina y psilotsina como drogas de alto riesgo e imparte sanciones legales para su cultivo y tráfico (Revista Cáñamo, 2019).

Aun así, la relación con hongos silvestres comestibles y cultivados ha permanecido durante el tiempo, siendo la principal economía de muchos pueblos. En el sur de Chile comunidades enteras han surgido y forjado su identidad, unidas por esta práctica cultural. El pueblo de Empedrado es una de ellas. Esta pequeña localidad rural de la Región del Maule vive y sustenta su economía en la recolección de hongos silvestres comestibles presentes en las plantaciones forestales que los rodean, en donde todos los años celebran su propio “Día del Recolector de Callampas”, realizan concursos y competencias relacionadas con esta tradición. Un ejemplo del aprovechamiento sostenible de la recolección de setas, que puede impactar positivamente en el micoturismo (Agenda País, 2018), como lo han realizado en España, donde han desarrollado parques micológicos para su recolección y educación ambiental (CestaySetas, 2015; Parque Micológico Erro-Roncesvalles, 2021).

4.3. Importancia de los Hongos para la Conservación de la Biodiversidad

4.3.1. Conservación de los Hongos y de sus Ecosistemas

Para conservar un ecosistema es clave conocer sus características y procesos, y si bien se sabe bastante respecto a la diversidad de plantas y animales, y las características físicas y climáticas, entre otros, existen pocos estudios enfocados en los hongos, y principalmente en los micorrícicos (Silva-Flores, 2018).

En la actualidad, a nivel mundial existen muchos procesos que amenazan a los ecosistemas, afectando de igual manera a los hongos. Entre éstos destacan la destrucción y fragmentación de hábitats, diversos tipos de contaminación e inclusive el cambio climático (García, 2005), a las que hay que sumarle a nivel local la recolección indiscriminada de hongos comestibles, la ganadería y los incendios forestales (Romero y Landeros, 2020; ChileCientífico, 2020).

Los hongos crecen en condiciones microclimáticas muy específicas, determinadas por cierto porcentaje de humedad, temperatura y luz principalmente; por lo tanto, cualquier impacto como la remoción de materia orgánica y de tierra de hojas, la erosión y la falta de sombra, afectan directamente sus condiciones microclimáticas y destruyen el micelio (Dibán, 2020). Si se desea conservar a los hongos, es necesario mantener estas condiciones y conservar los sustratos en los que habitan, principalmente los de origen vegetal y especialmente los bosques nativos y ambientes prístinos, ya que son sus descomponedores y desarrollan relaciones micorrícicas o parasitarias con estas especies; de lo contrario, cualquier cambio en el ecosistema puede llevar a que especies menos tolerantes se mueran (Dibán, 2021; Troncoso, 2021).

La falta de conocimiento sobre este reino y por consiguiente su falta de conservación, supedita el sostenimiento del equilibrio ecosistémico, que puede conllevar a la desaparición de numerosas especies que aún no se han estudiado, especialmente en aquellas regiones con variadas y constantes amenazas sobre sus hábitats, como lo es la región mediterránea de Chile. Sumado a esto, en ciertas ocasiones el crecimiento de hongos se da en condiciones particulares, como lo es el caso del género *Cyttaria*, que únicamente crecen en especies de *Nothofagus* adultos (Ponce, 2021), lo que ratifica la importancia de conservar por sobre restaurar. Y, desde el punto de vista humano, todas las actividades antrópicas se apoyan en los recursos biológicos: “*Aunque la urbanización, la industria y la tecnología simulen un mundo ajeno a la naturaleza, los seres humanos no podríamos sobrevivir al margen de los ecosistemas naturales.*” (Roa y Bonacic, 2009, p. 4). Es por lo que conservar la biodiversidad es garantizar la vida, incluyendo la de los seres humanos. Un bosque bien gestionado puede producir más hongos comestibles sin comprometer su diversidad de cara al futuro (de Miguel, 2019).

4.3.2. Hongos en la Creación de Áreas Silvestres Protegidas

Para que un ecosistema funcione como una totalidad deben considerarse todos sus componentes, con sus características y funciones. Por lo tanto, a la hora de crear un área protegida es fundamental tener en cuenta la conservación de todos los grupos de organismos, flora, fauna, funga e idealmente, aunque bastante difícil de conseguir en la actualidad, también los reinos Protista y Monera (Troncoso, 2021). En el caso del Reino Fungi, siempre es importante considerar tanto la abundancia como la riqueza de los hongos, identificar cuáles son endémicas en determinado ambiente y estudiar cómo interactúan con los otros organismos (Ponce, 2021). Al momento de proteger un área con vegetación diversa y material orgánico muerto, al aumentar el número de nichos diferentes, las esporas de una gran diversidad de hongos encontrarán sustratos adecuados y aumentará la diversidad de hongos sin que el ser humano tenga que intervenir (Piepenbring et al., 2016).

En un territorio como Chile con variados ecosistemas, existen muchas especies de hongos. En el norte del país, debido a la aridez del clima es difícil encontrar fructificaciones fúngicas, pero en ocasiones las nieblas matinales y esporádicas lluvias gatillan la presencia de algunas especies en el desierto de Atacama y en otras formaciones xéricas, como en los Parques Nacionales Tres Cruces y Pan de Azúcar (Furci, 2008; Troncoso, Casanova-Katny, Marín y Palfner, 2020). Desde la región de Coquimbo hacia el sur crece un mayor número de especies. La zona central del país alberga numerosas especies del género *Geastrum*, *Agaricus*, *Macrolepiota*, *Volvariella*, *Coprinus* y *Tricholoma*, entre otros (Furci, 2008). En ASP del centro y sur de Chile, donde existe la mayor población de especies del género *Nothofagus*, se puede encontrar un gran número de hongos micorrícicos asociados a estos árboles; incluso se ha estimado que llegan a formar cuerpos fructíferos hasta 50 metros de distancia desde la base del fuste del árbol (Troncoso, 2021). Y, en casos también donde las condiciones edáficas son extremas, como el exceso de aluminio o cantidades mínimas de fósforo disponible para las plantas (como ocurre en el sur de Chile), los hongos micorrícicos asociados a sus plantas simbiotas permiten que toleren estos hábitats (Marín,

2018).

Si se desea integrar a los hongos bajo el “*Manual para la Planificación del Manejo de las Áreas Protegidas del SNASPE*” de la CONAF (2017) para la creación de ASP dentro del territorio chileno, se deben considerar primero bajo el concepto de *Objeto de Conservación*, el que se define como aquel “*elemento de la biodiversidad o del patrimonio cultural de un Área Protegida que el equipo de planificación ha seleccionado como punto de enfoque*” (CONAF, 2017, p. 182), y en específico bajo el concepto de *Objetos de Conservación Biológicos (OCB)*, entendido como aquellas especies, conjunto de especies, o ecosistemas seleccionados para representar, englobar y conservar la biodiversidad en un área silvestre protegida (CONAF, 2017).

El proceso de selección de Objetos de Conservación Biológica consta de tres pasos: En primer lugar, se deben identificar los candidatos realizando una preselección de potenciales OCB de filtro grueso y de filtro fino:

“Los objetos de filtro fino incluyen especies y grupos de especies (ensambles, gremios, etc.) que no son recogidas en sus necesidades de conservación adecuadamente por objetos de filtro grueso. Potenciales objetos de filtro fino incluyen especies amenazadas (vulnerables, en peligro y en peligro crítico) y endémicas, ensambles y gremios. Pueden considerarse también especies clave, especies focales y/o especies paragua.” (CONAF, 2017, p. 47).

Sumado a esto, se deben considerar aquellas especies que cuenten con un Plan Nacional de Conservación o Plan de Recuperación, Conservación y Gestión. Además, se pueden considerar especies que, sin cumplir los criterios anteriores, sean emblemáticas para la zona y jueguen el rol de “especies bandera”, como también especies relictuales y carismáticas. Para ello, se recomienda utilizar bases complementarias como la lista roja de la UICN (CONAF, 2017).

En segundo lugar, deben agruparse los candidatos a OCB con aquellos que compartan amenazas, procesos y que co-ocurrán en el espacio (Foundation of Success [FOS], 2009, en CONAF, 2017). Este proceso de agrupar y separar requiere información, por lo que debe incluirse la recopilación bibliográfica de libros, artículos científicos, datos de monitoreo, fichas resultantes de procesos de calificación de especies, etc. (CONAF, 2017).

Y, en tercer lugar, se debe realizar la selección de Objetos de Conservación Biológicos. Para generar la propuesta final se debe considerar a los objetos de filtro grueso con mayor prioridad que los objetos de filtro fino, ya que “*se asume que a través de su conservación se protegerá también a muchos otros elementos de la biodiversidad local*” (CONAF, 2017, p. 47). Por lo tanto, si las necesidades de los objetos de filtro fino son cubiertas si se protegen los de filtro grueso, entonces deben ser descartados. Por otro lado, debe considerarse como OCB aquellos candidatos cuyas necesidades y/o amenazas principales no serían adecuadamente abordadas si se conservaran otros objetos de conservación

biológica. Además, deberá considerarse las posibilidades reales de seguimiento y monitoreo de los OCB, descartando aquellos para los cuales el monitoreo resulte poco factible (CONAF, 2017) (ver ejemplo en Anexo N°4).

Según Dibán (2021) todos los organismos son objetos de conservación, y más aún si cumplen con roles ecosistémicos fundamentales, por lo que los hongos sí pueden entrar en esta categoría. Troncoso (2021) agrega que se debe comprender la biología de ellos para poder conservarlos, considerando todas las funciones que realizan y que muchas especies que se encuentran en Chile son nativas, no se pueden encontrar ni reproducir en otras partes del mundo, por lo que se es fundamental conservarlas, además de conservar los sustratos hospederos de los hongos, sobre todo en un contexto de cambio climático y degradación del ambiente como el que estamos viviendo. Como el conocimiento actual que se tiene sobre los hongos en Chile es bajo, aclara Sebastián Ponce (2021), es difícil considerar como objeto de conservación a una especie en particular. Son muy pocos los hongos que se conocen a nivel nacional y es muy difícil saber si realmente están en peligro de conservación. Lo que corresponde, es conservar aquellos que en su conjunto incluyen la presencia de un hongo único en ese lugar, como es el caso del género *Nothofagus* con hongos del género *Cyttaria*.

Por otra parte, con respecto a los hongos que se pueden considerar como especies paraguas, en Chile faltan estudios de este tipo; sin embargo, como se aclaró en el capítulo *Relación hongo-animal*, se han descrito especies importantes en la nidificación de algunas aves, favoreciendo la formación de cavidades y construcción de nidos, como los del género *Ganoderma* e *Hymenochaetaceae* por ejemplo; por otro lado, hay hongos simbioses a plantas que son indispensables para la germinación de semillas, como aquellos asociados a orquídeas, o para el crecimiento de plántulas; y además, si los *Tremellas* desaparecen, desaparecerían también los parásitos que existen en la madera en descomposición (Dibán, 2021).

En vista de lo anterior, los hongos se pueden considerar como Objetos de Conservación Biológicos dependiendo de la especie, género o comunidad, el área de estudio y el conocimiento que se tenga sobre ellos en cada área protegida que se quiera crear. En este último punto es necesario considerar un correcto monitoreo para la identificación y seguimiento de las especies. Asimismo, las variables anteriores determinarán si se pueden considerar como un objeto de filtro fino o un objeto de filtro grueso, comprendiendo que se puede buscar conservar una especie presente en la lista roja de la UICN, por ejemplo, o una comunidad de hongos presente en el ambiente gracias a su rol ecosistémico y/o social, o los hongos y sus sustratos hospederos en su conjunto, considerando además al suelo y los microorganismos presentes en él, entre otros casos.

4.4. Áreas Potenciales para la Conservación de la Comunidad de Hongos en el Bosque Esclerófilo

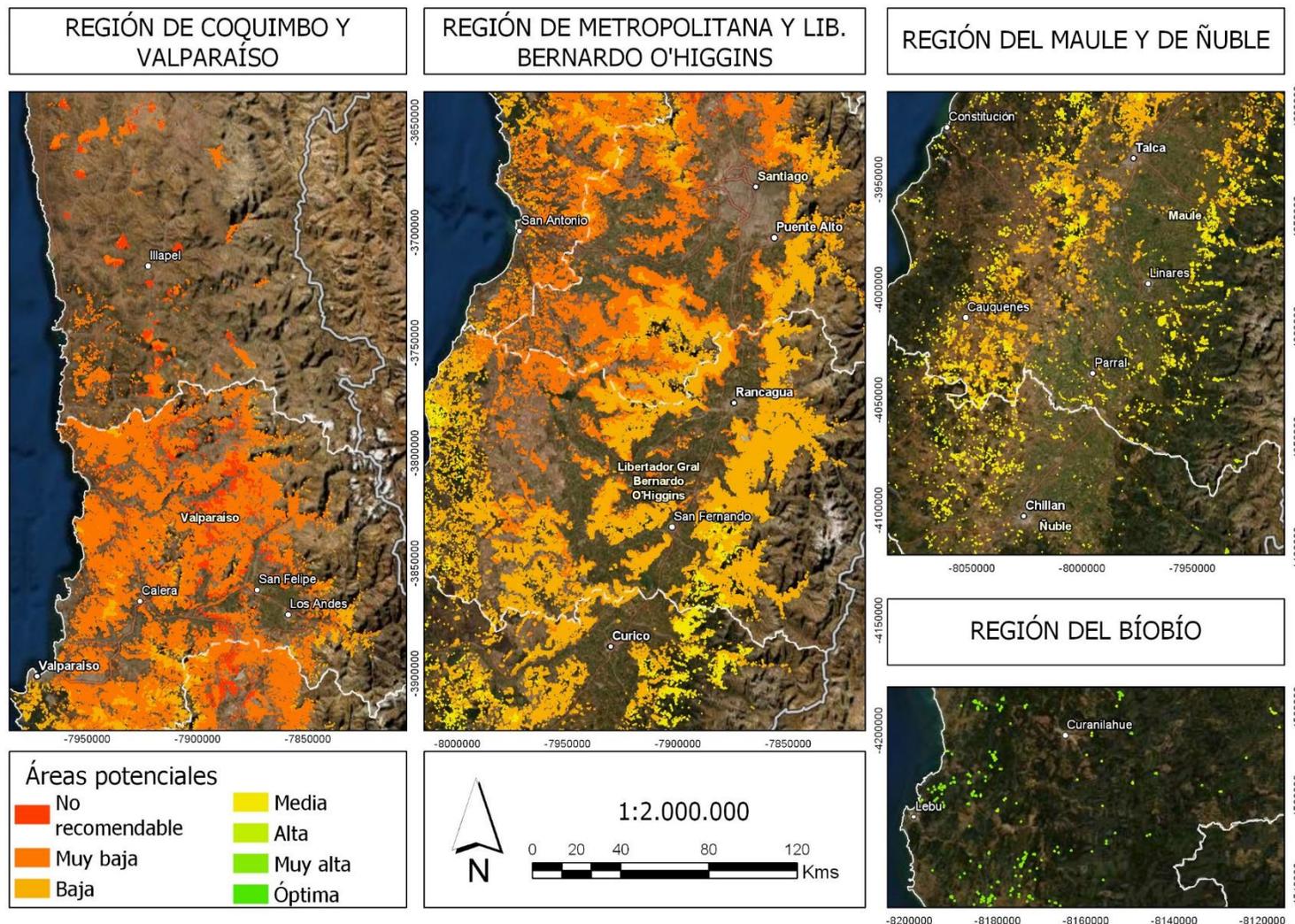


Figura N°14: Áreas potenciales para la conservación de la comunidad de hongos en el bosque esclerófilo.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

En base a los bioclimas descritos en el *Área de estudio*, es posible evidenciar que casi la totalidad de las áreas potenciales se obtuvieron en los bioclimas mediterráneos xérico-oceánico y pluvioestacional. En el caso del bioclima mediterráneo xérico-oceánico, ubicado en la región de Coquimbo y casi la totalidad de la región de Valparaíso, este presenta valores entre las categorías “No recomendable” y “Media” pero prácticamente en su totalidad se presentan áreas de la clase “Muy baja”, seguido de “No recomendable” y muy por debajo la categoría “Baja”. Los únicos valores en la clasificación “Media” se presentan en la Cordillera de los Andes, al este de la ciudad de Los Andes y en la Cordillera de la Costa entre Caldera y Llay Llay.

Para el caso del bioclima mediterráneo pluvioestacional, situado entre el sur de la región de Valparaíso por el norte y la región de la Araucanía por el sur, presenta valores entre “No

recomendable” y *Óptima*”, pero mayoritariamente valores entre las clases *Baja*” y *Alta*”, muy por sobre las categorías *No recomendable*”, *Muy alta*” y *Óptima*”.

Asimismo, con respecto a la división regional, la región de Coquimbo presenta casi en su totalidad áreas pertenecientes a las categorías *No recomendable*” y *Muy baja*”, y en una mínima fracción la clase *Baja*”. La región de Valparaíso presenta un mayor porcentaje de valores de la clasificación *Muy baja*” por sobre valores en las clases *No recomendable*”, *Baja*” y en menor proporción la clase *Media*”. Para la región Metropolitana, los valores fluctúan entre *Muy baja*” y *Baja*” principalmente, con escasos polígonos con valores *No recomendable*” y *Media*”. En la región del Libertador Bernardo O’Higgins, por su parte, predomina la categoría *Baja*”, seguido de las categorías *Muy baja*” y *Media*” respectivamente, y en menor cantidad polígonos con clasificación *Alta*”. Para la región del Maule, las clases *Baja*” y *Media*” son los predominantes, pero aumentan los polígonos clasificados en *Alta*”. Ya para la región de Ñuble, casi se no presenta la clase *Baja*”, predominando principalmente las categorías *Media*” y *Alta*”. En la región de BíoBío, a su vez, se hacen presentes valores de la categoría *Muy alta*”, al igual que valores en *Alta*” y *Media*”, y escasamente valores de la clase *Óptima*”. Y en la región de la Araucanía no se obtuvieron resultados.

Si bien, tanto en la división bioclimática como en la división regional se evidencia un notorio gradiente latitudinal, en el que los valores más favorables se presentan hacia el sur, existe una notoria predominancia de valores que fluctúan entre las clases *Muy baja*” y *Media*”. La figura N°24 resume la superficie total en hectáreas de áreas potenciales obtenidas por valor: de un total de 1.395.510 hectáreas, 621.008 há. corresponden a la categoría *Muy baja*”, 604.919 a la categoría *Baja*”, 110.842 há. a la categoría *Media*”, 49.419 há. a la categoría *No recomendable*”, 6.538 há. a la categoría *Alta*”, 2.734 há. a la categoría *Muy alta*” y 50 há. a la categoría *Óptima*”.

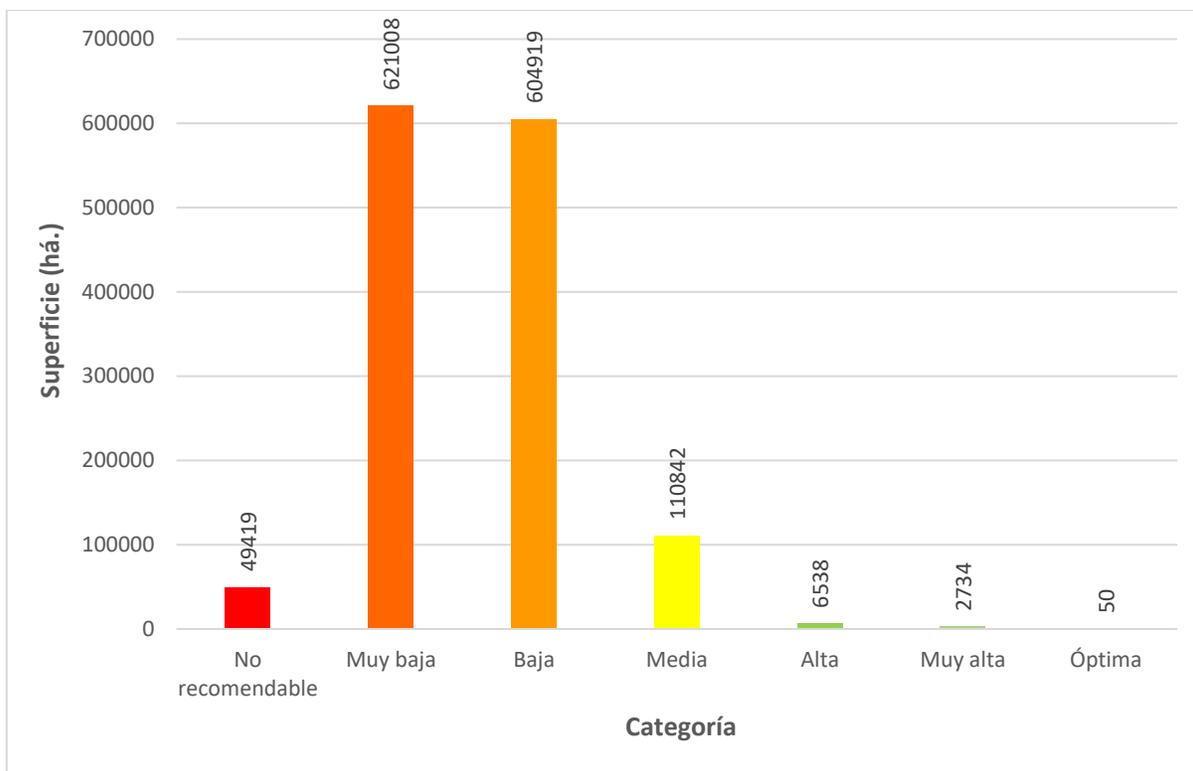
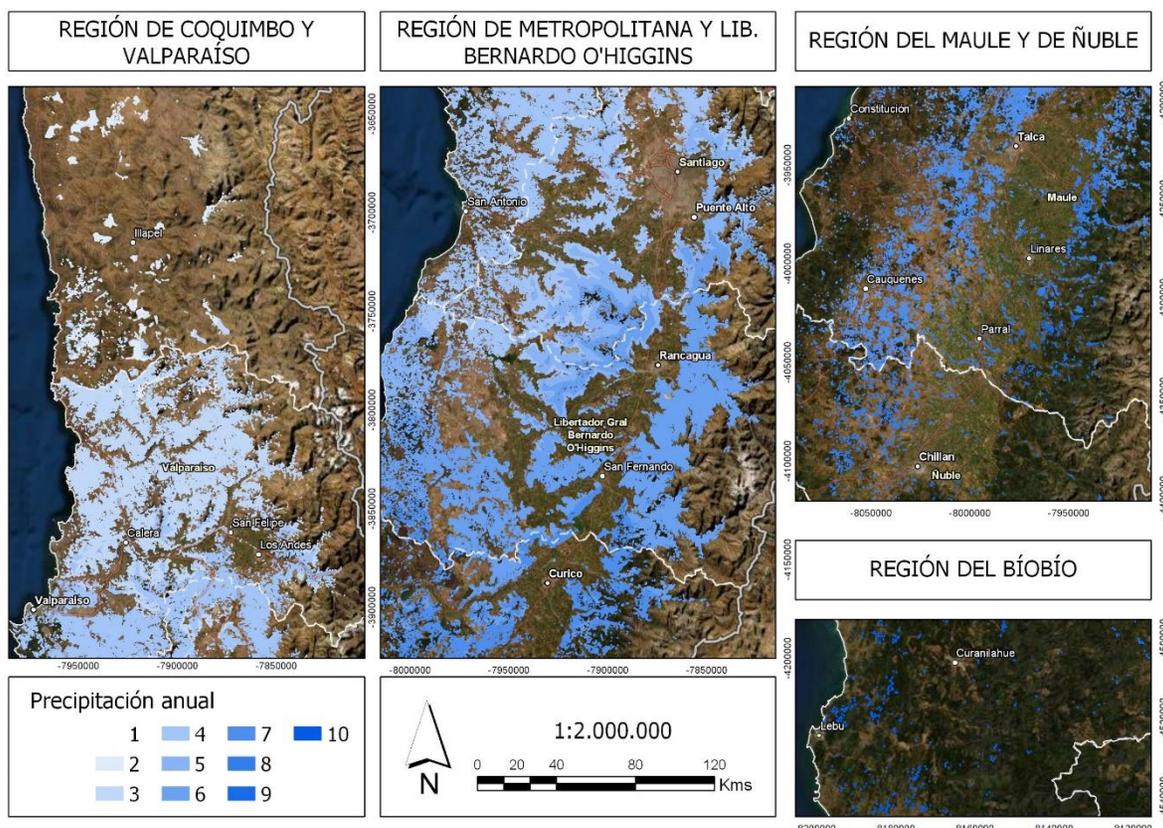


Figura N°15: Superficie en hectáreas de áreas potenciales por categoría.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Por otra parte, la distribución geográfica de las áreas potenciales evidencia una directa correlación, según el peso asignado a cada variable con, en primer lugar, la precipitación anual (16%), que aumenta hacia el sur del país y hacia la Cordillera de los Andes, y también hacia la costa en las regiones de Ñuble y del Bío-bío (Figura N°16).



*Figura N°16: Distribución de la precipitación anual en el bosque esclerófilo.
Fuente: Elaboración propia, 2021, en base a los datos de WorldClim, 2020.*

Segundo, la precipitación estacional (14%) por su parte, presenta una menor variación hacia el sur, en la Cordillera de los Andes y a lo largo del litoral, lo que significa que los niveles de precipitación varían menos durante el transcurso del año (Figura N°17).

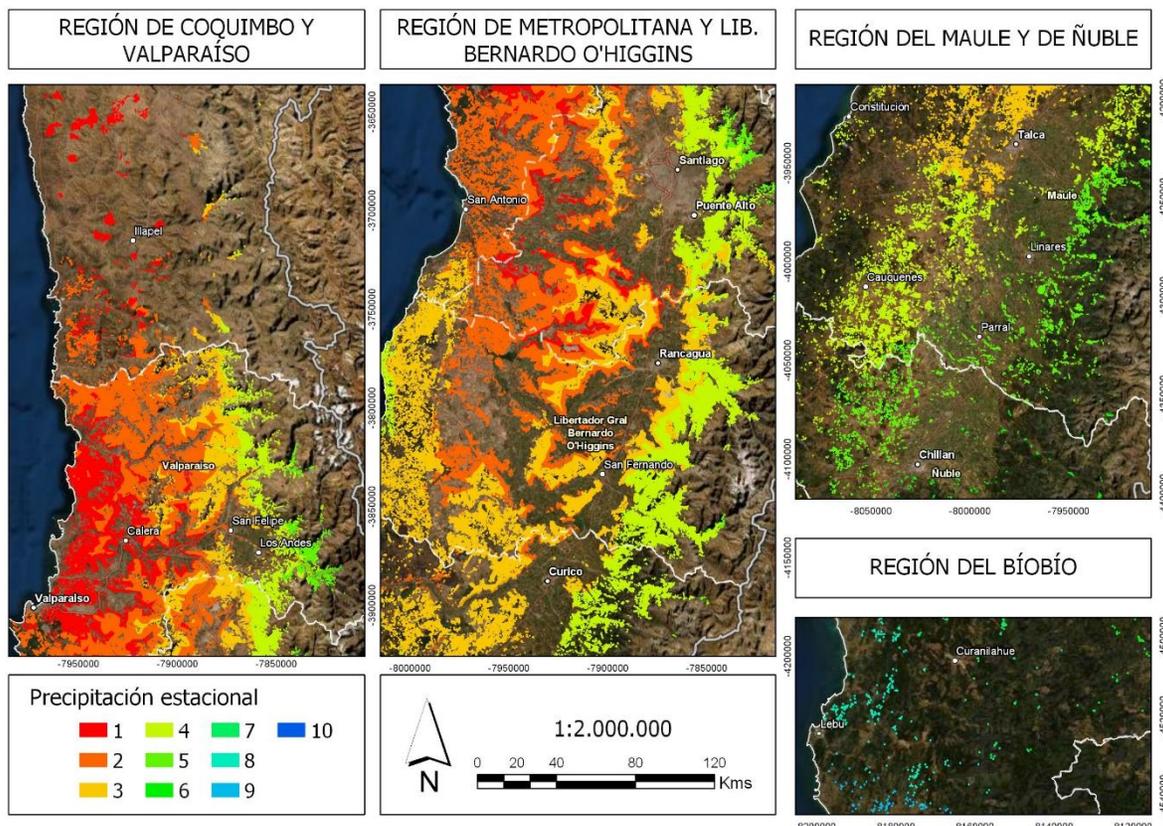
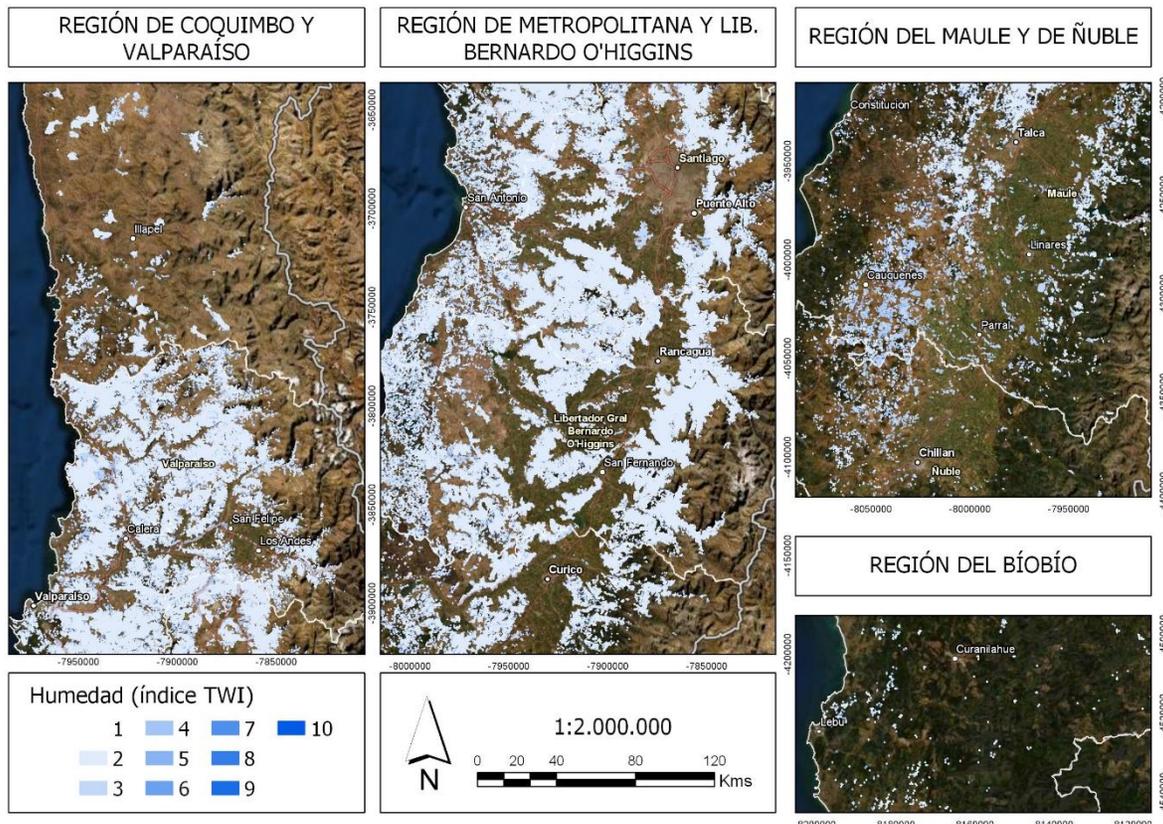


Figura N°17: Distribución de la precipitación estacional en el bosque esclerófilo.

Fuente: Elaboración propia, 2021, en base a los datos de WorldClim, 2020.

Tercero, la humedad (índice TWI) (12%), que está basada en el análisis morfológico al identificar los potenciales lugares donde se concentra la humedad o las zonas de acumulación del agua, presenta un leve aumento de sus valores hacia el norte, tanto en la Cordillera de la costa como de los Andes. (Figura N°18).



*Figura N°18: Distribución de la humedad (índice TWI) en el bosque esclerófilo.
Fuente: Elaboración propia, 2021.*

Cuarto, en el caso del índice NDVI (12%), que estima la cantidad, calidad y desarrollo de las plantas, presenta mayores valores a lo largo de la Cordillera de los Andes y hacia el sur (Figura N°19).

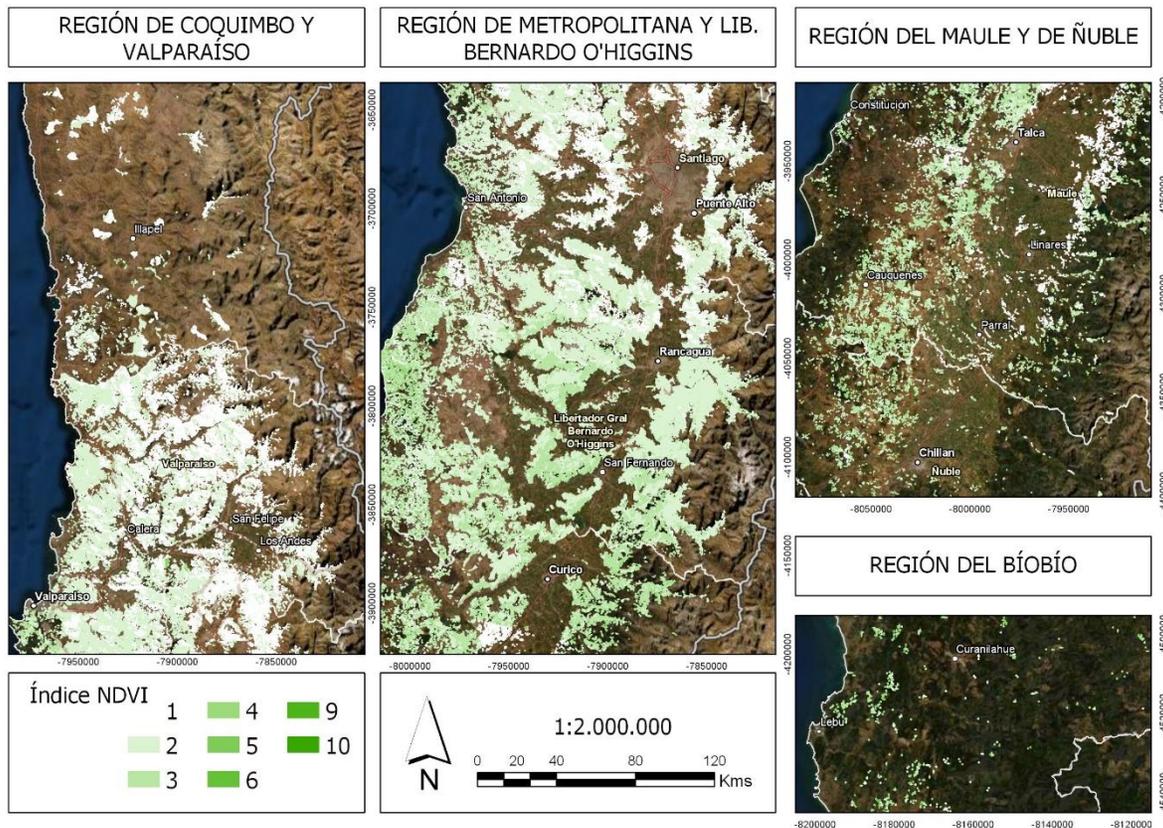
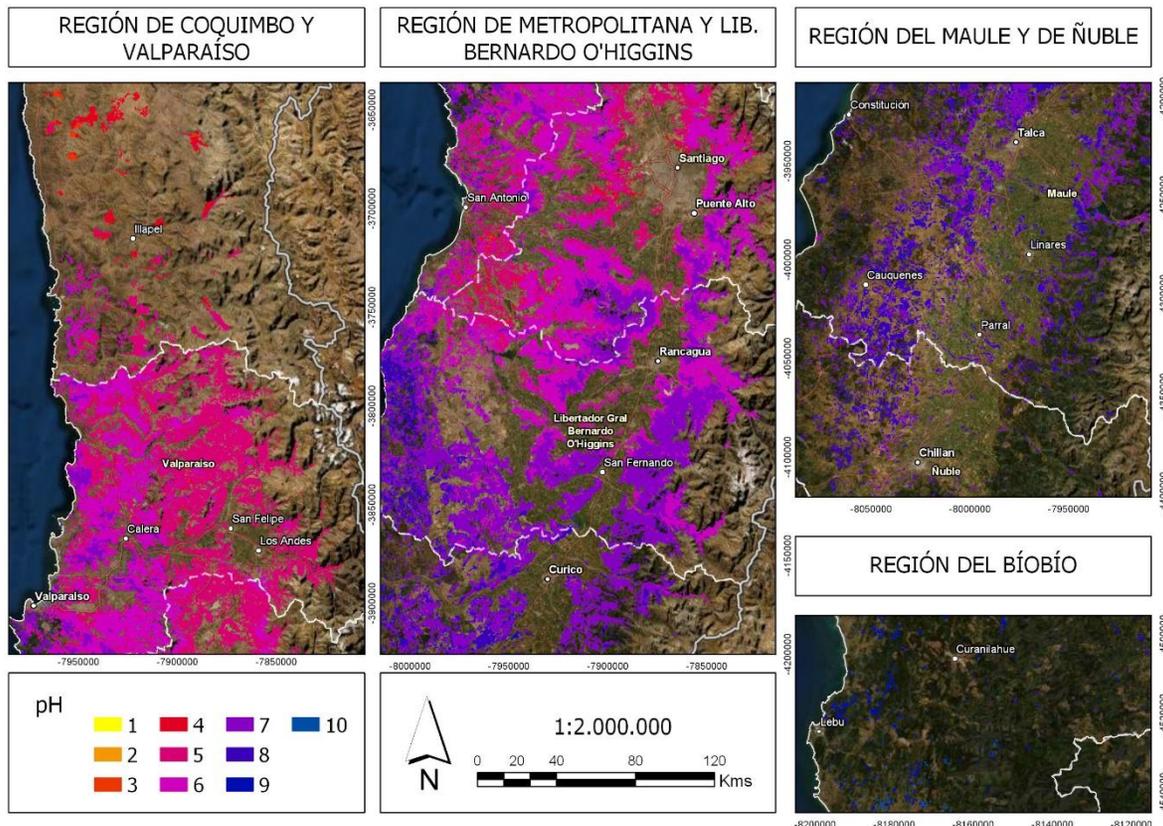


Figura N°19: Distribución de la calidad, cantidad y desarrollo de las plantas (índice NDVI) en el bosque esclerófilo.

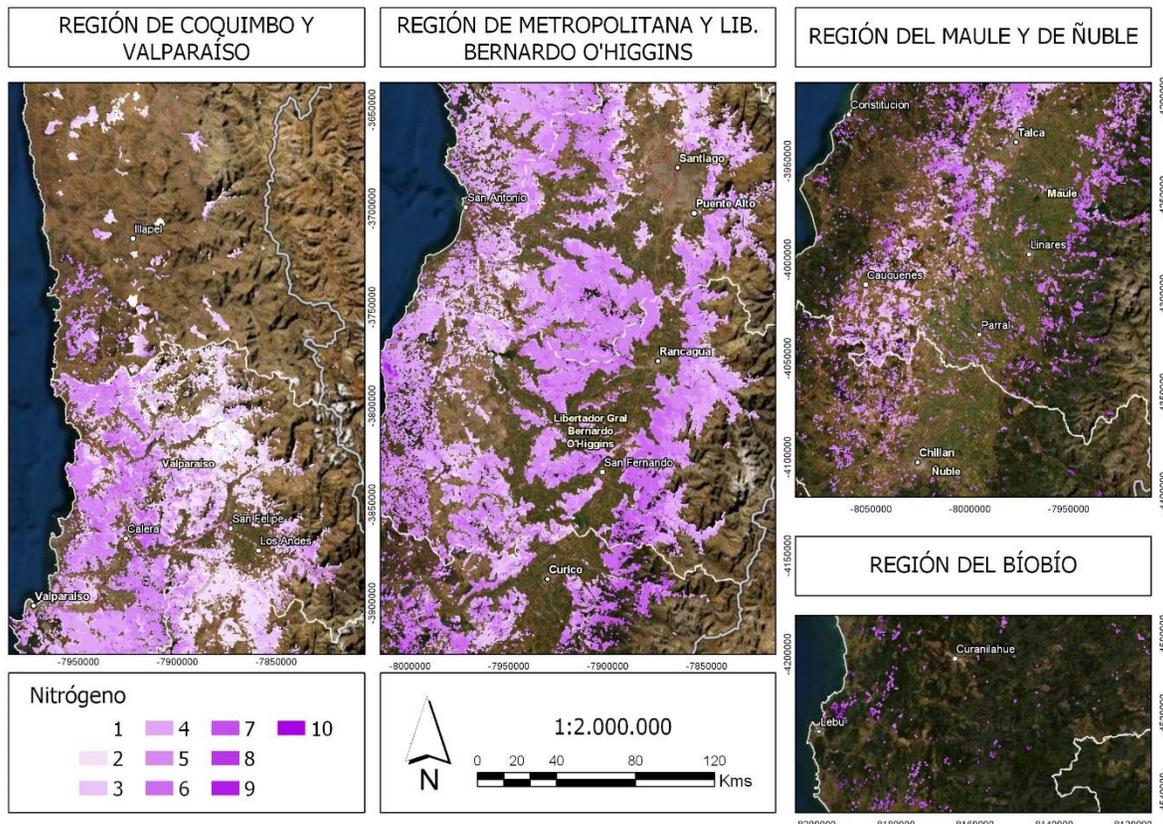
Fuente: Elaboración propia, 2021.

En quinto lugar, el pH (11%) presenta valores notoriamente más ácidos hacia el sur y hacia la costa (Figura N°20).



*Figura N°20: Distribución del pH del suelo en el bosque esclerófilo.
Fuente: Elaboración propia, 2021, en base a los datos de SoilGrids, 2020.*

Sexto, para el nitrógeno (11%) se evidencian mayores valores en la Cordillera de los Andes en el sur desde la región del Libertador Bernardo O'Higgins y en la Cordillera de la costa en la región de Valparaíso (Figura N°21).



*Figura N°21: Distribución del nitrógeno del suelo en el bosque esclerófilo.
Fuente: Elaboración propia, 2021, en base a los datos de SoilGrids, 2020.*

En el caso del carbono orgánico (9%), éste presenta un aumento en sus valores hacia el sur, predominando en la Cordillera de los Andes, en la costa de la región del Libertador Bernardo O'Higgins y en la Cordillera de la Costa de la región del Libertador Bernardo O'Higgins y de la región de Valparaíso (Figura N°22).

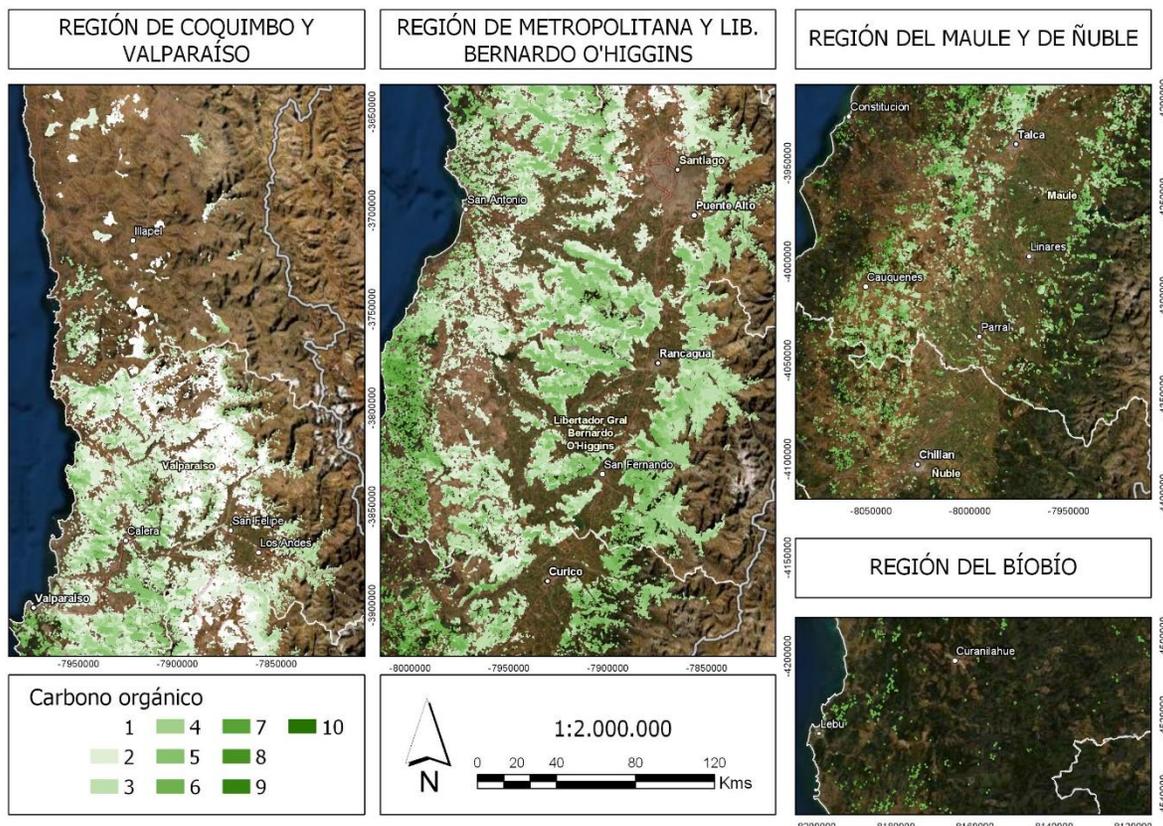


Figura N°22: Distribución del carbono orgánico del suelo en el bosque esclerófilo.
Fuente: Elaboración propia, 2021, en base a los datos de SoilGrids, 2020.

En octavo lugar, en cuanto a la temperatura del mes más cálido (8%), se logra evidenciar un claro aumento en las temperaturas en toda la depresión intermedia, disminuyendo progresivamente a mayores altitudes, a una mayor cercanía al mar y desde la región de Biobío hacia el sur (Figura N°23).

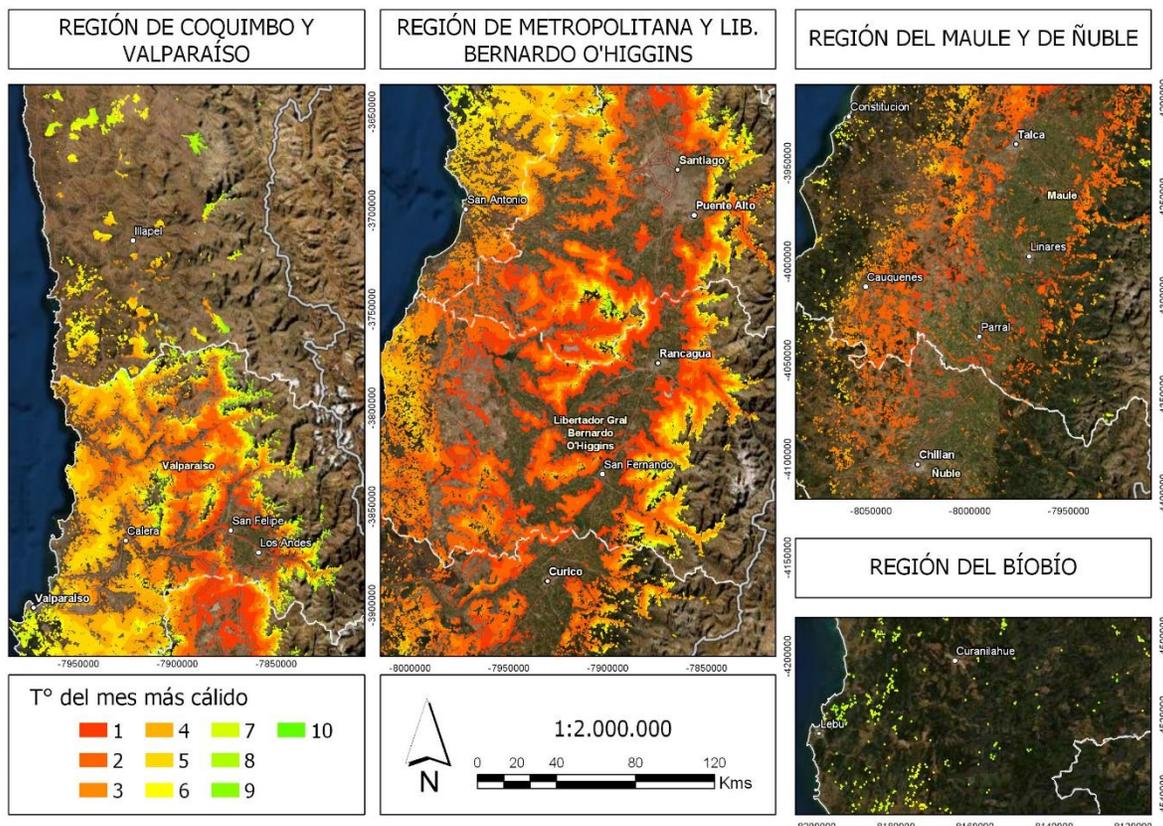


Figura N°23: Distribución de la temperatura del mes más cálido en el bosque esclerófilo.
Fuente: Elaboración propia, 2021 en base a los datos de WorldClim, 2020.

Y, en último lugar, la capacidad de intercambio catiónico (7%) muestra leves valores más altos a lo largo de la depresión intermedia, aumentando sus valores hacia el sur (Figura N°24).

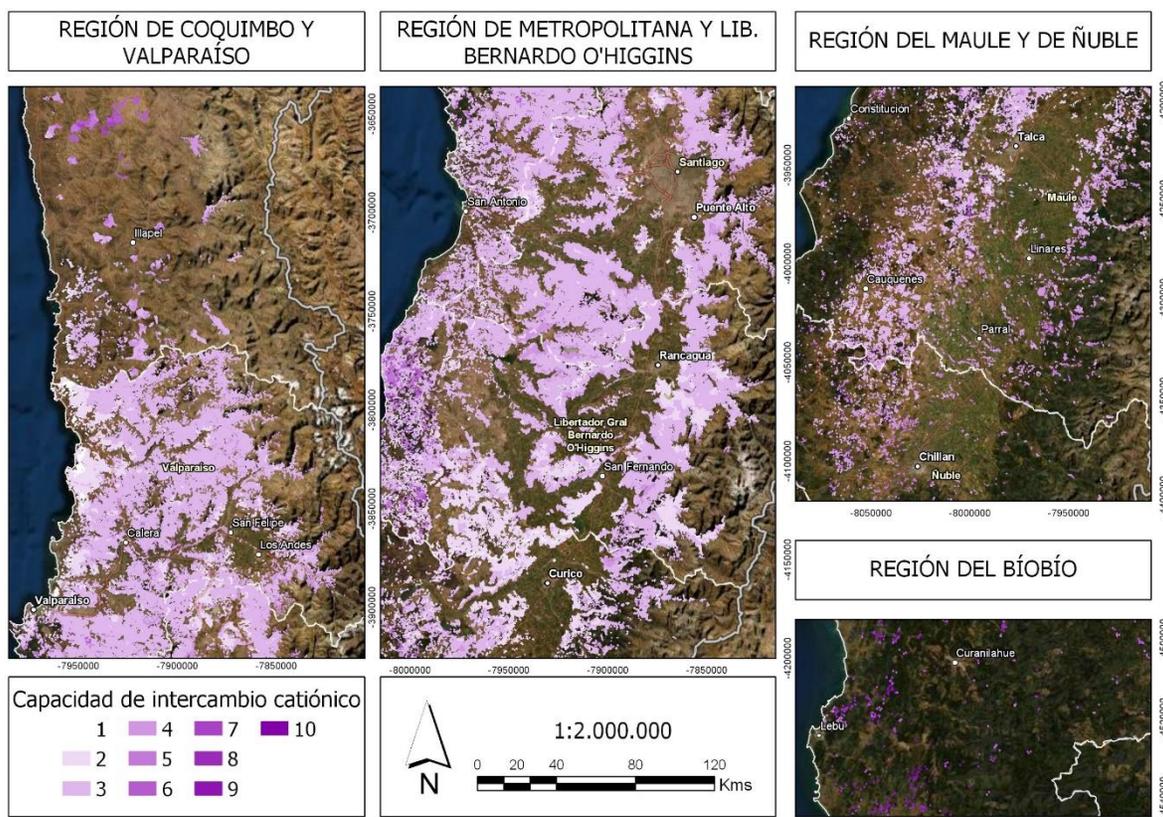


Figura N°24: Distribución de la capacidad de intercambio catiónico del suelo en el bosque esclerófilo.

Fuente: Elaboración propia, 2021, en base a los datos de SoilGrids, 2020.

En vista de lo anterior, los resultados de las áreas potenciales arrojan mejores valores hacia el sur, en la Cordillera de los Andes y en la Cordillera de la costa respectivamente. En primer lugar, los valores más favorables de estas áreas que se presentan en los bosques esclerófilos más australes se justifican sobre la base de siete de las nueve variables utilizadas, las que corresponden a la precipitación anual, precipitación estacional, índice NDVI, pH, nitrógeno, temperatura del mes más cálido y capacidad de intercambio catiónico. Y, en segundo lugar, tanto la Cordillera de los Andes como de la Costa presentan altos valores en todas las variables, a excepción del pH y la capacidad de intercambio catiónico. Esto se puede comprender en la importancia del clima en el desarrollo de la comunidad de hongos, en el que la precipitación anual, estacional, la temperatura del mes más cálido y la humedad (microclima) corresponden al 50% del peso de las variables, los que a su vez regulan las variables edáficas (Ganuzo y Almendros, 2003), como la calidad, cantidad y desarrollo de las plantas, pH, nitrógeno, carbono orgánico y CIC.

Considerando los resultados de las variables y las posteriores categorías resultantes de las áreas potenciales, las 50 hectáreas obtenidas en la categoría “Óptima”, así como también las 2.734 hectáreas de la categoría “Muy alta”, se presentan en la costa sur de la región del Bío Bío, lo que se justifica en la presencia de los mejores valores de las variables de precipitación anual, precipitación estacional, índice NDVI, pH, nitrógeno, carbono, CIC y

temperatura del mes más cálido. A su vez, es posible identificar las 6.538 hectáreas de la clase “Alta” a lo largo de la costa y Cordillera de los Andes en la región del Maule y a lo ancho del territorio desde la región de Ñuble hacia el sur. Los valores obtenidos a modo general, en las variables desde la región del Maule hacia el norte, son más favorables en la costa y en la Cordillera de los Andes. Esto también se ve reflejado para la categoría “Media”, con un total de 110.842 hectáreas distribuidas mayoritariamente en la Cordillera de los Andes y en la costa, desde la región Metropolitana y la región del Libertador Bernardo O’Higgins respectivamente.

Por otro lado, tanto las categorías “Baja” y “Muy baja”, ambas con una enorme superioridad con respecto al resto de las categorías en cuanto a la superficie total, con 604.919 y 621.008 hectáreas respectivamente, se distribuyen más homogéneamente a lo ancho y a lo largo de todo el territorio, pero principalmente en la depresión intermedia desde la región del Maule hacia el sur. Y, para la categoría “No recomendable”, con un total de 49.419 hectáreas, su distribución se presenta a lo largo de la depresión intermedia de las regiones de Coquimbo, Valparaíso y el norte de la región Metropolitana principalmente.

En base a las clasificaciones bioclimáticas y a los resultados de las variables utilizadas, es posible evidenciar los patrones biogeográficos que modelan las condiciones para el desarrollo de la comunidad de hongos. Es posible identificar a las cuatro categorías más favorables, ya sean las categorías “Media”, “Alta”, “Muy alta” y “Óptima” desde la región del Libertador Bernardo O’Higgins hasta la región del Bío-bío, las que coinciden en gran parte con el bioclima mediterráneo pluviestacional; y las tres categorías menos favorables, correspondientes a “No recomendable”, “Muy baja” y “Baja” a lo largo de la depresión intermedia hasta aproximadamente la región del Maule hacia el sur, y a lo ancho de las regiones de Coquimbo y Valparaíso, coincidentes en gran parte con el bioclima mediterráneo xérico-oceánico.

Y, en último lugar, al considerar aquellas Áreas Silvestres Protegidas del Estado que buscan conservar el bosque esclerófilo, las que corresponden a los parques nacionales La Campana, Río Clarillo y Palmas de Cocalán, y las reservas nacionales Río Blanco, Lago Peñuelas, Roblería Cobre de Loncha, Los Cipreses, Los Queules y la Isla Mocha, las áreas potenciales para la conservación de la comunidad de hongos corresponden únicamente a las categorías “Muy baja”, “Baja”, “Media” y “Alta”, esta última estando presente únicamente en la Reserva Nacional Los Queules, ubicada en la provincia de Cauquenes, en la región del Maule; quedando así las dos categorías con mayor valor (“Muy alta” y “Óptima”) completamente excluidas (Figura N°25). Esto significa que, aquellas áreas en donde existe la posibilidad de encontrar el mejor desarrollo de la comunidad de hongos en el bosque esclerófilo, no presentan conservación alguna por el SNASPE, poniendo en riesgo la conservación y preservación de esta.

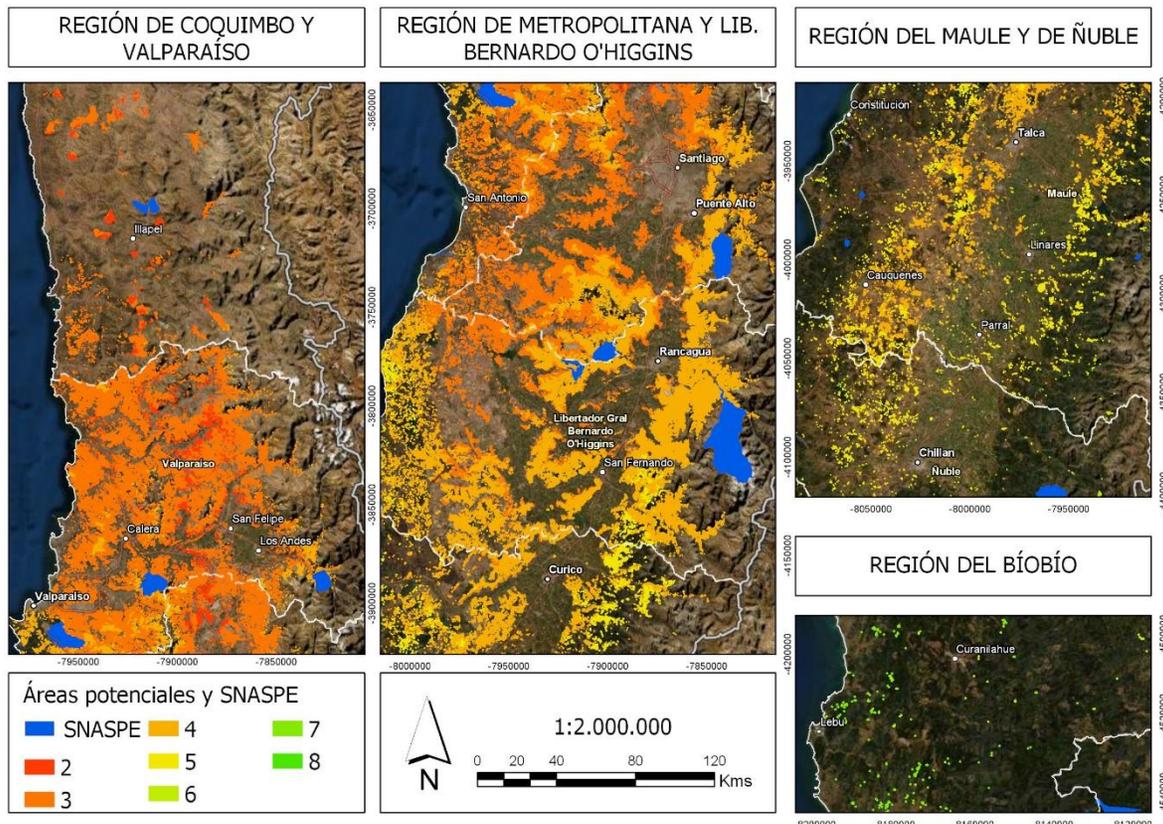


Figura N°25: Áreas potenciales para la conservación de la comunidad de hongos del bosque esclerófilo y SNASPE.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

DISCUSIÓN

A pesar de existir en los hongos tres grupos tróficos que pueden ser identificados en todo el mundo, por lo general la bibliografía existente son propias de investigaciones realizadas en y por gente del hemisferio norte, existiendo un número limitado para los ecosistemas propios de América Latina. Sumado a esto, la mayor cantidad de investigaciones realizadas en Chile ocurren en los bosques templados del sur, en donde las condiciones ambientales permiten un mejor reconocimiento, observación y análisis de las especies presentes en esos ecosistemas. Esto conlleva a una escasa cantidad de publicaciones enfocadas en los hongos presentes en los ecosistemas mediterráneos, y más en específico, en el bosque esclerófilo.

Tanto el objetivo de *reconocer la importancia ecosistémica de los hongos* como el de *identificar los servicios ecosistémicos provistos por los hongos*, buscan ser un sustento teórico para la integración de los hongos en la creación de ASP. Si bien en el objetivo de *identificar los servicios ecosistémicos provistos por los hongos* se identifican los principales SSEE, en el caso de integrar a los hongos en las ASP, es necesario que sean las mismas comunidades las que identifiquen estos beneficios y servicios por sobre la comunidad científica (CONAF, 2017). Como se ve en el objetivo de *considerar la integración del Reino Fungi en la creación de Áreas Silvestres Protegidas en Chile*, si se desea considerar a este reino en la creación de ASP que no consideren el manual de CONAF, o si se desea implementar en otros países, se debe revisar y considerar los requerimientos que el organismo, institución o ministerio a cargo exige.

Para el objetivo de *proponer áreas potenciales para la conservación de la comunidad de hongos en el bosque esclerófilo* se pueden utilizar otras metodologías que abarquen las variables utilizadas y aquellas que no fueron consideradas que, según la literatura son el porcentaje de cielo descubierto, el diámetro a la altura del pecho de las especies arbóreas (DAP), el aluminio y el fósforo presente en el suelo (Dibán, 2019). Si se desea realizar un análisis para un grupo trófico en específico, deben revisarse las variables que afectan a cada grupo en particular, como por ejemplo la presencia de helechos, sotobosque y nitrato en hongos saprófitos (Dibán, 2019), la acidificación y encalado en micorrizas (Erland y Taylor, 2002) y la latitud en hongos parásitos (Dibán, 2019). Por otro lado, es necesario considerar que las aproximaciones realizadas sobre la distribución de las áreas potenciales obtenidas son relativas, debido al extenso territorio abarcado, pero que a modo general se cumplen y se grafican en los resultados obtenidos.

Si bien los hongos cumplen con los requisitos para ser considerados como Objetos de Conservación, actualmente las condiciones en Chile no son las ideales para lograrlo. Gran parte de las problemáticas sobre la funga se pueden solucionar con la creación de ASP que los integren desde sus bases hasta sus planes de manejo, pero para lograr esto primero es necesario crear líneas de base que identifiquen a los hongos y sus estados de conservación, así como también educar a la gente sobre la importancia que estos tienen tanto en los ecosistemas como en la sociedad.

Aunque la metodología empleada recoge los principales patrones biogeográficos que condicionan a las comunidades de hongos, es necesario las especies sean identificadas taxonómicamente en terreno, ya que la información de las variables no siempre es precisa ni está actualizada.

Las áreas potenciales aquí consideradas pueden servir además como sustento para la investigación de posibles formaciones fúngicas presentes a lo largo del territorio nacional y que estén relacionadas con las formaciones vegetacionales en las que habitan.

Es muy importante seguir realizando investigaciones sobre el reino de los hongos. La cantidad de estudios que existe en el mundo y en Chile en particular, se contrasta con lo mucho que queda por conocer. Estudiar el estado ecológico, la distribución de especies e inclusive el vínculo social que existe con ellos es vital para poder conservarlos e integrarlos en la concepción de biodiversidad, además de dejar de asociarlos con la muerte como una característica negativa como sucede frecuentemente, sino que por el contrario considerarlos como los que inician, sustentan y terminan con la vida.

Como aclaran Marín et al. (2018), pese a la enorme importancia de la diversidad fúngica en Chile, faltan iniciativas y las condiciones para mejorar el estatus de conservación de la micobiota. Para ello es necesario: 1) mayor investigación de la diversidad de hongos, particularmente en ASP; 2) recopilar y sistematizar los datos ya existentes; 3) mejorar la enseñanza de la micología en el sistema educativo; 4) establecer documentos base como guías de conservación de hongos; y 5) crear iniciativas de difusión y cursos de capacitación, en particular para guardaparques y personal de ASP.

La Geografía por su parte, si desea seguir comprendiendo la relación sociedad-naturaleza, debe integrar a los hongos en sus estudios tanto desde el aspecto humano como físico. A diferencia de las ciencias biológicas, la Geografía tiene la capacidad de integrar el conocimiento de la micología a una escala espacial, logrando identificar la distribución que tienen los hongos en el territorio, lo que significa un aspecto clave en la comprensión de su biogeografía y en su incorporación en las ASP.

Desde la Geografía humana, debe comprender la relación que existe entre las comunidades sociales y las comunidades de hongos y como ésta se ha incorporado en la construcción de territorios; y, desde la Geografía física, se deben aportar las causas y consecuencias de la presencia de las comunidades de hongos respecto a las condiciones de los paisajes naturales. La geografía ambiental debería sobrepasar esta dicotomía entre naturaleza y sociedad a escala de los territorios y adicionar los valores culturales que sustentan la conservación de la biodiversidad, incluyendo la protección de hasta el más pequeño hongo.

CONCLUSIONES

En esta memoria se logró elaborar una propuesta que considera la importancia ecosistémica y social y el aporte de los hongos en la creación de Áreas Silvestres Protegidas en Chile y su potencial aporte en la conservación del bosque esclerófilo.

En primer lugar, se reconoció la importancia ecosistémica que tienen los hongos, identificando cómo se relacionan con los diferentes reinos presentes en los ecosistemas, comprendiendo así los roles que cumplen los hongos micorrícicos, saprófitos, parásitos y líquenes.

Por otra parte, se identificaron los SSEE que proveen los hongos al ser humano, pudiendo clasificarlos en las cuatro categorías propuestas por Camacho y Ruiz (2011).

Gracias a estos dos objetivos que identifican la importancia ambiental y social del reino Fungi, fue posible considerarlos en la creación de ASP en Chile y así integrarlos en la conservación de la biodiversidad.

Comprendiendo la vital importancia que cumplen los hongos en todos los ecosistemas, fue posible proponer áreas potenciales que busquen conservar a los hongos presentes en el bosque esclerófilo. Es importante destacar que esta metodología permite, gracias a las variables seleccionadas, la obtención de áreas potenciales para la conservación de hongos en todas las formaciones vegetacionales existentes. Si bien se obtuvieron resultados positivos, se evidenció una limitante en las variables a utilizar, ya que no todas se encuentran disponibles para su análisis espacial en *ArcGis* o no presentan una resolución espacial adecuada para su utilización. De esta manera, variables como el sodio y el calcio fueron descartadas por presentar resoluciones de 8 km² por píxel, valores abruptamente mayores a los 250 m² por píxel considerados en esta metodología. Esto a su vez condiciona que sean pocas las variables que determinan la distribución espacial de las áreas potenciales, las que se vieron condicionadas por la latitud y la altitud principalmente.

Como conclusión final, es fundamental considerar que se logró integrar la micología y la biogeografía de hongos en los estudios geográficos ambientales y de conservación de la biodiversidad, lo que se traduce en un nuevo campo de investigación y en una ampliación en la comprensión del concepto de biodiversidad. Pero para ello es vital destacar la importancia de otros micólogos en la educación que imparten al respecto, ya que son ellos los que han tenido la iniciativa propia de compartir este conocimiento y de que sea cada vez más considerado en las temáticas ambientales.

RECOMENDACIONES

En primer lugar, es imperante poder sistematizar la información existente sobre los hongos presentes en Chile y en la zona central mediterránea en específico, tanto desde el punto de vista ecosistémico como social.

En el caso del bosque esclerófilo en específico, las presiones antrópicas que existen sobre el mismo, sumado a los prolongados períodos de sequía y altas temperaturas, vienen a agudizar las condiciones óptimas en las que las comunidades de hongos pueden habitar, por lo que es estrictamente necesario que las ASP ya existentes integren a los hongos en sus planes de manejo para contrarrestar los efectos de degradación de ecosistemas, y que se priorice conservar las áreas potenciales propuestas en esta memoria. Un gran factor en la resistencia del bosque esclerófilo frente a prolongadas sequías y altas temperaturas son los mismos hongos, por lo que proteger la comunidad fúngica que vive en el mismo bosque es indispensable para su conservación.

Mediante el uso de la metodología utilizada en el objetivo de *proponer áreas potenciales para la conservación de la comunidad de hongos en el bosque esclerófilo*, es posible identificar el impacto temporal que tiene el cambio climático en estas áreas, ya que las variables de precipitación anual y estacional, temperatura máxima del mes más cálido y salud de las plantas (índice NDVI) se ven considerablemente alteradas por los efectos del cambio climático.

Y, por último, la Geografía debe integrar a los hongos en su currículum académico a nivel general, y en específico en materias ambientales. Los hongos son símbolos de la cooperación de la vida, y a pesar de que recién en 2018 se reconoció a la disciplina de Micología de la Conservación y se delimitó el término “Funga”, es momento de que se comiencen a considerar las “3 F” a la hora de hablar de biodiversidad: Flora, Fauna y Funga.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcántara, M. (2010). *La importancia de los hongos*. Madrid: Revista El Ecologista n°66.
- Altamirano, T. (2008). *Restauración de los sistemas naturales mediterráneos en Chile*. Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Agenda País (2018). Cómo Empedrado renace desde las cenizas gracias al tradicional cultivo de hongos. Recuperado el 29 de abril de 2021 en: <https://www.opia.cl/601/w3-article-91796.html>
- Aguilar, S., Pérez, J., Ferrera, R., Grimaldo, O., Cervantes, L. y González, D. (2009). *Hongos ectomicorrícicos y la tolerancia a la salinidad en plantas*. Santiago de Chile: Revista Chilena de Historia Natural.
- Andrade-Torres, A. (2010). *Micorrizas: antigua interacción entre plantas y hongos (p. 90)*. Ciudad de México: Revista Ciencia.
- Angelini, C. (21 de octubre de 2020). *Conversatorio Hongos indicadores en la salud del bosque* [Discurso principal]. Festival LatinHongo, Chile.
- Asturnatura (2021). *Género Hygrocybe*. Recuperado el 13 de abril de 2021 en: <https://www.asturnatura.com/genero/hygrocybe.html>
- Barbieri, A. (2020). *Cómo salvarán los hongos al mundo*. París: Nobbot.
- Barnby, J. y Mehta, A. (2018). *Psilocybin and mental health – Don't lose control*. Ontario: Centre for Addiction and Mental Health.
- Benedetti, S., Balocchi, F., Hormazábal, M. (2018). *Hongos micorrícicos arbusculares (HMA) asociados a poblaciones naturales de Peumus Boldus en Chile central*. Concepción: Gayana Botánica.
- Camacho, V. y Ruiz, A. (2011). *Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos*. Tepic: Revista Biociencias.
- Cano, A. y Romero, L. (2016). *Valor económico, nutricional y medicinal de hongos comestibles silvestres*. Santiago de Chile: Revista Chilena de Nutrición.
- Carrillo, J. (2011). *El monstruoso hongo de miel de Oregón es el organismo vivo más grande del mundo*. Ciudad de México: Pijama Surf.
- Carton, P., Bocco, G., Córdova, A. y Winkler, A. (2011). *La conservación de la biodiversidad. Un campo de integración para la geografía*. Caracas: Interciencia.

- CestaySetas (2015). *Parque Micológico de Ultzama (Navarra)*. Recuperado el 29 de abril de 2021 en: <https://www.cestaysetas.com/parque-micologico-de-ultzama-navarra/>
- Chávez, H., González, M., Hernández, P. (2014). *Metodologías para identificar áreas prioritarias para conservación de ecosistemas naturales* (p. 20). Ciudad de México: Revista Mexicana de Ciencias Forestales.
- Chilecientífico (2020). *Al Reino Fungi, lo que le corresponde*. Santiago de Chile: Chilecientífico.
- Cockle, K., Bodrati, A. y Robledo, G. (2013). *Hongos y aves: Una relación más estrecha de lo que creemos* (p. 36). Buenos Aires: Revista Aves Argentinas.
- CONAF (2017). *Manual para la Planificación de las Áreas Protegidas del SNASPE* (p. 47, p. 182). Santiago de Chile: CONAF.
- Cornejo, P. (2006). *Influencia de la cobertura vegetal sobre la diversidad y estructura de las comunidades de hongos micorrícicos y sus efectos en la estabilización de suelos degradados* (p. 31, p. 49). Granada: Universidad de Granada.
- de Miguel, S. (2019). *Por qué las setas son indispensables para conservar el planeta*. Recuperado el 11 de agosto de 2020 en: https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/por-que-setas-son-indispensables-para-conservar-planeta_14912
- Dibán, M. (3 de julio de 2020). *Conversando sobre la Precordillera: María José Dibán y Patricia Silva-Flores* [Discurso principal]. RENAMU La Reina, Santiago de Chile.
- Donoso, C. (1982). *Reseña ecológica de los bosques templados de Chile*. Valdivia: Universidad Austral de Chile.
- Dueñas, N. (22 de octubre de 2020). *Micotectura: Construir con micelio* [Discurso principal]. Festival Latinhongo, Chile.
- Erland, S., & Taylor, A.F. (2002). *Diversity of Ecto-mycorrhizal Fungal Communities in Relation to the Abiotic Environment*. Basingstoke: Ecological Studies.
- Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales (2018). *Desarrollarán métodos para el control de especie invasora aroma*. Valdivia: Universidad Austral de Chile.
- Faggioli, V. y Symanzcik, S. (2018). *Servicios eco-sistémicos provistos por hongos formadores de micorrizas y efecto de las prácticas de manejo en cultivos de base agroecológica* (p. 94). Buenos Aires: Ediciones INTA.

- Figueroa, E. (2015). *Áreas Protegidas, Bienestar social y fuentes de oportunidades para los chilenos*. Santiago de Chile: Kauyeken.
- Fletes, A. (25 de octubre de 2020). *Historia e importancia del género Psilocybe*. Festival Latinhongo, Chile.
- Fontúrbel, F. (2004). *Conservación de ecosistemas: Un nuevo paradigma en la conservación de la biodiversidad*. Bahía Blanca: Laboratorio de Plantas Vasculares.
- Fungipedia (S.F.). *Morchella esculenta*. Recuperado el 6 de mayo de 2021 en: <https://www.fungipedia.org/hongos/morchella-esculenta.html#:~:text=Caracter%C3%ADsticas%3A,sin%20seguir%20una%20pauta%20concreta>.
- Furci, G. (2008). *Diversidad de especies: Hongos*. En CONAMA (2008), *Biodiversidad de Chile, Patrimonio y Desafíos*. Santiago de Chile: Ocho Libros Editores.
- Furci, G. (2007). *Fungi Austral: Guía de campo de los hongos más vistosos de Chile*. Concepción: CORMA.
- Furci, G. (24 de octubre de 2020). *Funga de Chile: Historias que nos cuenta* [Discurso principal]. Festival Latinhongo, Chile.
- Furci, G. (15 de diciembre de 2020). *Giuliana Furci en Congreso Futuro* [Discurso principal]. Congreso Futuro, Chile.
- Ganuza, A. y Almendros, G. (2003). *Organic carbon storage in soils of the Basque Country (Spain): the effect of climate, vegetation type and edaphic variables*. Londres: Biology and fertility of soils.
- García, I. (2005). *Los hongos: otros recursos del bosque y su interés de conservación*. Santiago de Compostela: IBADER.
- González, R. (2020). *Estimación de la distribución potencial actual de las especies de hongos silvestres comestibles (Butyriboletus loyo, Ramaria sp., Cyttaria espinosae y Grifolia gargal) en la Región de los Ríos, con énfasis en la comuna de Panguipulli*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Goyes, P. (22 de octubre de 2020). *Micorremediación: Hongos reparando nuestros errores* [Discurso principal]. Festival Latinhongo, Chile.
- Gygli, B. (2020). *La importancia de la vida en el suelo*. Santiago de Chile: Revista Endémico.

- Heredia, G. (2020). *La importancia de los hongos (Fungi) en los servicios ecosistémicos*. Mérida: Revista Bioagrocencias.
- Herrera, H., Valadares, R., Contreras, D., Bashan, Y., Arriagada, C. (2016). *Mycorrhizal compatibility and symbiotic seed germination of orchids from the Coastal Range and Andes in south central Chile*. Berlín: Revista Mycorrhiza n°27.
- Hifas da Terra (S.F.). *Cola de pavo*. Recuperado el 6 de mayo de 2021 en: <https://hifasdaterra.com/blog/hongos/cola-de-pavo-coriolus-versicolor/>
- Honrubia, M. (2009). *Las micorrizas: una relación planta-hongo que dura más de 400 millones de años*. Madrid: Anales del Jardín Botánico de Madrid.
- Hughes, R. (1868). *A manual of Pharmacodynamics*. Michigan: University of Michigan.
- Iberdrola (2021). *¿Conoces los 5 reinos de los seres vivos?* Bilbao: Iberdrola.
- Jorquera-Jaramillo, C., Alonso, A., Aburto, J., Martínez-Tillería, K., León, M., Pérez, M., Gaymer, C. y Squeo, F. (2012). *Conservación de la biodiversidad en Chile: Nuevos desafíos y oportunidades en ecosistemas terrestres y marinos costeros*. Santiago de Chile: Revista Chilena de Historia Natural.
- Laterra, P., Jobbágy, E. y Paruelo, J. (2011). *Valoración de servicios ecosistémicos: Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial (p. 45)*. Buenos Aires: Ediciones INTA.
- Lazo, W. (2016). *Hongos de Chile: Atlas micológico*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Ledezma, L. (22 de septiembre de 2020). *Conversatorio Conservación ambiental de hongos en Costa Rica* [Discurso principal]. Semana de las Ciencias Biológicas 2020, Costa Rica.
- Luebert, F. y Pliscoff, P. (2006). *Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria.
- Marín, C. (2018). *Conceptos fundamentales en ecología de hongos del suelo: Una propuesta pedagógica y de divulgación (p. 46)*. Valdivia: Universidad Austral de Chile.
- Marín, C., Valenzuela, E., Godoy, R., Palfner, G. (2018). *Diversity and growth-effects of ectomycorrhizal fungi of a Nothofagus pumilio forest in the Andes of Southern Chile*. Valparaíso: Boletín Micológico.

- Marín, C., Aguilera, P., Oehl, F., Godoy, R. (2017). *Factors affecting arbuscular mycorrhizal fungi of Chilean temperate rainforests*. Temuco: Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal.
- Marín, M., Castelán, R. y Ramos, M. (2014). *Los hongos: Entre la magia y la ciencia (p. 18)*. Puebla: Revista Elementos.
- Marín, C., Torres, D., Furci, G., Godoy, R. y Palfner, G. (2018). *Estado del arte de la conservación del reino Fungi en Chile*. Santiago de Chile: CONAF.
- Martínez, E., Flores, J., Poblete, V., Vita, A., Retamal, M. y Moya, I. (2011). *Sistematización de información para el diagnóstico del estado actual del bosque esclerófilo*. Santiago de Chile: Centro de Información de Recursos Naturales.
- Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. Washington: Instituto de Recursos Mundiales.
- Ministerio del Medio Ambiente (2015). *Las áreas protegidas de Chile*. Santiago de Chile: División de Recursos Naturales y Biodiversidad.
- Montoya, A. (25 de octubre de 2020). *Importancia cultural de los hongos silvestres*. Festival Latinhongo, Chile.
- Moreira, A. (1996). *Los Sistemas de Información Geográfica y sus aplicaciones en la conservación de la diversidad biológica*. Santiago de Chile: Ambiente y Desarrollo.
- Motta, P. y Murcia, B. (2011). *Hongos entomopatógenos como alternativa para el control biológico de plagas (p. 84)*. Taubaté: Universidade de Taubaté.
- Saez, M., Cisternas, M., Manzano, M., Armesto, M. y Pérez, J. (2016). *Relationship between soil nutrients and mycorrhizal associations of two *Bipinnula* species (Orchidaceae) from central Chile*. Oxford: Annals of Botany.
- Ortiz-Álvarez, R., Fierer, N., de los Ríos, A., Casamayor, E. y Barberán, A. (2018). *Consistent changes in the taxonomic structure and functional attributes of bacterial communities during primary succession*. Waterloo: Revista ISME.
- Parque Micológico Erro-Roncesvalles (2021). *El proyecto*. Recuperado el 29 de abril de 2021 en: <https://www.parquemicologicoerro.com/el-parque/el-proyecto/>
- Piepenbring, M., López, F. y Cáceres, O. (2016). *La importancia de los hongos en los ecosistemas (p. 61, p. 62, p. 65, p. 66, p. 68)*. David: Universidad Autónoma de Chiriquí.

- Pino, K. (2018). *Metropolización sobre zonas costeras: Criterios de ordenamiento para la conservación de los sistemas ambientales*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Pliscoff, P. (2015). *Áreas Protegidas como guardianas de la biodiversidad*. Santiago de Chile: Kauyeken.
- Pliscoff, P. y Fuentes, T. (2008). *Análisis de Representatividad Ecosistémica de las Áreas Protegidas Públicas y Privadas en Chile*. Santiago de Chile: GEF-SNAP.
- Pliscoff, P. y Luebert, F. (2006). *Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria.
- Quintanilla, V., Cadiñanos, J., Latasa, I., Lozano, P. (2012). *Aproximación biogeográfica a los bosques de la zona mediterránea de Chile: Caracterización e inventario*. Sevilla: Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles.
- Quiñonez, M. y Garza, F. (2018). *Comunidades vegetales en suelos de ecosistema semiárido y su relación con hongos micorrízicos*. Juárez: Universidad Autónoma Ciudad de Juárez.
- Revista Cáñamo (2019). *Madre Micelio: relevando el valor de los hongos en Chile*. Santiago de Chile: Revista Cáñamo.
- Roa, M. y Bonacic, C. (2009). *Guía para la conservación de la biodiversidad: Calera de Tango, Reserva de Vida (p. 4)*. Calera de Tango: Ilustre Municipalidad de Calera de Tango.
- Rodríguez, J. y Quirce, C. (2012). *Las plantas y los hongos alucinógenos: reflexiones preliminares sobre su rol en la evolución humana (p. 11, p. 26)*. San José: Universidad de Costa Rica.
- Romero, B. y Landeros, N. (2020). *Desafíos en la conservación de hongos en el sur de Chile [Discurso principal]*. Temuco: Mycological Foundation.
- Rozzi, R., Armesto, J. y Figueroa, J. (1994). *Biodiversidad y conservación de los bosques nativos de Chile: Una aproximación jerárquica*. Santiago de Chile: Laboratorio de Sistemática y Ecología Vegetal.
- Sánchez, R. (2015). *Hongos superiores como fuente de salud*. Madrid: Universidad Complutense.
- Sánchez, L., Soto, D., Torres, M., Moldenhauer, L., Solís, M., Ojeda, J., Rosas, B., Salazar, V. y Truong, C. (2017). *Hongusto, innovación social en torno a los hongos silvestres y cultivados en Aysén*. Punta Arenas: Universidad de Magallanes.

- Schwartzberg, L., Lyn, L. y Lui, E. (productores), Schwartzberg, L. (director) (2019). *Fantastic Fungi [Documental]*. Estados Unidos: Moving Art.
- Silva-Flores, P. (2018). *Factores que determinan la comunidad de hongos micorrícicos arbusculares del bosque esclerófilo en Chile central mediterráneo*. Concepción: Universidad de Concepción.
- Silva-Flores, P. (3 de julio de 2020). *Conversando sobre la Precordillera: María José Dibán y Patricia Silva-Flores [Discurso principal]*. RENAMU La Reina, Santiago de Chile.
- Simonetti-Grez, G., Simonetti, J. y Espinoza, G. (2015). *Conservando el patrimonio natural de Chile: El aporte de las Áreas Protegidas: Prólogo*. Santiago de Chile: Kauyeken.
- Tedersoo, L., Bahram, M., Polme, S., Koljalg, U., Yorou, N., Wijesundera, R., Villarreal, L., Vasco-Palacios, A., Thu, P., Suija, A., Smith, M., Sharp, C., Saluveer, E., Saitta, E., Rosas, M., Riit, T., Ratkowsky, D., Pritsch, K., Poldmaa, K., ... Abarenkov, A. (2014). *Global diversity and geography of soil fungi*. Washington: Science.
- Trigos, A. (23 de octubre de 2020). *Compuestos bioactivos de los hongos con interés medicinal [Discurso principal]*. Latinhongo, Chile.
- Troncoso, S., Casanova-Katny, A., Marín, C., Palfner, G. (2020). *Nuevos registros de hongos desertícolas en los Parques Nacionales Nevado Tres Cruces y Pan de Azúcar, Región de Atacama, Chile*. Concepción: Gayana Botánica.
- Vásquez, A. (2016). *Infraestructura verde, servicios ecosistémicos y sus aportes para enfrentar el cambio climático en ciudades: el caso del corredor ribereño del río Mapocho en Santiago de Chile*. Santiago de Chile: Revista de Geografía Norte Grande.
- Whittaker, R., Araújo, M., Jepson, P., Ladle, R., Watson, J. y Willis, K. (2005). *Conservation biogeography: assessment and prospect (p. 4)*. Diversity and Distributions.
- Zamora-Martínez, M., González, A., Islas, F., Cortés, E., López, L. (2003). *Distribución geográfica y ecológica de 13 especies de hongos comestibles en Oaxaca*. Ciudad de México: Revista Mexicana de Ciencias Forestales.

ANEXOS

Nombre:	Fecha:
1. ¿Por qué es importante conservar hongos?	
2. ¿Por qué se debe considerar al Reino Fungi en la creación de Áreas Protegidas?	
3. Comprendiendo a un objeto de conservación como “aquel o aquellos elementos que se buscan conservar en un área protegida, que pueden ir desde elementos humanos como restos arqueológicos, hasta elementos de la naturaleza no humana como una especie, un género o el agua”, ¿Se puede considerar a los hongos como un objeto de conservación?	
4. ¿Qué especies de hongos pueden ser especies paraguas de otras especies propias del mismo ecosistema?	
5. ¿Qué medidas se deberían considerar para garantizar la conservación de los hongos?	
6. ¿Qué especies de hongos deberían considerarse como objetos de conservación para la creación de un área protegida que considere al bosque esclerófilo?	

Anexo N°1: Pauta de entrevista.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Especie de Hongo	Nombre popular	Efecto medicinal	Compuestos bioactivos
<i>Agaricus bisporus</i>	Champiñón	Antioxidante	Compuestos fenólicos Flavonoides β- Carotenos
<i>Boletus edulis</i>	Panadero, Cemita, Pancita.	Antioxidante	Compuestos fenólicos Flavonoides β- Carotenos
<i>Pleurotus spp.</i>	Seta	Antiviral Antibiótica	----- Polisacaridos
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Hongo ostra, oreja blanca.	Antioxidante Antibiótico Antibacterial Antitumoral	Compuestos fenólicos Flavonoides β- Carotenos Polisacaridos β-D-Glucano Glicopeptidos
<i>Lactarius deliciosus</i>	Enchilado	Antibacterial	sequiterpenos
<i>Lactarius indigo</i>	Enchilados azules, Azulejos, Orejas azules.	Antitumoral Antiinflamatorios	Extractos orgánicos: Terpenoides Polifenoles Extractos orgánicos: Terpenoides Polifenoles
<i>Ramaria Botrytis</i>	Hongo coral Escobitas.	Antioxidante	Compuestos fenólicos Tocoferol Carotenoides Ácido ascórbico

Anexo N°2: Efecto medicinal y compuestos bioactivos de hongos silvestres comestibles.

Fuente: Cano y Romero, 2016.

	COMPUESTO	ACTIVIDAD	FUENTE
<i>Lentinula edodes</i> (hongo shiitake)	Polisacáridos (β -glucanos) En especial, el lentinano	Antitumoral	Suárez ²⁶ (2010); Zhang et al. ²⁷ (2011); Suárez ²⁸ (2012)
		Antimicrobiana, antiviral y antifúngica	Hearst et al. ²⁹ (2009); Suárez ²⁶ (2010); Pereira et al. ³⁰ (2011); Rinçao et al. ³¹ (2012)
		Inmunomoduladora	Suárez ²⁶ (2010); Suárez ²⁸ (2012); Xu et al. ³² (2012)
	Estatinas	Hipolipidémica	Suárez ²⁸ (2012)
	Eritadenina	Hipolipidémica	Enman ³³ (2008); Suárez ²⁵ (2010)
<i>Grifola frondosa</i> (hongo maitake)	Polisacáridos (β -glucanos)	Antitumoral	Kodama et al. ³⁴ (2002); Illana-Esteban ³⁵ (2008); Deng et al. ³⁶ (2009); Llaurodo et al. ³⁷ (2012)
		Antioxidante	Lee et al. ³⁸ (2003); Chen et al. ³⁹ (2012)
		Cicatrizante	Lee et al. ³⁸ (2003); Illana-Esteban ³⁵ (2008)
	Glicoproteína extraída	Antihipertensiva e hipolipemiante	Illana-Esteban ³⁵ (2008)
<i>Ganoderma lucidum</i> (hongo reishi)	Polisacáridos	Inmunomoduladora	Shao et al. ⁴⁰ (2004); Zhu et al. ⁴¹ (2007); Bishop et al. ²⁵ (2015)
		Antioxidante	Cao ⁴² (2002); Xiaoping et al. ⁴³ (2009)
	Triterpenoides	Antitumoral	Cheng et al. ⁴⁴ (2010); Bishop et al. ²⁵ (2015)
		Neuroprotector	Bishop et al. ²⁵ (2015)
		Anti-HIV	Bishop et al. ²⁵ (2015)
		Antidiabética	Ma et al. ⁴⁵ (2015)
<i>Cordyceps sinensis</i>	Polisacáridos	Antioxidante	Li et al. ⁴⁶ (2001); Shashidhar et al. ²⁴ (2013); Yan et al. ⁴⁷ (2014)
		Inmunomoduladora	Jordan et al. ⁴⁸ (2008); Shashidhar et al. ²⁴ (2013); Yan et al. ⁴⁷ (2014)
		Antitumoral	Shashidhar et al. ²⁴ (2013); Yan et al. ⁴⁷ (2014); Yao et al. ⁴⁹ (2014)
		Antidiabética	Shashidhar et al. ²⁴ (2013); Yan et al. ⁴⁷ (2014)
	Proteínas	Antiinflamatoria	Yang et al. ⁵⁰ (2011); Shashidhar et al. ²⁴ (2013)
		Antimicrobiana	Zheng et al. ⁵¹ (2006); Shashidhar et al. ²⁴ (2013)
<i>Poria cocos</i>	Polisacáridos	Antioxidante	Tang et al. ⁵² (2014); Sun ⁵³ (2014)
		Antitumoral	Huang et al. ⁵⁴ (2007); Sun ⁵³ (2014)
		Inmunomoduladora	Lu et al. ⁵⁵ (2010); Jeong et al. ⁵⁶ (2014)

Anexo N°3: Compuestos químicos de hongos formadores de setas con actividad farmacológica.

Fuente: Sánchez, 2015.

Objetos de Filtro Grueso			Objetos de Filtro Fino			
Vegetación Esclerófila	Estepa de Altura	Glaciar y Red Hidrobiológica	Ciprés de la Cordillera	Guamaco	Loro Tricahue	Carnívoros
Objetos agrupados	Objetos agrupados	Objetos agrupados				Objetos agrupados
Güiña	Vizcacha	Pato cortacorrientes				Puma
Quique	Lagartija oscura	Piuquén				Gato colocolo
Zorro culpeo	Culebra de cola larga	Alsodes tumultuosus				Zorro culpeo
Cururo	Culebra de cola corta	Sapo arriero				Quique
Ratón topo del matorral	Iguana chilena	Alsodes montanus				Chingue
Torcaza	Frangél	Sapo de cuatro ojos				
Concón		Sapo de rulo				
Rana chilena		Rana chilena				
Lagartija lemniscata		Bagre chico				
Lagartija nítida		Pejerrey chileno				
Culebra de cola larga						
Culebra de cola corta						
Iguana chilena						
Guayacán						
Frangél						

Anexo N°4: Ejemplo de selección de OCB para el plan de manejo de la Reserva Río de Los Cipreses.

Fuente: CONAF, 2017.