

Impactos de los incendios forestales de magnitud en áreas silvestres protegidas de Chile Central

Impacts of severe wildfires in the protected wilderness areas of central Chile

Jorge Faúndez Pinilla ^{*,*}, Miguel Castillo Soto ^b, Rafael M Navarro Cerrillo ^c

* Autor de correspondencia: ^a Corporación Nacional Forestal (CONAF), Santiago, Chile, jorge.faundez@conaf.cl

^b Universidad de Chile, Laboratorio de Incendios Forestales, Santiago, Chile.

^c Universidad de Córdoba, Departamento de Ingeniería Forestal, Córdoba, España.

SUMMARY

The natural heritage and ecological processes of protected wilderness areas (ASP) are constantly threatened by a variety of factors, including wildfires. This study seeks to evaluate the impacts of large wildfires (IFM, ≥ 200 ha) in the ASPs of central Chile over the last 20 years (2000 - 2020), by identifying and characterizing the affected areas as well as the damages caused. To identify the affected sectors, burned areas were mapped using historical records along with remote sensing tools. The maps of burned areas allowed for the identification of 35 large wildfires that have impacted the ASPs of central Chile, including 17 SNASPE units and Nature Sanctuaries. The origin of most wildfires was located outside of the administrative limits of the ASPs and began in native forests and plantations. Regarding the main damages caused, 16 ecosystem types were affected by IFMs, 12 of which were under a significant level of risk. Additionally, considering the effects on water quality, an average of 21.2 ha of affected riparian vegetation was recorded per year, while 15 units recorded damage to soil conservation. Regarding CO₂ emissions, an average of 10,389 tCO₂ per year were released into the atmosphere. Finally, the results led to four different guideline recommendations for managing and preserving these areas, which focused on reducing occurrences, preventing large wildfires, and post-fire management in the ASPs.

Keywords: large wildfires, protected areas, central Chile, mapping burned areas, Normalized Burn Ratio.

RESUMEN

El patrimonio natural y los procesos ecológicos que albergan las áreas silvestres protegidas (ASP) se ven constantemente amenazadas por los incendios forestales. En el presente estudio se evaluaron los impactos de incendios forestales de magnitud (IFM, ≥ 200 ha) en áreas silvestres protegidas de Chile central entre los años 2000 y 2020, mediante la identificación y caracterización de las áreas afectadas junto con los daños causados. Como primera etapa se elaboró una cartografía del área quemada a partir de registros históricos de incendios junto con la aplicación de herramientas de teledetección. La cartografía del área quemada permitió identificar 35 grandes incendios con afectación a las áreas silvestres protegidas, los que a su vez afectaron 17 unidades del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado y Santuarios de la Naturaleza. La mayor parte de estos siniestros se inició fuera de los límites administrativos de estas áreas y tuvieron inicio en formaciones de bosque nativo y de plantaciones. En relación con los daños y efectos causados, 16 tipos de ecosistemas fueron afectados por incendios, de los cuales 12 se encuentran bajo un nivel de riesgo importante para su conservación. Adicionalmente, se registró un total de 21,2 ha promedio al año de vegetación ribereña afectada, mientras que 15 unidades registraron daños a la conservación de suelos. Para las emisiones de CO₂, se registró un total de 10.389 tCO₂ promedio al año liberados a la atmósfera. Finalmente, los resultados permitieron proponer cuatro directrices para el manejo y conservación de estas áreas, las cuales se enfocaron en la reducción de ocurrencias, prevención y manejo post incendios forestales.

Palabras clave: incendios forestales de magnitud, áreas silvestres protegidas, zona central de Chile, cartografía del área quemada, Normalizado de Área Quemada.

INTRODUCCIÓN

Las áreas silvestres protegidas (ASP) son reconocidas como el principal instrumento de conservación in situ de la biodiversidad del planeta. Ellas están destinadas a man-

tener ecosistemas naturales, actuar como refugios para biodiversidad y mantener procesos ecológicos incapaces de sobrevivir en los entornos terrestres y marítimos con un mayor nivel de intervención (PNUD 2015). El patrimonio natural y los distintos procesos que albergan las

áreas silvestres se ven constantemente amenazados por las actividades humanas, siendo una de estas amenazas los incendios forestales, los cuales corresponden a perturbaciones naturales o antrópicos frecuentes en la mayoría de los ecosistemas de Chile. Estas perturbaciones han generado profundos efectos regresivos en su biodiversidad, siendo reconocidos como uno de los principales impulsores de cambio en los ecosistemas terrestres que pueden provocar la pérdida, degradación y fragmentación de estos sistemas naturales (MMA 2016).

En Chile, la presencia de ecosistemas de tipo mediterráneo, asociado a una marcada estacionalidad y a la incidencia del factor humano, crean las condiciones necesarias para el inicio y la propagación del fuego, que en los últimos años ha ocasionado cuantiosos daños materiales (Castillo 2012). Adicionalmente, los efectos del cambio climático se han comenzado a evidenciar durante el último tiempo a nivel local, lo cual se ha manifestado en una relación entre las variaciones en el clima durante el último periodo y un aumento en el daño a causa de los incendios forestales. Lo anterior ha contribuido a generar condiciones para el comportamiento extremo de los incendios, a lo que se suma un mayor estrés hídrico en la vegetación, altas velocidades de propagación y una mayor resistencia al control, traduciéndose en una mayor probabilidad de generación de grandes incendios.

De acuerdo con las estadísticas de ocurrencia y daño por incendios forestales en Chile, en el quinquenio 2016-2020 se afectó una superficie de 834.204 ha (CONAF 2020), donde solo la temporada 2016-2017 cerca del 95 % de la superficie afectada corresponde a incendios forestales de magnitud, los cuales han sido definidos como aquel incendio de 200 hectáreas o más de afectación, sustentada esta segmentación en la experiencia empírica del impacto sobre el medio ambiente que estos tienen y la carga de trabajo que requieren para su control (Haltenhoff 2010). Estos grandes incendios tienen efectos a nivel económico, social y ambiental (Úbeda y Francos 2018). Estos son una fuente de emisiones significativas de gases a la atmósfera (Balde y Vega-García 2019) y en ocasiones responsables de procesos de erosión en cuencas hidrográficas (Salis *et al.* 2019).

Dentro de las macrozonas del país, la zona central es una de las que ha sufrido los mayores cambios a causa de los incendios forestales, siendo el paisaje vegetal nativo uno de los cuales claramente ha experimentado cambios regresivos en cuanto a su extensión, forma y riqueza (Castillo *et al.* 2012). Las cifras de ocurrencia y daño por incendios antes señaladas, generan especial preocupación para esta zona, la cual tiene un alto valor ecológico ya que alberga los ecosistemas mediterráneos, considerados como *hotspots* mundiales de biodiversidad (Marquet *et al.* 2019). Sumado a la amenaza de los incendios para la conservación de los ecosistemas mediterráneos, otro factor a considerar es la baja cobertura y representatividad del SNASPE sobre esta zona del país (Pauchard y Villarroel 2002).

En relación con los incendios forestales al interior de las ASP, estos han sido descritos como una amenaza para la conservación de la biodiversidad (CONAF 2017). Sin embargo, a pesar de que se reconozca a los incendios como uno de los principales factores que amenazan la conservación de la biodiversidad dentro de las ASP de Chile, son pocos los estudios y/o información histórica publicada sobre este fenómeno al interior de estas áreas. Asimismo, esta falta de estudios a nivel local conlleva a un desconocimiento del fuego como un factor que también podría tener efectos positivos para la conservación de la biodiversidad en algunos ecosistemas. Tras todo lo descrito anteriormente es posible advertir que los incendios forestales son una amenaza importante para la conservación de las ASP; sin embargo, es un fenómeno poco estudiado en nuestro país, existiendo una escasez de estudios relacionados a incendios al interior de estas áreas y poca claridad de los efectos y pérdidas a causa de este fenómeno.

Esta carencia de información conlleva a una desvalorización del patrimonio natural que finalmente se traduce en un escaso presupuesto destinado al manejo que permita disminuir la incidencia de los incendios en estas áreas. El carecer de información precisa relacionada a incendios forestales, específicamente información histórica de áreas afectadas, reiteración, área recorrida por el fuego y efectos del fuego, entre otras, dificulta la evaluación y gestión del territorio.

Adicionalmente, el conocer y comprender plenamente las implicancias de los incendios forestales permite, entre otras cosas, ayudar a los encargados de las tomas de decisiones a desarrollar una comprensión más integral del impacto de los incendios y, por lo tanto, conocer los beneficios de reducir la incidencia de estos (Lee *et al.* 2015). Por todo lo señalado anteriormente, se hace necesario profundizar en la generación y el análisis de la información histórica asociada a este fenómeno en las ASP, comenzando por la identificación de los sectores afectados y de la cartografía de incendios que hayan afectado estas áreas, la frecuencia de este tipo de fenómenos dentro y en los alrededores de estas áreas, la identificación del origen y causa de los incendios, para así poder contar con información precisa que contribuya en estudios y trabajos enfocados en conocer el régimen natural de incendios en áreas protegidas y planificar así su gestión integral. De la misma manera es necesario generar información que permita tener un acercamiento a los daños y efectos que ha causado este tipo de siniestros y así aportar al conocimiento integral del impacto causado por los incendios con el propósito de ejercer presión para aumentar las actividades de prevención y control de incendios que afectan las ASP.

Este trabajo tuvo como objetivo contribuir al conocimiento sobre los incendios forestales de magnitud en áreas silvestres protegidas de Chile, siendo el objetivo principal evaluar espacial y temporalmente (en un periodo de 20 años) el impacto de incendios forestales de magnitud desde el punto de vista de la presencia, la magnitud y los impactos

producidos sobre las áreas silvestres protegidas en Chile Central, a través de: a) la identificación y caracterización de las áreas afectadas por incendios forestales de magnitud; junto con b) la identificación de los daños y efectos causados por este fenómeno al interior y en áreas colindantes a las áreas silvestres protegidas de Chile Central.

MÉTODOS

Área de estudio. El estudio se realizó en la zona central de Chile, lo cual incluye las regiones V de Valparaíso, XIII Metropolitana de Santiago, VI del Libertador General Bernardo O'Higgins y VII del Maule (área total: 78.088 km²), para los incendios forestales de magnitud (IFM) que han afectado a las áreas silvestres que forman parte del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) junto con las áreas protegidas catalogadas como Santuarios de la Naturaleza. Donde las unidades del SNASPE se encuentran bajo protección permanente por personal calificado de la CONAF, mientras que los Santuarios de la Naturaleza no cuentan con la totalidad de sus unidades bajo un sistema de protección organizado.

Dentro de las principales formaciones vegetales dominantes en el área de estudio se encuentran el bosque y el matorral esclerófilo con estructuras densas a semidensas (CONAF-CONAMA-BIRF 1997), y cuyas especies dominantes corresponden a *Cryptocarya alba* (Molina) Looser, *Peumus boldus* Molina, *Quillaja saponaria* Moli-

na, *Lithraea caustica* (Molina) Hook. & Arn., *Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser, *Nothofagus macrocarpa* (A. DC.) F.M. Vázquez & R. Rodr., *Ribes punctatum* Ruiz & Pav., *Acacia caven* (Molina) Molina y *Prosopis chilensis* (Molina) Stuntz emend. Burkart., entre otras. En términos específicos, este patrimonio corresponde a 53 ASP y ocupan una superficie total de 224.163 ha, de las cuales 35 corresponden a la categoría Santuarios de la Naturaleza, 3 a la categoría Parques Nacionales, 13 a la categoría Reservas nacionales y 2 a la categoría Monumentos Naturales.

El proceso consistió en 4 etapas (figura 1). La primera consistió en identificar y delimitar los IFM (paso 1), para posteriormente realizar la integración de datos a través del SIG (paso 2), para luego realizar el análisis descriptivo (paso 3), y finalmente identificar los daños y efectos causados (paso 4).

Identificación de IFM. La identificación de los IFM que han afectado a las ASP en Chile central durante los últimos 20 años (desde la temporada de incendios 2000-2001 hasta la temporada de incendios 2019-2020), se realizó a partir de la base de datos de los puntos de inicio de los incendios forestales de la Corporación Nacional Forestal (CONAF). Posteriormente, cada uno de los IFM identificados se ubicaron espacialmente en función de sus coordenadas y se seleccionaron aquellos localizados al interior o colindante a algún ASP. En relación con los incendios colindantes, se seleccionaron aquellos que se encontraban cercanos a

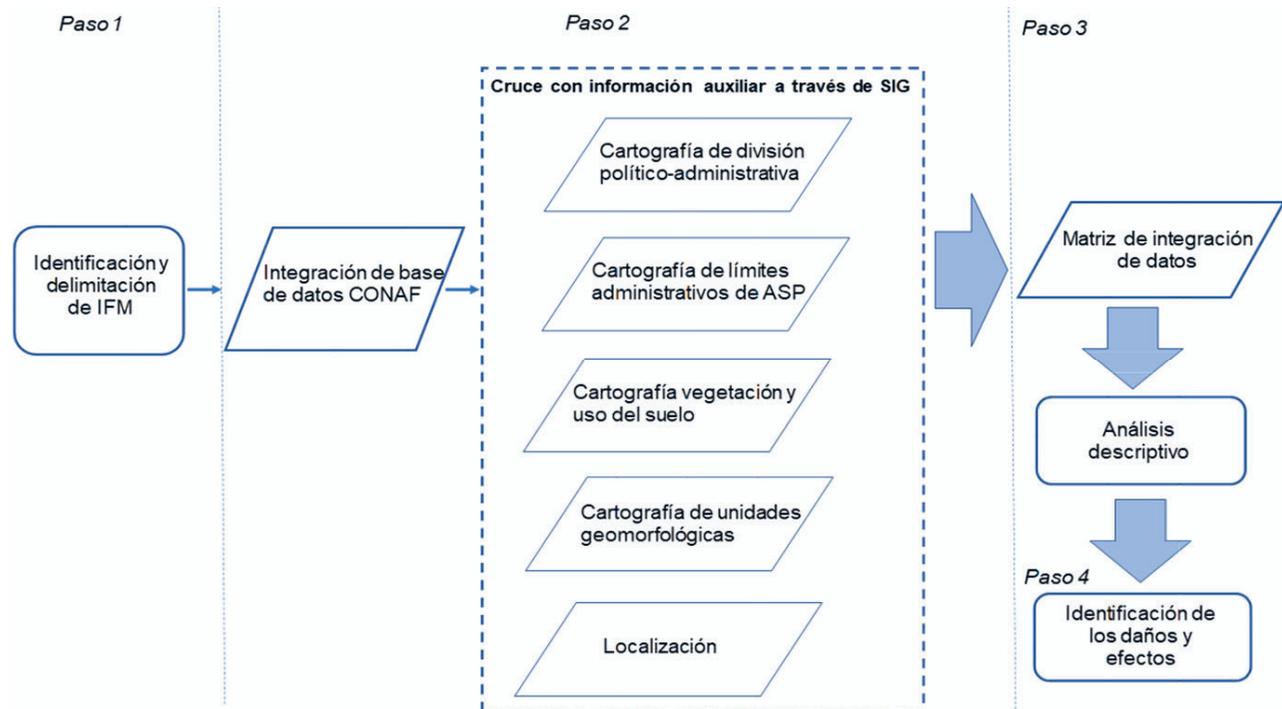


Figura 1. Proceso metodológico.
 Methodological process.

un área silvestre (distancia al área silvestre ≤ 6.000 m) y posteriormente revisados mediante el uso de imágenes satelitales para verificar si efectivamente el incendio afectó alguna fracción del área de estudio. Aquellos incendios con superficie superior a 10.000 ha fueron analizados individualmente para verificar si afectaron alguna fracción del área de estudio. En relación con el área de estudio para identificar los daños y efectos por IFM, esta correspondió al área al interior del perímetro de las ASP y los sectores colindantes a estas (franja de 1.000 metros a partir del límite administrativo).

Delimitación del área quemada y severidad de IFM. Para la delimitación se usaron herramientas de teledetección con el fin de resaltar el área quemada y posteriormente diferenciar los efectos del fuego sobre las zonas de interés (niveles de severidad) (figura 2). La técnica de teledetección que ha sido aplicada corresponde al índice de espectral NBR (*Normalized Burn Ratio*) y la diferencia entre situaciones pre y post incendio (índice de espectral delta NBR) (Key y Bensson 2006).

Integración de datos y análisis descriptivo de IFM identificados en las ASP. A través de un sistema de información geográfico a cada uno de los perímetros de IFM se les integró la base de datos de CONAF (fecha de inicio, fecha de control, causa) y posteriormente se realizó un cruce con las variables de estudio: ubicación espacial, vegetación, uso de suelo y unidades geomorfológicas. Con esta base de datos se caracterizaron las variables siguientes: área afectada, número de incendios, causa y punto de origen,

distribución espacial, vegetación afectada y uso de suelo para cada temporada de incendios y para el periodo total de estudio. Para la vegetación afectada y uso del suelo, la información se obtuvo desde el Catastro y Evaluación de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile (CONAF-CONAMA-BIRF 1997) y la cobertura de pisos vegetacionales (Luebert y Pliscoff 2017).

Identificación de los daños y efectos causados por los IFM que han ocurrido al interior y en áreas colindantes a las ASP. El enfoque de los daños fue sobre la conservación de los suelos y la pérdida de biomasa forestal, mientras que el enfoque de los efectos de los IFM fue sobre las formaciones vegetales, la atmósfera y la vegetación ribereña. La identificación de los daños y de los efectos para las variables mencionadas se realizó mediante el uso de sistemas de información geográfica. A continuación, se detalla el método para la identificación y caracterizaron de las variables mencionadas.

Daños a la conservación de los suelos. Se ubicó espacialmente aquellos sectores con pendientes superiores al 45 %, donde adicionalmente el efecto de los incendios forestales haya tenido como resultado la pérdida de la cobertura vegetal presente en el área. Para determinar los sectores con pendientes superiores al 45 % se utilizó el Modelo Digital de Terreno basado en imágenes ASTER (*Advance Space Borne Thermal Emisión and Reflection Radiometer*), mientras que para identificar la pérdida de la cobertura vegetal se utilizó el índice espectral delta NBR, lo cual mediante los valores de severidad del incendio permitió

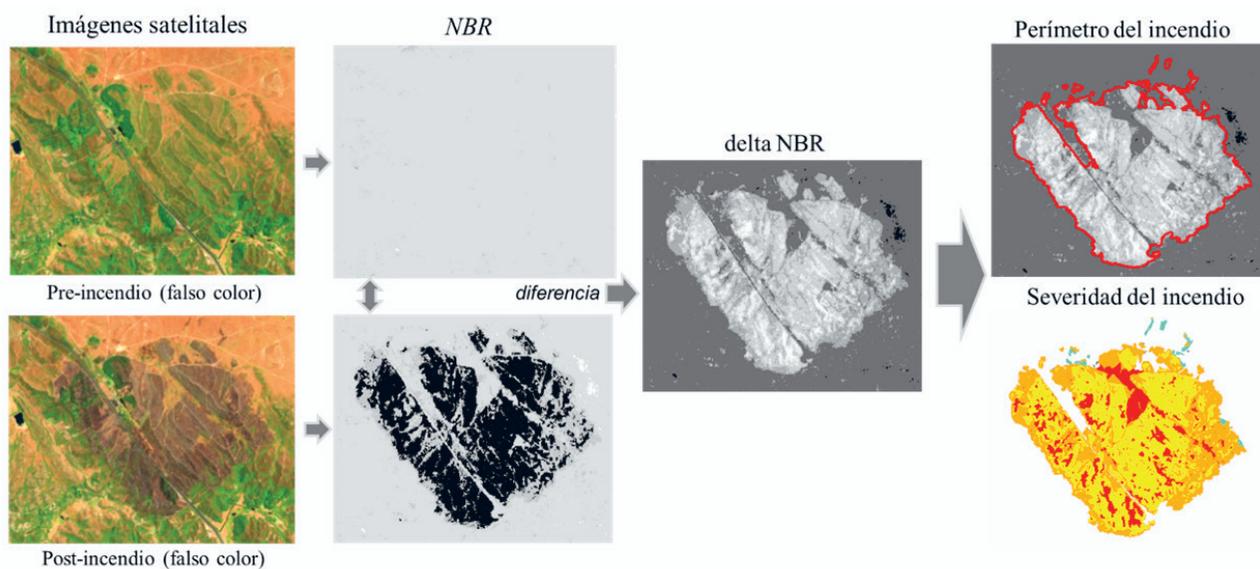


Figura 2. Proceso para el cálculo del perímetro y nivel de severidad de un incendio forestal mediante dNBR. Incendio forestal “Melosilla”, Reserva Nacional Lago Peñuelas (2019). Fuente: Elaboración propia adaptado de Eidenshink (2007).

Process to calculate the perimeter and wildfire severity using dNBR. Wildfire “Melosilla”, Lago Peñuelas National Reserve (2019). Source: Own elaboration adapted from Eidenshink (2007).

identificar qué áreas han quedado desprovistas de vegetación a causa de la incidencia del fuego.

Pérdida de biomasa forestal. Para este cálculo se utilizaron los resultados obtenidos de área de afectación y caracterización de vegetación afectada al interior del perímetro del incendio. Los valores de biomasa (ton ha⁻¹) se obtuvieron a través de los valores de carga de combustible disponible para cada formación vegetal, los cuales han sido descritos por el Laboratorio de Incendios Forestales de La Universidad de Chile (Julio *et al.* 1995).

Efectos sobre la atmósfera. El indicador que se utilizó para esta variable corresponde a la cantidad de CO₂ emitido a la atmósfera producto de la combustión de la vegetación afectada por incendios forestales. El método que se aplicó es el propuesto por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC 2006), el cual se estima mediante la ecuación [1]:

$$Lfuego=A \times MB \times Cf \times Gef \times 10^{-3} \quad [1]$$

Donde: Lfuego: Cantidad emisiones de Gases de Efecto Invernadero. En este caso CO₂ emitido, A: Área quemada (ha), MB: Masa de combustible disponible para la combustión (Mg ha⁻¹ de materia seca), Cf: Factor de combustión (adimensional). Gef: Factor de emisión (g kg⁻¹ de materia seca quemada).

Como el factor de combustión puede presentar variaciones en la cantidad de combustible consumido en los diferentes sectores al interior del perímetro del incendio forestal, se realizó un ajuste de este valor en función de la severidad del incendio y el tipo de vegetación afectada. La obtención de estos valores se basó en la metodología propuesta por De Santis *et al.* (2010) la cual asocia los niveles de severidad y tipo de vegetación a la cantidad de combustible consumido (cuadro 1).

Efectos sobre la vegetación ribereña. El indicador que se utilizó para esta variable corresponde a la superficie de vegetación ribereña afectada por IFM. Para identificar los sectores afectados se utilizaron áreas de franjas de amortiguación de 30 m a lo largo de los cursos de agua presentes al interior del área de estudio.

Efectos sobre las formaciones vegetacionales. Para evaluar la destrucción total o parcial de las formaciones vegetales se utilizó como base las comunidades vegetales que fueron afectadas por los IFM, para ello se trabajó sobre la base de los resultados del área y del perímetro afectado, la cual se cruzó con la información de cobertura de pisos vegetacionales (Luebert y Pliscoff 2017). Para dar cuenta del grado de afectación del fuego sobre la vegetación se utilizaron los valores de severidad del incendio, valores que permitieron identificar la destrucción total, parcial o permanencia de la vegetación. Adicionalmente, se identificaron aquellos ecosistemas terrestres en riesgo y que han sido afectados históricamente por IFM. Para ello se ha utilizado el criterio definido por el estudio de evaluación de riesgo de los ecosistemas terrestres de Chile (Pliscoff 2015), el cual determinó los pisos vegetacionales (como unidad similar de ecosistema) que se encuentran bajo un nivel de riesgo, ya sea por la reducción en su distribución y/o la distribución geográfica restringida y/o la degradación ambiental que ha sufrido durante los últimos años.

RESULTADOS

IFM en el área de estudio. Durante las veinte temporadas de incendios forestales analizadas un total de 35 incendios de magnitud afectaron total o parcialmente las ASP. La superficie total afectada por los 35 IFM fue de 239.647 ha (equivalente a 11.982,4 ha promedio al año), dentro de la cual un 5,5 % afectó a las ASP (área de ASP más franja colindante) y un 94,5 % se encuentra fuera del área definida. Las temporadas que presentaron el mayor número de ASP afectadas por IFM correspondieron a 2009-2010 y 2019-2020 (5 ASP) y 2016-2017 (6 ASP). Respecto al número de IFM que afectaron ASP, las temporadas 2016-2017 (8 IFM) y 2019-2020 (6 IFM) fueron las que presentaron el mayor número de eventos de magnitud. En relación con el daño por IFM, la temporada con mayor superficie total afectada por IFM fueron los años 2016-2017 y 2019-2020 con 207.868 ha y 19.799,7 ha respectivamente, mientras que 5 temporadas no presentaron superficie afectada por incendios mayores a 200 ha (figura 3). En relación con la superficie afectada dentro de las ASP, las temporadas 2016-2017 y 2009-2010 correspondieron a las de mayor superficie afectada, con 4.013,7 y 1825,7 ha respectivamente.

Cuadro 1. Valores de eficiencia de combustión (De Santis *et al.* 2010).

Combustion efficiency values (De Santis *et al.* 2010).

Severidad del incendio (Tasa de consumo)	Factor de combustión (Cf) ajustado por tipo de vegetación			
	Pasto	Matorral	Coníferas	Bosque
Baja	0,83	0,71	0,25	0,25
Moderada	0,90	0,84	0,47	0,40
Alta	0,98	0,95	0,65	0,56

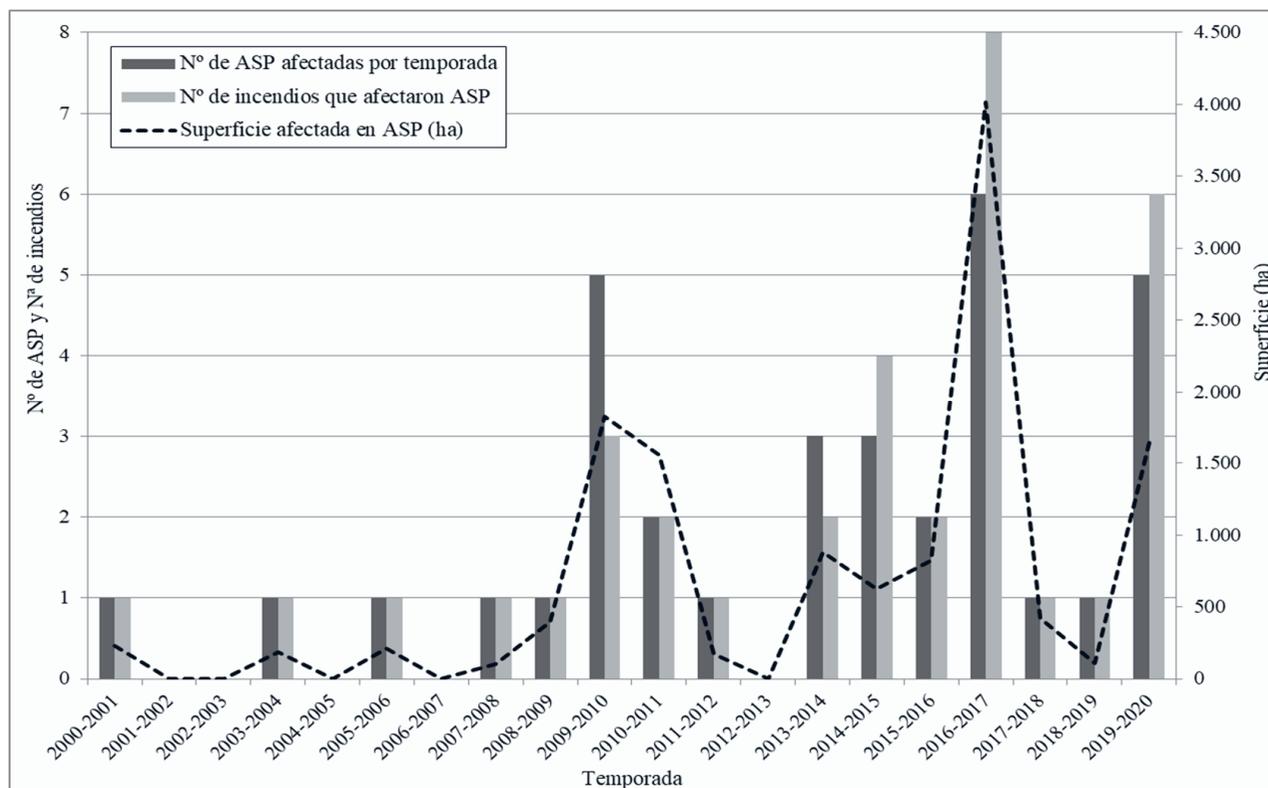


Figura 3. Número de ASP, número de IFM y superficie afectada en ASP por temporada de incendios forestales.
 Number of ASP, number of IFM and affected area in ASP per wildfire season.

Áreas silvestres afectadas por IFM. Un total de 17 ASP se vieron afectadas por IFM, dentro de las cuales 10 correspondían a la categoría Santuarios de la Naturaleza, 3 a la categoría Parques Nacionales y 4 a Reservas Nacionales (figura 4). Los Santuarios de la Naturaleza fue la categoría con mayor número de incendios y con mayor superficie afectada con 21 IFM y 6.930 ha respectivamente. En cuanto a las unidades más afectadas por IFM durante las últimas 20 temporadas, las unidades Las Palmas de Cocalán y Lago Peñuelas presentaron el mayor número de IFM, con 7 y 6 IFM respectivamente. En cuanto al daño en términos de superficie afectada, las unidades Quebrada de Plata y Las Palmas de Cocalán fueron las de mayor superficie afectada con 2.640,5 y 2.338,4 ha respectivamente. Mientras que un total de 8 unidades presentaron reiteración de IFM, es decir tuvieron afectación en la misma área en distintos periodos, las cuales correspondieron a los santuarios Acantilados Federico Santa María, Cerro Poqui, Horcón de Piedra, Palmar El Salto, Quebrada de Plata, al parque nacional Las Palmas de Cocalán y las reservas nacionales Lago Peñuelas y Roblería del Cobre de Loncha.

Vegetación afectada por IFM en ASP. La formación con mayor frecuencia de incendios correspondió a Bosque nativo – renoval, la cual fue afectada durante 19 de las 20 temporadas analizadas, seguida por la formación Ma-

torral Arborescente la cual se vio afectada en 11 de las 20 temporadas analizadas. En términos de superficie, las formaciones más afectadas correspondieron al Bosque nativo – renoval de *Cryptocarya alba* y *Lithrea caustica* con 1.992,1 ha (temporada 2016-2017) y al Bosque nativo – renoval de *Nothofagus glauca* con 1.077,9 ha (temporada 2009-2010).

Origen de los IFM en ASP. Se identificaron un total de 8 causas generales de origen (Accidentes eléctricos, actividades recreativas, faenas agrícolas y pecuarias, faenas forestales, incendios de causa desconocida, incendios intencionales, quema de desechos, tránsito de personas vehículos o aeronaves), siendo las causas “Tránsito de personas vehículos o aeronaves” (12 IFM) e “Incendios intencionales” (12 IFM) las de mayor frecuencia. En relación con las causas específicas para el “Tránsito de personas vehículos o aeronaves” la de mayor frecuencia correspondió al “Uso de fuego por transeúntes”, mientras que para “Incendios intencionales” la causa específica de mayor frecuencia corresponde a “Otros intencionales no clasificados”. Respecto a la ubicación del punto de inicio (donde se origina el incendio), únicamente 4 IFM tuvieron su origen dentro del límite administrativo de cada ASP, el resto (31 IFM) de los puntos de inicio se ubicaron espacialmente fuera de este límite. Adicionalmente, respecto

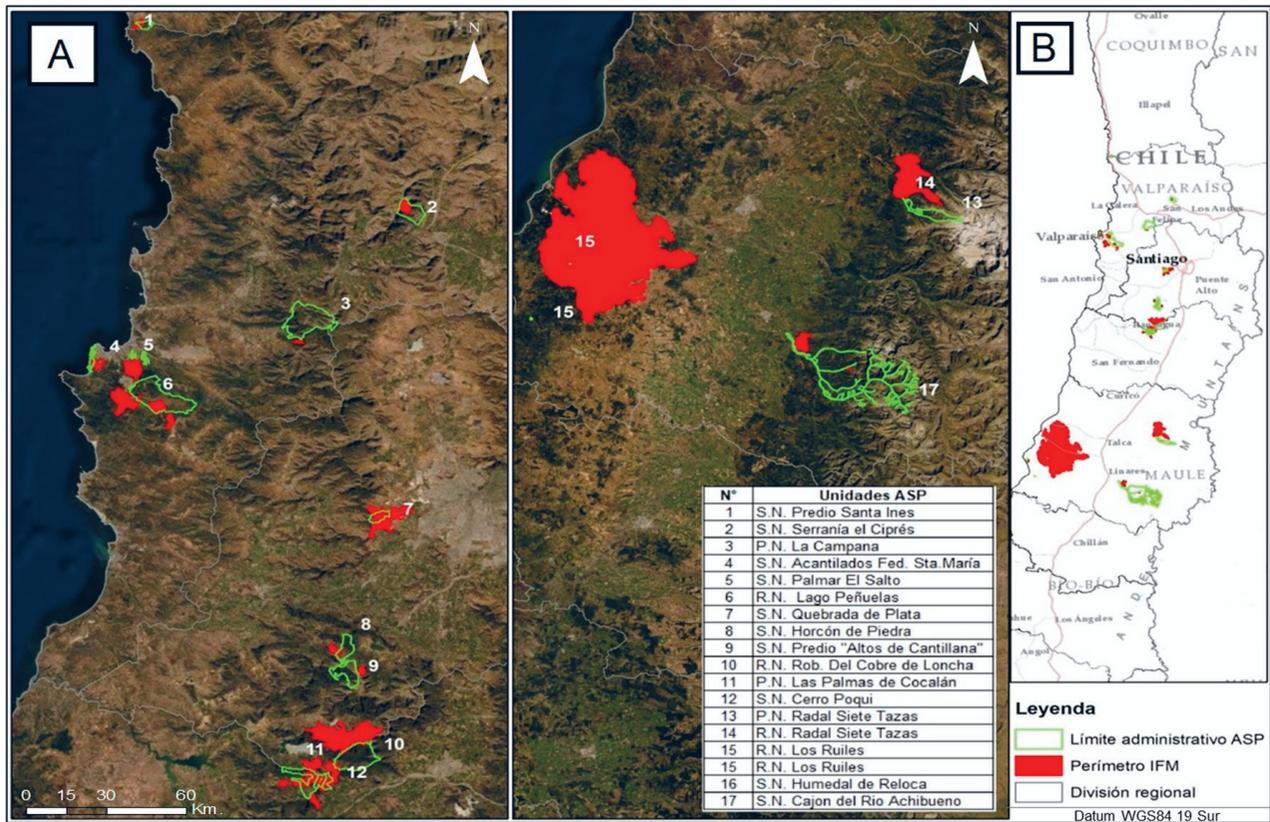


Figura 4. (A) ASP afectadas por IFM y perímetros de IFM. (B) Ubicación de las ASP y perímetros de IFM a nivel regional.
 (A) ASP affected by large wildfires and perimeters of wildfires. (B) Location of ASP and IFM perimeters at the regional level.

al uso del suelo en el lugar de origen del incendio se tiene que un total de 18 incendios tuvo origen en bosque nativo renoval, 9 en plantaciones forestales, 4 en praderas y matorrales, 2 en terrenos agrícolas, 1 en zona urbana y 1 sin información.

Distribución espacial de IFM. El mayor número de IFM se localizó en la región de Valparaíso (14 IFM), mientras que la región que presentó el menor número de este tipo de siniestros fue la región del Maule (5 IFM) (figura 4). La región de O'Higgins presentó la mayor superficie afectada de ASP a causa de IFM, con una superficie de 4.164,8 ha, mientras que la región del Maule presentó la menor superficie afectada de ASP por IFM (1.203,7 ha).

En relación con la ubicación espacial de las unidades de ASP afectadas por IFM dentro de las unidades geomorfológicas, la mayor parte de las unidades se ubicaron en la Cordillera de la Costa (7 unidades), seguida por las unidades ubicadas en la Depresión intermedia (6 unidades) y finalmente las menos afectadas en la Cordillera de los Andes (4 unidades). En términos de superficie afectada, la unidad Cordillera de la Costa tuvo la mayor superficie afectada (12.136,2 ha), a diferencia de la unidad Depresión intermedia la cual presentó la menor superficie afectada (471,1ha).

Daños y efectos causados por los IFM en ASP

- *Daños a la conservación de los suelos.* Un total de 15 ASP presentaron daños. De estas unidades, 9 correspondían a la categoría Santuario de la Naturaleza, 3 a la categoría Parque Nacional y 3 a la categoría Reserva Nacional. La superficie total de suelos afectados fue de 1.783,8 ha, donde la categoría Santuario Naturaleza mostró el mayor daño en términos de superficie (822,1 ha). En relación con las unidades con mayor nivel de daño del componente suelo se encontraron en el Parque Nacional Las Palmas de Cocalán (455,4 ha) y en la Reserva Nacional Roblería del Cobre de Loncha (450,3 ha).
- *Severidad de los IFM y emisiones de dióxido de carbono.* Las categorías de severidad Media y Baja fueron las más representadas, con 7.287,9 ha y 3.869,1 ha respectivamente, mientras que la categoría de severidad Alta fue la menor superficie afectada con 925 ha. En cuanto a las formaciones afectadas, el Bosque nativo-renoval es el que representó la mayor superficie afectada con niveles de severidad entre las categorías media y baja. En relación con las emisiones de CO₂ por

categorías de severidad y de formación vegetal, la categoría de severidad Media corresponde a la de mayor cantidad de toneladas de CO₂ emitidos a causa de la quema de la combustión de la vegetación con 137.170,8 tCO₂ emitidas. Dentro de esta categoría, la formación vegetal Matorral Arborescente fue la que más contribuyó en CO₂ emitido, mientras que dentro de la categoría de severidad alta la formación vegetal Bosque nativo-renoval fue la que más contribuyó en el CO₂ emitido.

- *Pérdida de biomasa forestal.* El total de biomasa consumida como consecuencia de los IFM fue de 289.283,1 t, de las cuales 141.653,6 t se encontraron en áreas correspondientes a Santuarios de la Naturaleza, 51.664,6 t en Parques Nacionales y 95.965 en Reservas Nacionales. A nivel de unidades, el Santuario de la Naturaleza Quebrada de Plata y el Parque Nacional Las Palmas de Cocalán fueron los de mayor biomasa consumida (50.398,0 y 47.841,0 t respectivamente).
- *Efectos sobre la vegetación ribereña.* De las 17 ASP afectadas por IFM un total de 13 de estas unidades tuvieron algún nivel de afectación en la vegetación ribereña y sus cursos de agua colindantes. El total de superficie de vegetación ribereña afectada por IFM fue de 424,5 ha. A nivel de categoría de ASP, la mayor superficie afectada se encontró en la categoría de Santuario de la naturaleza con 174,3 ha. A nivel de unidades de ASP, las de mayor superficie de vegetación ribereña afectada fue el Parque Nacional Las Palmas de Cocalán y la Reserva Nacional Lago Peñuelas con 121,5 y 82,3 ha respectivamente.
- *Efectos sobre las formaciones vegetales.* Un total de 16 pisos de vegetación se vieron afectados por IFM. La formación vegetal con mayor superficie afectada fue el Bosque esclerófilo, donde los pisos Bosque esclerófilo mediterráneo costero de *Cryptocarya alba* y *Peumus boldus* y Bosque esclerófilo mediterráneo andino de *Quillaja saponaria* y *Lithraea caustica* representaron la mayor superficie afectada dentro de esta formación. Dentro de los pisos de vegetación afectados con mayor categoría de severidad se encontraron el Bosque caducifolio mediterráneo costero de *Nothofagus macrocarpa* y *Ribes punctatum* y el Bosque esclerófilo mediterráneo costero de *Cryptocarya alba* y *Peumus boldus*.

Los pisos de vegetación donde se observó el mayor nivel de daño en términos de severidad y reiteración (misma área afectada en diferentes eventos) fue el Bosque caducifolio mediterráneo costero de *Nothofagus macrocarpa* y *Ribes punctatum*, el Bosque esclerófilo mediterráneo andino de *Quillaja saponaria* y *Lithraea caustica*, el Bosque

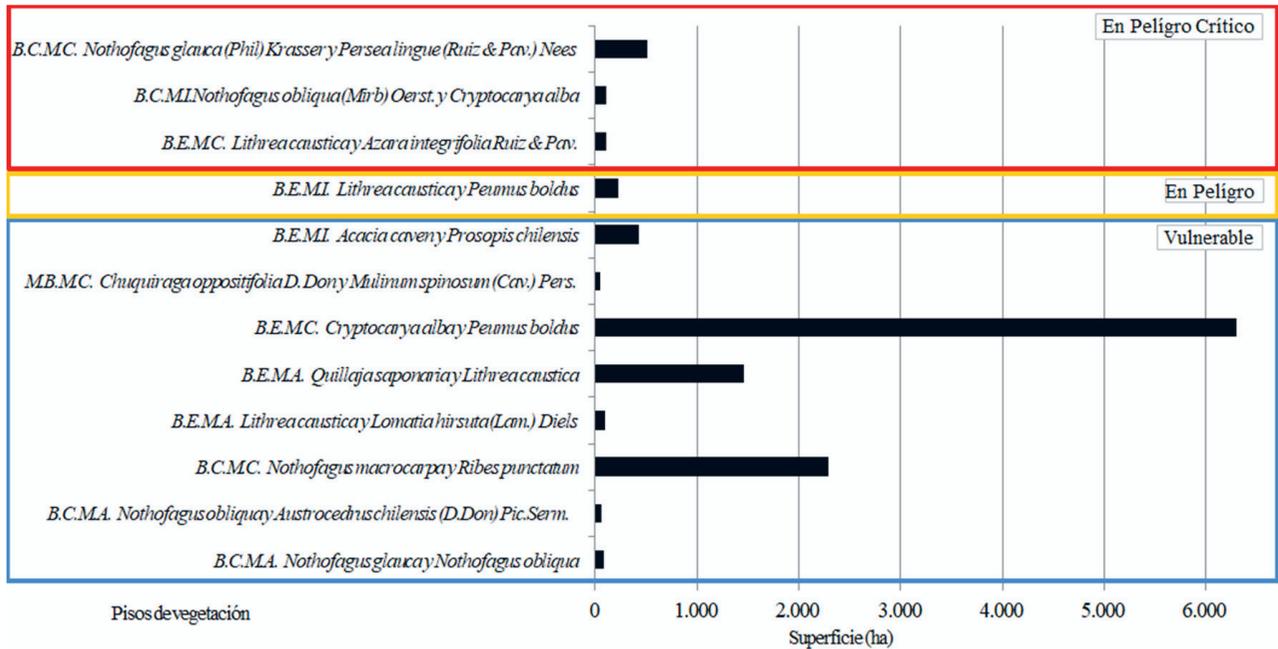
esclerófilo mediterráneo costero de *Cryptocarya alba* y *Peumus boldus*, el Bosque esclerófilo mediterráneo costero de *Lithraea caustica* y *Cryptocarya alba* y el Bosque espinoso mediterráneo interior de *Acacia caven* y *Prosopis chilensis*.

Respecto a los ecosistemas terrestres en riesgo y que han sido afectados históricamente por IFM se obtuvo un total de 12 de los 16 pisos de vegetación afectados se encuentran bajo un nivel de riesgo importante, de los cuales 8 de estos ecosistemas se encuentran bajo la categoría Vulnerable, 3 bajo la categoría En Peligro Crítico y 1 bajo la categoría En Peligro (figura 5 y figura 6).

DISCUSIÓN

Afección de grandes incendios en Chile central. Durante las veinte temporadas de incendios forestales analizadas se observa que el mayor número de incendios de magnitud y la mayor superficie afectada ocurre a partir del verano del año 2010 en adelante, comportamiento que sigue la tendencia de los datos históricos de superficie afectada por IFM en la zona central publicados por CONAF (CONAF 2020), encontrándose el mayor daño y ocurrencia a partir de la temporada 2009-2010. Este periodo de mayor afectación podría relacionarse con el cambio en el régimen de precipitaciones en la zona centro, episodio denominado Mega-sequía, la cual se extiende entre 2010 y 2020, acumulando diez años consecutivos de déficit de precipitaciones (DMC 2020). Además, este fenómeno ha estado ocurriendo durante la década más cálida registrada en Chile central. Estos rasgos son consistentes con el cambio climático ocasionado por la emisión de gases de efecto invernadero hacia la atmósfera terrestre (CR2 2015).

La persistencia de la Mega-sequía ha comenzado a producir un deterioro de la vegetación en gran parte de Chile central, lo cual se ha manifestado sobre la vegetación a través de la pérdida de vigor (menor contenido de humedad y pérdida de clorofila), lo cual se traduce en mayor disponibilidad de combustible para incendios forestales. Ambas variables meteorológicas (temperatura y precipitaciones) que afectan la condición de la vegetación, están dentro de los principales factores que influyen en el comportamiento de los incendios y que permiten crear las condiciones necesarias para la ocurrencia de grandes incendios forestales. Específicamente para el caso de las ASP el documento “Efectos del Cambio Climático en el SNASPE” (CONAF 2018) proyecta que este cambio en las variables meteorológicas mantendrá a las ASP expuestas a mayores temperaturas y a una disminución en la cantidad de precipitaciones, manifestando que uno de los mayores impactos que afrontarán estos ecosistemas será el riesgo de aumento en la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales de gran magnitud y sus efectos sobre los ecosistemas nativos, tendencia que es posible de observar en los resultados del presente estudio. Adicionalmente, estudios indican que este aumento en las ocurrencias y superficie afectada



* B.C.M.C: Bosque Caducifolio Mediterráneo Costero; B.C.M.I: Bosque Caducifolio Mediterráneo Interior; B.E.M.I: Bosque Esclerófilo Mediterráneo Interior; B.E.M.C: Bosque Esclerófilo Mediterráneo Costero; M.B.M.C: Matorral Bajo Mediterráneo Costero.

Figura 5. Superficie afectada de ecosistemas terrestres en riesgo y que han sido afectados históricamente por IFM.
Affected surface of at-risk terrestrial ecosystems that have been historically affected by IFM.

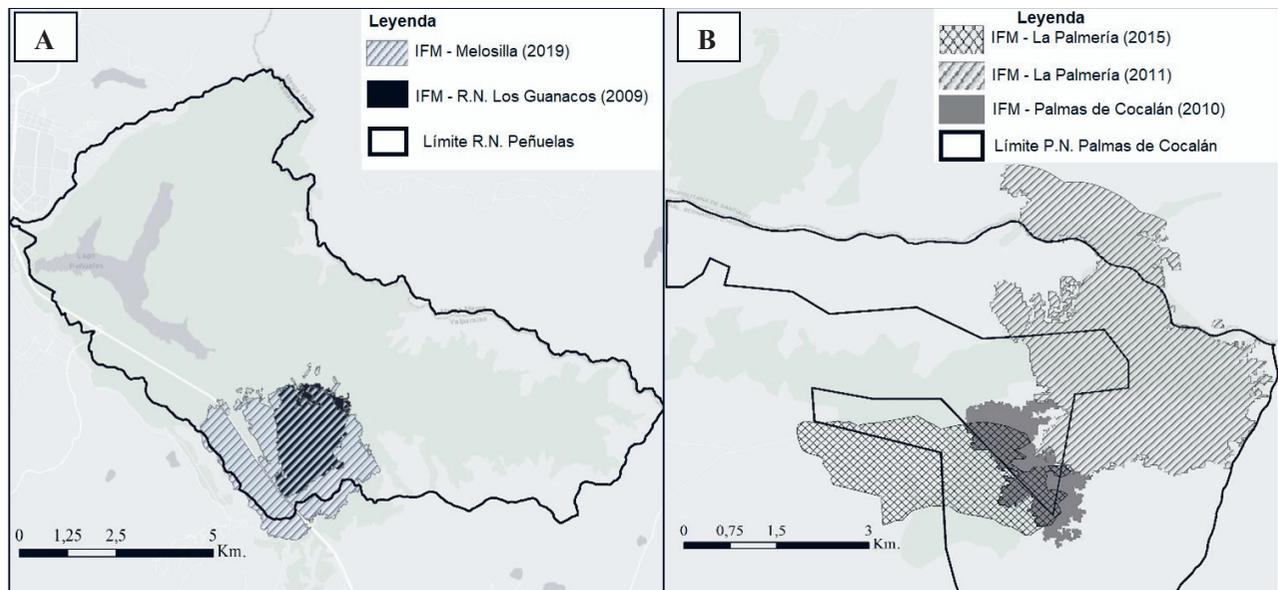


Figura 6. IFM con afectación al ecosistema terrestre en riesgo Bosque esclerófilo mediterráneo costero de *Cryptocarya alba* y *Peumus boldus*. (A) Reserva Nacional Lago Peñuelas. (B) Parque Nacional Palmas de Cocalán.

Large wildfires affecting the at-risk terrestrial ecosystem in Coastal Mediterranean sclerophyllous forest of *Cryptocarya alba* and *Peumus boldus*. (A) Lago Peñuelas National Reserve. (B) Palmas de Cocalán National Park.

por incendios forestales a causa del cambio climático tiene como objetos particularmente vulnerables a aquellos ecosistemas remanentes y de baja representatividad (Marquet *et al.* 2019).

Los registros formales de incendios forestales se inician a contar del año 1985 (CONAF 2020). El año 2002 esta información es complementada con un sistema estandarizado de causas. Con esta información fue posible generar una estadística y seguimiento de los principales orígenes, entre incendios pequeños e incendios de magnitud. En efecto, existe una proporción de eventos atribuibles a fenómenos naturales pero cuyo origen no necesariamente está asociado a la cercanía o pertenencia a áreas protegidas. El régimen natural presenta una escala espacio temporal muy superior al periodo analizado.

Respecto a los ecosistemas en riesgo, la zona donde se concentran los ecosistemas terrestres que han sufrido una mayor pérdida de superficie natural en términos históricos y recientes corresponde a la zona de Chile Central (Plis-coff 2015). Los resultados del presente estudio indican que un total de 12 de los 16 pisos de vegetación que se han visto afectados por incendios se encuentran bajo un nivel de riesgo importante. Estas áreas identificadas deberían ser consideradas como objetos de análisis para reducir la amenaza de degradación y/o pérdida de estos ecosistemas a causa de incendios forestales.

Al observar la distribución espacial de los IFM, los resultados muestran que la mayor cantidad de ASP afectadas se encuentran en los sectores de cordillera de la Costa y valle Central, mientras que las unidades ubicadas en cordillera de los Andes son las menos afectadas. Estos resultados pueden responder a que las unidades ubicadas en sectores cordilleranos se encuentran generalmente alejadas de carreteras, centros urbanos y zonas de interfaz donde confluyen viviendas y áreas forestales, en las cuales las actividades antrópicas tienen mayor influencia. En el caso puntual del área de estudio, este comportamiento ha sido documentado por Altamirano *et al.* (2013) donde se muestra la influencia que tienen las actividades humanas en la ocurrencia de incendios en Chile Central y además señala que existe una mayor probabilidad de ocurrencia de incendios en este sector debido entre otros factores a que es una de las áreas más turísticas en Chile, recibiendo un alto número de visitantes, especialmente en verano. Estos resultados indican la importancia de reforzar las actividades de monitoreo y de control de incendios forestales al interior y en áreas colindantes a las ASP ubicadas en el sector de la costa de la zona central, especialmente en época estival, donde adicional a las condiciones meteorológicas favorables para la propagación y ocurrencia de grandes incendios existe un mayor riesgo de ocurrencia por actividades humanas.

Causas de grandes incendios en Chile central. Respecto a las causas y a la ubicación de los puntos de inicio de los incendios que han afectado ASP, las causas específicas más frecuentes que iniciaron IFM corresponden al “Uso de

fuego por transeúntes” y “Incendios intencionales”. Junto con ello, la ubicación de los puntos de inicio de los IFM se localiza en su mayoría fuera de los límites administrativos de las ASP analizadas. Estos resultados en conjunto pueden servir de apoyo para el análisis y la toma de decisiones futuras de zonificación de cada ASP, específicamente para definir zonas de amortiguación en los alrededores de los límites administrativos de cada unidad.

Complementando lo mencionado anteriormente, en futuros estudios dentro de estas zonas, debiese profundizarse en las razones que subyacen a las causas del origen del incendio para así comprender de mejor forma los motivos de la conducta de los habitantes y así focalizar de manera más efectiva los esfuerzos de prevención.

Impacto de incendios de magnitud en Chile central. Referente a las emisiones de CO₂, este trabajo ha mostrado que a pesar de que ASP son reconocidas por ser importantes sumideros de carbono, estas también pueden ser fuentes de emisiones de gases. La conservación de estas áreas permite la presencia de bosques permanentes, lo cual es una de las condiciones que dan ventaja en el almacenamiento de carbono por sobre otras áreas que no están bajo alguna figura de conservación, siendo estas últimas en muchos casos sometidas a cambios en el uso del suelo (deforestación, sustitución de bosque nativo) (Cano *et al.* 2016). A pesar de que las ASP no se encuentran sometidas a estas amenazas, la característica de sumidero de carbono no siempre es así, ya que en muchos casos la degradación del bosque y alteraciones externas como los incendios pueden terminar convirtiendo los sumideros en fuentes de emisiones. A pesar de que no es parte de los objetivos del presente estudio el determinar el balance neto de carbono (pérdidas o ganancias) de la vegetación presente en las ASP, si es posible evidenciar la influencia que tienen los incendios forestales en transformar áreas que pudieron ser sumideros en áreas emisoras de carbono debido a la combustión de la vegetación.

Directrices para el manejo y conservación de ASP afectadas por incendios forestales. Sobre la base de los resultados obtenidos, se proponen cuatro diferentes directrices de manejo las cuales apuntan a conservar los ecosistemas nativos que protegen las ASP. A continuación, se indican las directrices sugeridas a implementar en las diversas instancias que tienen relación con la planificación y operatividad relacionada a la prevención, la reducción de ocurrencias y el manejo posterior de incendios forestales en ASP.

1. *Fortalecimiento de la planificación y de la ejecución de patrullajes preventivos y silvicultura preventiva en áreas colindantes a las ASP.* La mayor parte de los IFM que afectaron ASP se localiza fuera de los límites administrativos de las áreas silvestres analizadas y adicionalmente, las causas específicas más frecuentes que iniciaron estos siniestros corresponden a el “Uso de fuego

por transeúntes” y “Incendios intencionales”. Por estos motivos se hace necesario implementar dentro de las prioridades de protección a las franjas colindantes a los límites administrativos de las ASP y en ellas establecer rutas de patrullaje que permitan prevenir la ocurrencia de incendios forestales o la detección temprana de focos de incendios para evitar la propagación y generación de incendios de gran superficie y así controlar estas amenazas y/o reducir su efecto borde al interior del área protegida. A su vez, se debe mejorar la capacidad de personal adecuado para la realización de estas actividades, con el objeto de maximizar la cobertura de vigilancia en estas áreas. Otra medida a implementar en estos sectores es la aplicación de silvicultura preventiva, específicamente gestionar la vegetación (viva y/o muerta) a través de tratamientos prescritos (*i.e.* quemas prescritas, podas, entre otras) que permitan reducir la carga y la continuidad horizontal y vertical de los combustibles presente en estos sectores. En consecuencia, al aplicar estas medidas preventivas es posible disminuir la intensidad del comportamiento del fuego y la severidad (efectos) de la propagación en grandes extensiones (IFM). Es importante tener en consideración que la cobertura territorial de los programas basados en la prevención es baja, la asistencia técnica es insuficiente, y los costos de ejecución de estas obras es elevado. Lo mencionado anteriormente otorga un mayor grado de complejidad en la protección y gestión del territorio asociado a las ASP. Ejecutar estas acciones es materia prioritaria dentro de los programas de manejo del fuego en Chile.

2. *Elaboración de una cartografía de área quemada y de severidad de incendios forestales para cada unidad del SNASPE.* Los resultados del método aplicado han permitido identificar con mayor detalle la ubicación espacial de las áreas que históricamente han sido amenazadas por incendios tanto dentro como en sectores colindantes a los límites administrativos de las ASP. Este tipo de información se sugiere sea generada continuamente para las próximas temporadas de incendios forestales y que los resultados sean integrados a los planes de manejo respectivo a cada ASP con el objeto de poder utilizar esta información para:
 - a) Identificar las zonas al interior de las ASP afectadas por incendios forestales, e identificar factores de riesgo en estudios posteriores al incendio.
 - b) Establecer una línea base para el análisis de cambios posteriores a los incendios forestales. Específicamente para investigaciones que permitan evaluar los efectos en el tiempo

de los incendios sobre las comunidades vegetales presentes en un área (patrones de cambio, tasas de recuperación, capacidad de resiliencia y dinámica de recuperación de áreas quemadas, entre otras).

3. *Utilización de la cartografía de área quemada y de severidad de IFM como instrumento de apoyo para elaborar las propuestas de restauración al interior de ASP.* La cartografía del área recorrida por el fuego y los efectos del fuego al interior del área quemada (severidad) han permitido identificar espacialmente los sectores afectados y los diferentes niveles de daño ocasionados. Estos resultados y la aplicación de esta metodología para futuros incendios en ASP pueden ser utilizados como una herramienta de apoyo para elaborar propuestas de restauración dentro de las áreas afectadas. Concretamente esta información puede ser utilizada para proponer áreas prioritarias de actuación en función del nivel de daño y como apoyo para la definición de técnicas más adecuadas para la restauración de los sectores degradados por IFM. En este mismo lineamiento, la metodología propuesta y los resultados de afectación a la conservación de los suelos y los efectos sobre la calidad del agua debiesen ser utilizados como indicadores de priorización para la elaboración de propuestas de restauración o rehabilitación de estas áreas.
4. *Incorporación de los ecosistemas terrestres en riesgo y que han sido afectados históricamente por IFM al Análisis de Riesgo de Incendios Forestales a Nivel Nacional.* En el marco de la planificación estratégica y operativa en torno a la Política Pública de Gestión de Reducción de Riesgo de Desastres, la CONAF es el organismo encargado de analizar y definir las zonas de riesgo de incendios forestales en el territorio nacional (CONAF 2019). Esta zonificación del riesgo mediante el análisis de diferentes variables permite principalmente apoyar la planificación estratégica, priorizar recursos para la prevención y control de incendios forestales y tomar decisiones en la planificación del ordenamiento territorial. Dentro del Análisis de Riesgo de Incendios Forestales a Nivel Nacional uno de los factores considerados corresponde a la vulnerabilidad de ecosistemas, entendiéndose como sistemas más susceptibles a pérdidas, daños o trastornos a causa de los incendios forestales.

En relación a lo mencionado se propone integrar para los próximos análisis de riesgo de incendios forestales de la zona centro a aquellos ecosistemas terrestres en riesgo y que han sido afectados históricamente por IFM. Esta incorporación permitiría reducir la amenaza de degradación y/o

pérdida de estos ecosistemas a causa de incendios, principalmente gracias a que estas áreas tendrían mayor priorización para la asignación e implementación de recursos para la prevención, la mitigación, la preparación para la respuesta y la respuesta ante incendios forestales (*i.e.* instalación de infraestructura preventiva, silvicultura preventiva, asignación de recursos para el combate, entre otras).

CONCLUSIONES

El procesamiento de imágenes satelitales en conjunto con la base histórica de puntos de inicio de incendios permite elaborar una cartografía del área quemada para los incendios de magnitud ocurridos durante un periodo de 20 años (2000 al 2020). Este método posibilita discriminar con precisión el área quemada para los sectores ubicados dentro y alrededor de las ASP de Chile central. A su vez, esta información espacial es la base para identificar y caracterizar la frecuencia, la severidad, el origen y las causas de estos siniestros junto con permitir identificar los daños y los efectos sobre la conservación de suelos, la pérdida de biomasa forestal, las formaciones vegetales, la atmósfera y la calidad del agua.

Los resultados permiten proponer cuatro diferentes directrices para el manejo y conservación de las ASP, las cuales se enfocan a la reducción de ocurrencias, la prevención de Incendios Forestales de Magnitud y el manejo post incendio.

Finalmente, este tipo de estudio debe ser considerado como una herramienta de apoyo en el marco de la nueva institucionalidad que actualmente se propone para la administración del sistema nacional de áreas protegidas, específicamente en la relación al manejo de la amenaza de incendios forestales sobre estas áreas de conservación.

REFERENCIAS

- Altamirano A, C Salas, V Yaitul, C Smith-Ramirez, A Ávila. 2013. Influencia de la heterogeneidad del paisaje en la ocurrencia de incendios forestales en Chile Central. *Revista de Geografía Norte Grande* (55): 157-170. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-34022013000200011>
- Balde B, C Vega-García. 2019. Estimación de emisiones de GEI y sus trayectorias en grandes incendios forestales en Cataluña, España. *Madera y Bosques* 25(2). e2521764. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2521764>
- Cano J, A Sartori, O Quintanilla, V Oyarzún. 2016. Nivel de Referencia de Emisiones Forestales / Nivel de Referencia Forestal Subnacional de Chile. Santiago, Chile. CONAF. 128 p. Consultado 20 ago. 2020. Disponible en: <https://biblioteca.digital.gob.cl/handle/123456789/3379>
- Castillo M. 2012. Los incendios forestales en Chile un problema permanente y creciente. *Ambiente Forestal* (12): 30-34.
- Castillo M, R Garfias, G Julio, L González. 2012. Análisis de grandes incendios forestales en la vegetación nativa de Chile. *Interciencia* 37(11): 796-804. Consultado 20 ago. 2020. Disponible en: <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2018/01/796-CASTILLO-9.pdf>
- CONAF (Corporación Nacional Forestal, CL). 2017. Manual para la planificación del manejo de las áreas protegidas del SNASPE. Santiago, Chile. CONAF. 230 p.
- CONAF (Corporación Nacional Forestal, CL). 2018. Efectos del Cambio Climático en el SNASPE. Santiago, Chile. CONAF. 76 p.
- CONAF (Corporación Nacional Forestal, CL). 2019. Informe Cuenta Pública Participativa Gestión 2019. Santiago, Chile. CONAF. 86 p.
- CONAF (Corporación Nacional Forestal, CL). 2020. Estadísticas de incendios forestales. Número y superficies afectadas. Consultado 10 dic. 2020. Disponible en <http://www.conaf.cl/incendios-forestales/incendios-forestales-en-chile/estadisticas-historicas/>
- CONAF-CONAMA-BIRF. 1997. Catastro y Evaluación de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. Informe nacional con variables ambientales. Santiago, Chile. 89 p.
- CR2 (Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, CL). 2015. La megasequía 2010-2015: Una lección para el futuro. Informe a la Nación. Santiago, Chile. CR2. 27 p.
- De Santis A, G Asner, P Vaughan, D Knapp. E. 2010. Mapping burn severity and burning efficiency in California using simulation models and Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment* 114(7): 1535-1545.
- DMCh (Dirección Meteorológica de Chile, CL). 2020. 2020: ¿Un nuevo año de Megasequía?. Consultado 20 ago. 2020. Disponible en <https://blog.meteochile.gob.cl/2020/06/01/2020-un-nuevo-ano-de-megasequia/>
- Eidenshink J, K Schwind, Z Brewer, B Quayle, Howard S. 2007. A project for monitoring trends in burn severity. *Fire Ecology* 3(1): 3-21. DOI: <https://doi.org/10.4996/fireecology.0301003>
- Haltenhoff H. 2010. Los grandes incendios forestales en Chile 1985-2009. Documento de Trabajo N°539. Santiago, Chile. CONAF. 78 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 4: Agriculture, forestry and other land use. Kanagawa, Japan. Institute for Global Environmental Strategies. p. 42-49.
- Julio G, M Castillo, P Pedernera. 1995. Modelación de combustibles. Taller Internacional sobre Prognosis y Gestión en control de incendios Forestales. Santiago, Chile. p. 111-127.
- Key C, N Benson. 2006. Landscape assessment: Sampling and analysis methods: Firemon: Fire effects monitoring and inventory system. General Technical Report. USDA. Consultado 20 ago. 2020. Disponible en: <https://www.fs.usda.gov/research/treearch/24042>
- Langmann B, B Duncan, C Textor, J Trentmann, G van der Werf. 2009. Vegetation fire emissions and their impact on air pollution and climate. *Atmospheric Environment* 43(1): 10-116. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.047>
- Lee C, C Schlemme, J Murray, R Unsworth. 2015. The cost of climate change: Ecosystem services and wildland fires. *Ecological Economics* (116): 261-269. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.04.020>
- Luebert F, P Plissock. 2017. Sinopsis bioclimática y vegetal de Chile. Santiago, Chile. Editorial Universitaria. 316 p.
- Marquet P, A Altamirano, M Arroyo, M Fernández, S Gelcich, K Górski, E Habit, A Lara, A Maass, A Pauchard, P Plissock, H Samaniego, C Smith-Ramírez. 2019. Biodiversidad y cambio climático en Chile: Evidencia científica para la toma de decisiones. Informe de la mesa de Biodiversidad. Santiago,

- Chile. Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. 318 p.
- MMA (Ministerio del Medio Ambiente, CL). 2016. Informe del estado del medio ambiente. Santiago, Chile. Ministerio del Medio Ambiente. 553 p.
- Pliscoff P. 2015. Aplicación de los criterios de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza para la evaluación de riesgo de los ecosistemas terrestres de Chile. Santiago, Chile. Ministerio del Medio Ambiente. 63 p.
- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2015. Conservando el patrimonio natural de Chile el aporte de las áreas protegidas. Santiago, Chile. Asociación Kauyeken. 132p.
- Pauchard A, P Villarroel. 2002. Protected Areas in Chile: History, Current Status and Challenges. *Natural Areas Journal* 22: 318–330
- Salis M, L Del Giudice, P Robichaud, A Ager, A Canu, P Duce, G Pellizaro, A Ventura, F Alcasena-Urdiroz, D Spano, B Arca. 2019. Coupling wildfire spread and erosion models to quantify post-fire erosion before and after fuel treatments. *International Journal of Wildland Fire* (28): 687–703. DOI: <https://doi.org/10.1071/WF19034>
- Úbeda X, M Francos. 2018. Incendios forestales. Un fenómeno global. *Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*. Universitat de Barcelona 23(1.253): 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1344/b3w.0.2018.26826>

Recibido: 10.01.22
Aceptado: 21.01.23

