



Universidad de Concepción  
Dirección de Postgrado  
Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía  
Programa de Magíster en Análisis Geográfico

**ANÁLISIS SOBRE LA INFLUENCIA DE VARIABLES  
TERRITORIALES Y OCURRENCIAS HISTÓRICAS PARA  
DETERMINAR EL RIESGO DE INCENDIOS FORESTALES EN LA  
CORDILLERA DE NAHUEL BUTA, CENTRO-SUR DE CHILE**

Tesis presentada a la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía  
de la Universidad de Concepción para optar al grado de Magíster en Análisis  
Geográfico

**POR WALTER ANDRÉS INAIPI SAAVEDRA**

Profesor guía: Dr. Francisco de la Barrera

Marzo, 2024  
Concepción-Chile

## DEDICATORIA

*....tani fetum Julián Alen, tani curre domo Pamela Lainez*

## RESUMEN

Gran parte de la Cordillera de Nahuelbuta presenta una problemática socioambiental que históricamente ha originado importantes cambios en el paisaje por diversas causas territoriales y ambientales. En las últimas décadas, una de las modificaciones más relevantes del paisaje ha sido producto de los incendios forestales, afectando, no solo, la infraestructura crítica de las áreas pobladas, sino también, aquellos elementos de alta vulnerabilidad como el hábitat de especies vegetales y animales. La determinación del riesgo de incendios forestales a través del análisis de variables territoriales de la Cordillera de Nahuelbuta corresponde al objetivo investigativo del presente trabajo. Definiendo al riesgo como un producto de las amenazas y la vulnerabilidad y por medio de la asignación de variables tales como: ignición, propagación e impacto se logró clasificar el riesgo con distintas ponderaciones en cuanto a su magnitud. Los resultados más relevantes ilustran que, la mayor cobertura espacial de la Cordillera de Nahuelbuta obtiene una clasificación de riesgo 4 con un 48,68% con 319.630 ha. El análisis histórico comparativo indica una alta correlación, con el 95% de confianza, entre las distintas clasificaciones de riesgos y los focos de incendios ocurridos entre los años 2012 y 2022 según la cobertura espacial. Las distintas clases de riesgos representan efectivamente la relación espacial entre el área de estudio y las variables de cada grupo de riesgo considerando al modelo aplicado como un buen estimador de riesgos de incendios forestales.

**Palabras claves:** Riesgo de desastres siconaturales, sociedad del riesgo, ignición, vulnerabilidad, amenazas.

## ABSTRACT

Most of the Nahuelbuta Mountain Range presents a socio-environmental problem that historically has caused important changes in the landscape due to various territorial and environmental causes. In recent decades, one of the most relevant modifications to the landscape has been the result of forest fires, affecting not only the critical infrastructure of populated areas, but also those highly vulnerable elements such as the habitat of plant and animal species. . . The determination of the risk of forest fires through the analysis of territorial variables of the Nahuelbuta Mountain Range corresponds to the research objective of this work. By defining risk as a product of threats and vulnerability and through the assignment of variables such as: ignition, propagation and impact, it was possible to classify the risk with different weights in terms of its magnitude. The most relevant results illustrate that the greatest spatial coverage of the Nahuelbuta Mountain Range obtains a risk classification of 4 with 48.68% with 319,630 ha. The comparative historical analysis indicates a high quote, with 95% confidence, between the different risk classifications and the sources of fires that occurred between the years 2012 and 2022 according to spatial coverage. The different risk classes effectively represent the spatial relationship between the study area and the variables of each risk group, considering the applied model as a good forest fire risk estimator.

**Keywords:** Risk of socio-natural disasters, risk society, ignition, vulnerability, threats.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II. RELEVANCIA DEL ÁMBITO INVESTIGATIVO</b> .....	5
<b>III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	7
<b>IV. OBJETIVOS</b> .....	11
<b>4.1 Objetivo General</b> .....	11
<b>4.2 Objetivos específicos</b> .....	11
<b>V. MARCO TEÓRICO</b> .....	12
<b>5.1 Entendiendo el riesgo de desastres siconaturales y la capacidad         estratégica de enfrentar eventos</b> .....	12
<b>5.2 Los Incendios Forestales como fenómeno de construcción social del         riesgo</b> .....	14
<b>5.3 Modelos e índices de riesgos de incendios forestales</b> .....	15
<b>VI. ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	17
<b>VII. METODOLOGÍA</b> .....	20
<b>7.1 Antecedentes generales</b> .....	20
<b>7.2 Preparación de variables territoriales del índice de riesgo de incendios         forestales</b> .....	24
7.2.1 Variables de Ignición.....	24
7.2.2 Variables de Propagación.....	25
7.2.3 Variables de Impacto .....	26
<b>7.3 Integración de variables y cálculo del índice de riesgo</b> .....	27
<b>7.4 Comparación del índice de riesgo resultante con datos históricos de         ocurrencia de incendios forestales</b> .....	28
<b>VIII. RESULTADOS</b> .....	29
<b>8.1 Variables territoriales del índice de riesgo de incendios forestales</b> .....	29
8.1.1 Grupo de Ignición.....	29
8.1.2 Grupo de Propagación. ....	35
8.1.3 Grupo de Impacto. ....	39
<b>8.2 Integración de factores grupales de ignición, propagación e impacto para         la determinación del riesgo de incendios forestales en el área de estudio</b> .....	44

<b>8.3 Integración de factores de riesgos.....</b>	<b>48</b>
<b>8.4 Análisis histórico de focos de incendios y la relación espacial con la clasificación de riesgos de incendios forestales.....</b>	<b>50</b>
<b>IX. DISCUSIÓN .....</b>	<b>52</b>
<b>X. CONCLUSIONES .....</b>	<b>55</b>
<b>XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>58</b>

## Índice de tablas

Tabla 1 Criterios de clasificación de riesgos y variables territoriales asociadas .....	23
Tabla 2 Representación espacial del riesgo. Áreas Pobladas.....	31
Tabla 3 Representación espacial del riesgo. Red Vial .....	33
Tabla 4 Representación espacial del riesgo. Tipo combustible .....	34
Tabla 5 Representación espacial del riesgo. Rango de Pendiente .....	36
Tabla 6 Representación espacial del riesgo. Áreas Red Hidrográfica .....	39
Tabla 7 Representación espacial del riesgo. Áreas de alto valor de conservación.....	40
Tabla 8 Representación espacial del riesgo. Pisos vegetacionales .....	43
Tabla 9 Cobertura espacial/clase de riesgo .....	49
Tabla 10 Correlación de Pearson. Focos de incendios/Clase de riesgo/Superficie .....	50

## Índice de Figuras

Figura 1 Área de estudio.....	18
Figura 2 Etapa metodológica .....	21
Figura 3 Áreas Pobladas .....	30
Figura 4 Clase de riesgo. Red Vial.....	32
Figura 5 Clase de riesgo. Tipo combustible .....	34
Figura 6 Clase de riesgo. Rango de Pendiente.....	36
Figura 7 Clase de riesgo. Red Hidrográfica .....	38
Figura 8 Clase de riesgo. Áreas de Alto Valor de Conservación .....	40

Figura 9 Clase de riesgo. Pisos Vegetacionales .....	42
Figura 10 Mapa de riesgo conglomerado grupo de ignición.....	44
Figura 11 Mapa de riesgo conglomerado. Grupo de propagación.....	45
Figura 12 Mapa de riesgo conglomerado. Grupo de impacto.....	46
Figura 13 Mapa de Riesgo.....	48
Figura 15 Relación focos de incendios y clase de riesgo.....	51

## I. INTRODUCCIÓN

La zona centro-sur de Chile ha experimentado diversos incendios forestales de gran magnitud en la última década, en particular aquellas localizadas en los perímetros urbano-forestal. Los megaincendios ocurridos en el año 2017, sumado a los eventos de la temporada 2023, han sido muestra de aquello. Ambos desastres sicionaturales tuvieron características similares: condiciones ambientales de comportamiento extremo, prolongada condición de sequía, acumulación de combustible forestal seco y vastos territorios con plantaciones, lo que permitió un avance rápido del incendio. (Castillo et al., 2019). Particularmente, las regiones del Biobío y la Araucanía han sido unas de las más afectadas en cuanto a superficie quemada y severidad, afectando tanto a ecosistemas naturales como a la población humana. Hasta la primera semana de Marzo del 2023, según registros de la CONAF<sup>1</sup>, Biobío llevaba contabilizado para su temporada de incendios forestales cerca de un 48% del total nacional de la superficie quemada, registrando 208.814 hectáreas y, en la Araucanía cercana al 24% con 106.561 hectáreas. Durante los megaincendios del 2017, en tanto, la Región del Biobío registró un área quemada cercana al 21% del total nacional, con 119.409 hectáreas, incorporando datos de la entonces provincia del Ñuble, la Región de la Araucanía con 8.362 hectáreas. En ese sentido, la ocurrencia de

---

<sup>1</sup> Corporación Nacional Forestal por sus siglas: información proporcionada bajo Ley de transparencia sobre registros públicos.

desastres siconaturales puede estar dada por la interacción entre un evento desencadenante y la vulnerabilidad de la sociedad en un determinado territorio o paisaje de riesgo. Respecto a la ocurrencia de incendios forestales, está normalmente asociada a aquellos factores, causas, y situaciones que de una u otra manera facilitan la acción inicial del encendido (Castillo et al., 2019). El fenómeno de encendido con una causa conocida se denomina riesgo (Castillo et al., 2009). Puntualmente, un área de alto riesgo de incendios forestales, tal como lo indica Castillo (2003) depende de, la ocurrencia histórica de incendios y sus causas asociadas, la presencia de caminos y sectores de alto tránsito de personas y vehículos, la presencia de actividades relacionadas a tareas silvoagropecuaria, la localización de centros poblados y también otro tipo de actividades locales que pueden concentrar alta afluencia de personas en un área y periodo determinado. En consecuencia, los riesgos tanto para la ciudadanía como para los ecosistemas naturales es de suma importancia gestionar en un sentido amplio de construcción social del riesgo. Al respecto Beck (1998, como se citó en Fontana & Conrero, 2017) indica que, “la sociedad moderna se ha convertido en una sociedad del riesgo, en el sentido de que cada vez está más ocupada debatiendo, previniendo y gestionando los riesgos que ella misma ha creado” (p.184). Hablar de riesgo significa definir amenazas y vulnerabilidades, categorías que la integran y lo definen como un proceso construido socialmente (Fontana & Conrero, 2017). Relevante es, entonces, proporcionar métodos para estimar riesgos de incendios forestales que faciliten la tarea de identificar áreas

con mayor amenaza y territorios más vulnerables, dirigiendo los esfuerzos a una sociedad más adaptada y resiliente. Calcular el peligro de incendio y el riesgo de incendio en una escala espacio temporal es de crucial importancia en la planificación del manejo de incendios y en la simulación del crecimiento y desarrollo de incendios en un paisaje (Saglam et al., 2008). De igual importancia, Julio (1990) nos indica que, estimar la probabilidad de ocurrencia resulta crucial para el manejo del fuego. Sin embargo, el análisis del riesgo no es suficiente, Bañales-Seguel et al. (2018), manifiesta que se hace necesario utilizar los registros históricos, de esta manera se contará con “una mayor comprensión de las tendencias y su relación con variables territoriales favorables a eventos futuros” (p. 128).

De acuerdo a Dentoni & Muñoz (2012), es preciso hacer la distinción entre un sistema de evaluación de riesgo y un sistema de evaluación de peligro de incendios forestales. El primero, se centra en la fuente ignición, y la segunda, además de la fuente de ignición, suma la probabilidad de ignición, el comportamiento del fuego, dificultades para el control y eventuales daños.

La presente investigación identifica zonas de riesgos de incendios forestales para la Provincia de Malleco y Arauco, pertenecientes a la Región de la Araucanía y Biobío respectivamente, teniendo como objeto de estudio la Cordillera de Nahuelbuta y todas las comunas administrativas que la intersectan. Este territorio se caracteriza por una continuidad espacial de monocultivos forestales, la

presencia de material combustible seco y topografías escarpadas y montañosas de difícil acceso. El análisis concentra tres elementos cuantificables de ocurrencia; 1) fuentes de ignición; incorporando elementos estructurales territoriales que no signifiquen cambios a corto o mediano plazo tales como, red caminera y asentamientos humanos; 2) elementos de propagación; de manera analizar el comportamiento del fuego y; 3) efectos al territorio ya sea al medio natural y antrópico como impacto a las áreas de alto valor de conservación y pisos vegetacionales.

## II. RELEVANCIA DEL ÁMBITO INVESTIGATIVO

En el último tiempo, el aumento en intensidad y severidad de los incendios forestales en Chile y el mundo y la variabilidad de sus regímenes han sido caracterizados como un fenómeno sin precedentes y de alta connotación pública. Corresponde a uno de los grandes problemas que enfrenta la población chilena en periodos estivales, sobre todo, en aquellos territorios más propensos o con mayor riesgo de ocurrencia, tal son los casos en el centro-sur del País. Esto provoca diversas afectaciones tanto a, la población humana e infraestructura crítica como a la vegetación y fauna nativa y diversos ecosistemas terrestres, sumado a los problemas de salud pública que ocasiona la contaminación atmosférica y la crisis económica local como daños colaterales del evento *insitu* - *ex situ*.

Uno de los fenómenos más significativos que relaciona la incidencia de incendios forestales como parte del problema es, el denominado “Calentamiento global” y la consecuencia de la variabilidad climática mundial, ejerciendo cambios significativos a escala espacial y temporal sobre la distribución de las temperaturas y lluvias, modificando los elementos del paisaje, desencadenando eventos de alta peligrosidad hacia la población humana y sus ecosistemas asociados. Comprendiendo que, los desastres siconaturales en Chile, en específico los incendios forestales, son construidos socialmente, sus elementos causales también lo son, por cuanto, identificar, evaluar, investigar y profundizar

en aquellos, es muy relevante para la gestión del riesgo y la planificación del territorio para una sociedad más resiliente y adaptada. Esto, considerando además que, el territorio de la Cordillera de Nahuelbuta posee un paisaje vulnerable y fragmentado con permanente presión antrópica y fuertes amenazas de peligrosidad incendios forestales, lo que es intensificado por un escaso resguardo de sus virtudes naturales en términos de endemismo.

### III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, el paisaje de la Cordillera de Nahuelbuta y sus alrededores, presentan un problema de alto conflicto siconatural: ***las amenazas y peligrosidad de incendios forestales***. Fenómeno marcado por un proceso histórico progresivo, dinámico y expansivo desde la época colonizadora cuando se inician fuertemente los cambios de usos del suelo y su posterior degradación. Al respecto, el trabajo de Cisternas et al. (1999, p. 661) relata que, “paralelamente con la conquista y colonización, comienza un proceso de degradación, mediante talaje y quemas extensivas del bosque original”. Puntualmente, la Cordillera de Nahuelbuta cubrió gran parte de la demanda de trigo producida por la “Fiebre de oro de California y Australia” (Cisternas et al., 1999, p. 7) acelerando la degradación de los suelos, sumado también, a los requerimientos de madera para las faenas mineras de Iota (Del Valle, 2005). Por consecuencia, la degradación de suelos fue, un argumento estratégico del estado chileno para recuperar su productividad y control de procesos erosivos. Surge entonces, en el año 1974, el Decreto Ley N°701, con el propósito de incentivar a propietarios de terrenos de aptitud preferentemente forestal, al establecimiento de plantaciones forestales de rápido crecimiento, tales como, el pino y eucalipto, lo que ha modificado hasta ahora el paisaje de la cordillera de Nahuelbuta, persistiendo grandes extensiones de monocultivos y cotidianas prácticas silvícolas, las cuales, han sido factores significativos en la ocurrencia y propagación de incendios

forestales, ya sea, por la continuidad espacial de su cobertura arbórea como por la condición que los residuos generan, acelerando el proceso de acumulación de carga vegetal combustible y condiciones intrínsecas de encendido del fuego.

Otra problemática que subyace en el territorio de la Cordillera de Nahuelbuta es, **la alta vulnerabilidad y amenaza hacia los hábitat de una gran cantidad de especies vegetales y animales únicas en el mundo, deterioro de la calidad de los suelos y cursos de agua y el empeoramiento de la calidad de vida de sus habitantes** (Wolodarsky-Franke & Díaz Herrera, 2011), pues, ha experimentado diversas transformaciones de su cobertura vegetal por el cambio de uso del suelo y sustitución del bosque nativo, agravada por, la habilitación de terrenos para actividades agrícolas y ganaderas, todos los cuales, ocasionaron la fragmentación del paisaje. Al respecto, el trabajo de Cisternas et al. (1999), señala que, en 1994 había “un control mayoritario de las plantaciones forestales que han desplazado casi completamente al bosque y matorral nativo desde el sector sudeste, superficie que tradicionalmente había estado cubierta por remanentes nativos, relegándolos sólo a las quebradas más profundas” (p.666).

Otro aspecto fundamental que enmarca con mayor influencia la problemática, sobre todo en las últimas décadas, corresponde a **los efectos más característicos del cambio climático** tales como; olas de calor, extensas sequías y déficit hídrico, **intensificado la peligrosidad de incendios forestales,**

por ejemplo, respecto a los cambios acontecidos en la distribución espacial y temporal, no solo, de la temperatura, sino también, de las lluvias y vientos, viene representando un riesgo importante para los ecosistemas y sociedades (Ponce et al., 2015; Zamora et al., 2022). Estos efectos “han contribuido al secamiento y/o mortalidad de la vegetación, alargamiento de la temporada de incendios, y una mayor incidencia de condiciones climáticas proclives a incendios extremos y destructivos”(González, 2020, p. 4). La experiencia de los catastróficos incendios forestales ocurridos en Chile en el 2017 sumado a una serie de eventos casi simultáneos en otras partes del mundo han sido muestra de aquello puesto que la ocurrencia y severidad ha aumentado significativamente (Castillo, 2021; Díaz-Hormazábal & González, 2016). En el territorio nacional, las regiones del Biobío y la Araucanía los incendios forestales se han caracterizado por grandes incendios forestales donde poseen vastos terrenos con plantaciones forestales, y en los cuales según Handke (2019), los incendios son más frecuentes que en aquellos terrenos con bosque nativo, condición que se refleja en los suelos ubicados en la cordillera de Nahuelbuta. En cuanto, al ordenamiento y planificación territorial en la provincia de Malleco, Región de la Araucanía, Morales (2016) indica que, la falta de planificación “provocó un crecimiento urbanístico desordenado, cuyas consecuencias fueron, la destrucción del paisaje y el aumento del riesgos de incendios forestales” (p.2). Por su parte, González (2011) señala que, las plantaciones forestales han tenido una tendencia al aumento en la superficie quemada principalmente en la región del Biobío que

concentra cerca del 40% de la superficie nacional. El sector forestal presenta una dinámica relacional “específica de organizar las actividades económicas en el espacio, el que crea vínculos complejos entre los factores antropogénicos y naturales de riesgos de incendios” (Handke, 2019, p. 73).

## **IV. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo General**

Analizar la influencia de variables territoriales y ocurrencias históricas para determinar el riesgo de incendios forestales en la Cordillera de Nahuelbuta, centro-sur de Chile

### **4.2 Objetivos específicos**

- Clasificar el riesgo de incendios forestales de acuerdo a factores de ignición, propagación e impacto relacionando variables territoriales del área de estudio, análisis de peligrosidad y vulnerabilidad.
- Determinar el riesgo de incendios forestales de acuerdo a la integración de factores de riesgos de ignición, propagación e impacto.
- Relacionar las variables de riesgo con el espacio territorial objeto de estudio y la ocurrencia histórica de incendios forestales.

## V. MARCO TEÓRICO

### 5.1 Entendiendo el riesgo de desastres socionaturales y la capacidad estratégica de enfrentar eventos

“Los riesgos son fenómenos reales que se construyen socialmente y se amplifican discursivamente” (Handke, 2019, p. 68). De algún modo, se habla de riesgos de acuerdo a tres características según Handke (2019); **complejidad** que caracteriza una condición en la que es difícil identificar y cuantificar, exactamente, las posibles relaciones causales y los efectos adversos específicos de la toma de decisiones sobre el riesgo. La **ambigüedad**, correspondiendo al fenómeno de que los distintos agentes conocen el riesgo de manera diferente, lo que da lugar a una variabilidad de interpretaciones legítimas del riesgo con respecto a las observaciones y evaluaciones de datos idénticos. La **incertidumbre** se refiere al conocimiento desconocido sobre ciertas relaciones causales. Como otra arista del fenómeno, se puede argumentar como la probabilidad de un resultado multiplicada por la gravedad de sus consecuencias (Mabey et al., 2011). En cuanto a cómo se viene abordando y percibiendo el riesgo de desastres, el problema ya no se enfoca –mayormente- en el evento de ocurrencia del desastre y la respuesta, sino, en el riesgo que predispone el desastre el cual es construido socialmente. Es decir, ningún desastre puede suceder sin la previa existencia de una situación de riesgo, la cual no solo permite la ocurrencia sino también

determina la dimensión de sus impactos (Gellert de Pinto, 2012). Existe diversa opinión conceptual y teórica a nivel investigativo respecto a elementos de riesgos como amenaza y vulnerabilidad, por ejemplo (Rivero et al., 2017) destaca que, “las definiciones de riesgo usualmente aceptadas son entendidas sobre la base de un esquema lógico que indica la relación entre un suceso dañino y unas víctimas afectadas” (p.23). Dicha relación de riesgo de incendios forestales puede ser entendida como el producto entre un evento agresor como la amenaza (A), y la susceptibilidad o tendencia de la población a sufrir el impacto, es decir la vulnerabilidad (V) derivando la fórmula;  $Riesgo=A*V$ . De igual manera, la vulnerabilidad se calificaría como el efecto combinado del factor riesgo y el peligro que representa la vegetación combustible como atributos de velocidad de propagación y la resistencia al control que presenta frente a tareas de combate (Jaque et al., 2019).

Respecto a las capacidades humanas de enfrentar los eventos de riesgos de incendios forestales y a la percepción sobre la magnitud de los mismos destaca la noción de riesgo, el cual explica, el contraste entre realidad y posibilidad. Al respecto, Handke (2019) indica que:

“se refiere a un futuro que sólo es visible a través de la mirada del presente. Quienes asumen riesgos saben que sus decisiones van acompañadas de varias consecuencias posibles... Las ideas y percepciones del riesgo que circulan en la

sociedad son continuamente conformadas e incluso manipuladas estratégicamente por el conocimiento discursivo del riesgo” (p. 68).

En cuanto a la capacidad humana y estratégica de enfrentar aquellos eventos, se habla de gestión o gobernanza del riesgo, pues, la gestión del riesgo se esfuerza por reducir la probabilidad de un resultado y la gravedad potencial de sus consecuencias (Mabey et al., 2011).

## **5.2 Los Incendios Forestales como fenómeno de construcción social del riesgo**

Los incendios forestales pueden expresarse en factores relacionados a la presencia humana en el área, sumado a factores físicos y topográficos que pueden incidir en el grado de conflictividad de propagación del fuego. Los factores naturales son incidentes en la propagación de los incendios pero la principal causa es antropogénica (Handke, 2019).

El régimen de incendios en Chile ha cambiado especialmente desde el año 2010, es así que “Los grandes incendios ocurren con menor frecuencia que aquellos de menor extensión, pero son responsables de quemar grandes áreas de terrenos” (González, 2020, p. 7). Históricamente, las regiones con mayor número de incendios y área quemada se concentran entre Valparaíso y la Araucanía. Uno

de los elementos estudiados es la relación que existe con los usos del suelo y la cobertura vegetal existente identificando que, existe una mayor proporción de áreas quemadas con plantaciones forestales tanto de pino como de eucaliptus. No obstante, es muy difícil identificar la causa o estimar cuando se iniciará un incendio. En Chile, en el informe<sup>2</sup> del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia se indica que la principal causa de los incendios es la acción humana ya sea de forma accidental o por una acción deliberada e intencional.

### **5.3 Modelos e índices de riesgos de incendios forestales**

La estimación de riesgos de incendios forestales consiste en identificar las variables que contribuyen a la ocurrencia de un evento como la presencia de vegetación inflamable y su proximidad a las fuentes de ignición y, su integración en una expresión matemática que resulte en un índice cuantitativo (Bañales-Seguel et al., 2018). En este sentido, el riesgo se entiende como “un producto de dos factores, el peligro o probabilidad de que ocurra un incendio en un lugar y momento determinado, y la vulnerabilidad que hace referencia al daño potencial que el fuego supondría para ese lugar” (Chuvienco & Kasischke, 2007, p. 20). Los modelos informáticos ahora pueden realizar simulaciones de incendios espacialmente explícitas sobre combustibles heterogéneos y mapear las

---

<sup>2</sup> Titulado Incendios en Chile: causas, impactos y resiliencia

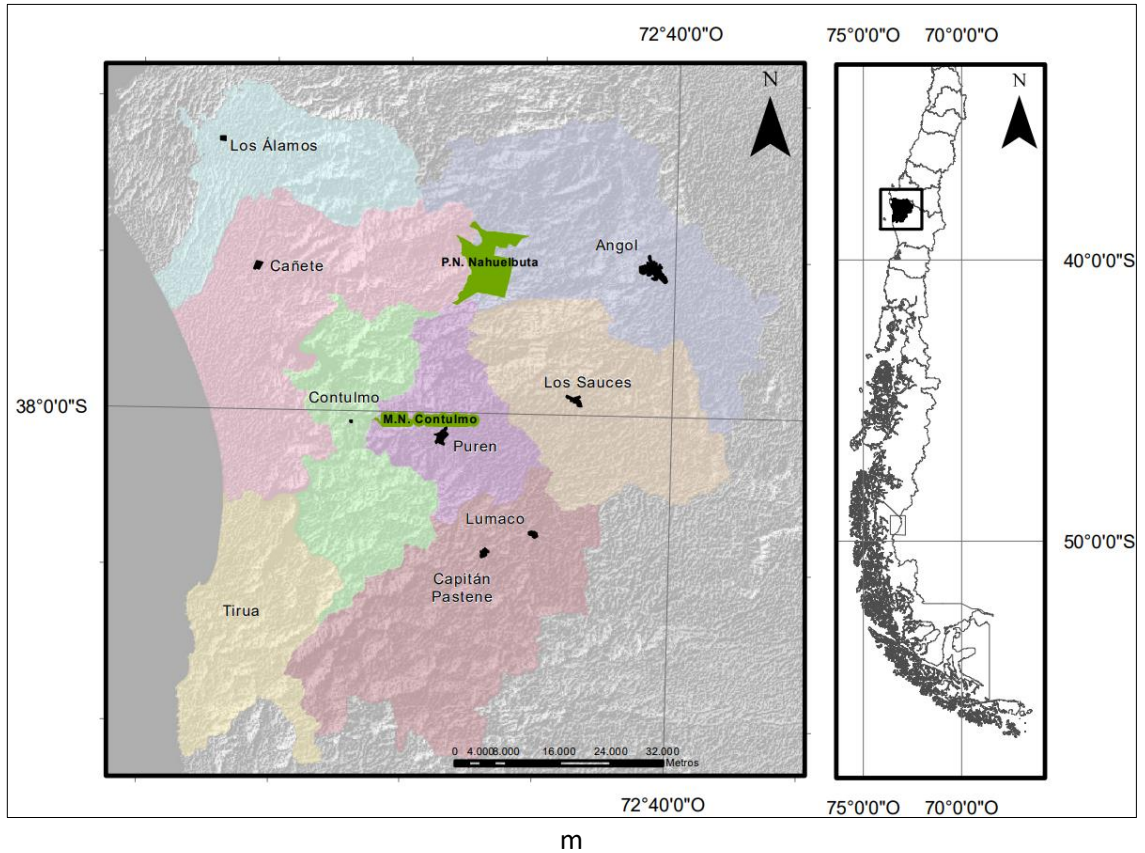
características del comportamiento en grandes paisajes (Mitsopoulos et al., 2015). Los avances recientes en el modelado del comportamiento de los incendios forestales en el paisaje, han dado lugar a una serie de nuevas herramientas y enfoques para aplicar marcos de riesgos a los problemas de gestión de incendios (Mitsopoulos et al., 2015). También se utilizan técnicas de percepción remota e imágenes de satélites para identificar áreas quemadas, cuyos principios se basan en la respuesta espectral de los depósitos de cenizas y carbón derivados de la combustión del material vegetal (Manzo & López, 2013). Además, se han puesto a disposición múltiples metodologías para estudiar la caracterización de la distribución espacio-temporal de la ocurrencia de incendios forestales con el fin de elaborar y validar modelos de riesgos de incendios forestales (Bañales-Seguel et al., 2018).

## VI. ÁREA DE ESTUDIO

La cordillera de Nahuelbuta corresponde a un área geográfica con diversas presiones antrópicas. Uno de los eventos con mayor efecto territorial son los ocasionados por los incendios forestales, tal como se explica en el planteamiento del problema. A pesar que la extensión de la cordillera es vasta, el área de estudio se acota a las Provincias de Malleco y Arauco debido a las complejidades socioterritoriales presente en cada una de ellas.

El área de estudio (ver figura 1) corresponde a parte de la cordillera de Nahuelbuta y tiene 656.537 ha. Está delimitada entre los 37°27' y 38°50' latitud sur y 72°30' y 73°33' longitud oeste aproximadamente. Las comunas incorporadas en el área de estudio son: Angol, Los Sauces, Puren y Lumaco pertenecientes a la Provincia de Malleco, Región de la Araucanía y, Los Álamos, Cañete, Contulmo y Tirua ubicadas en la Provincia de Arauco, Región del Biobío.

Figura 1 Área de estudio



Fuente: elaboración propia

La geografía de la cordillera varía de un paisaje ondulado y relativamente bajo en el sector norte, variando entre los 400 msnm y elevaciones más altas sobrepasando los 1000 metros hacia el sur, definiendo un perfil meteorológico que va desde un clima mediterráneo cálido y subhúmedo en el norte a uno templado húmedo y lluvioso hacia el sur (Wolodarsky-Franke & Díaz Herrera, 2011). Es parte de la Ecorregión valdiviana con la presencia del tipo de Bosque

templado lluvioso reconocida como prioritaria para la conservación de la biodiversidad a nivel mundial por su:

“La alta riqueza de especies y endemismo se atribuye al hecho que los bosques deciduos y matorrales característicos de la zona mediterránea del norte de Chile convergen con la vegetación siempre verde valdiviana del sur de Chile formando un singular ecosistema ecotonal y por poseer especies remanentes desde el Mesozoico de origen wondwanico y, especies del terciario de origen tropical” (Otavo & Echeverría, 2017, p. 925).

A pesar de lo anterior, la protección de los ecosistemas de bosques costeros es insuficiente, con solo el 3,5% de la superficie incorporado al SNASPE<sup>3</sup>, entre ellas; el Parque Nacional Nahuelbuta y Monumento Natural Contulmo, otras áreas silvestres privadas de alto valor de conservación tales como el Santuario de la Naturaleza El Natri y Quebrada de Caramávida. Se caracteriza por la presencia de plantaciones forestales en toda su extensión, desde el río Biobío hasta el río Imperial. Estas plantaciones ocupan alrededor del 45% del paisaje como consecuencia directa de la expansión de empresas medianas y grandes (Wolodarsky-Franke & Díaz Herrera, 2011).

---

<sup>3</sup> Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado.

## **VII. METODOLOGÍA**

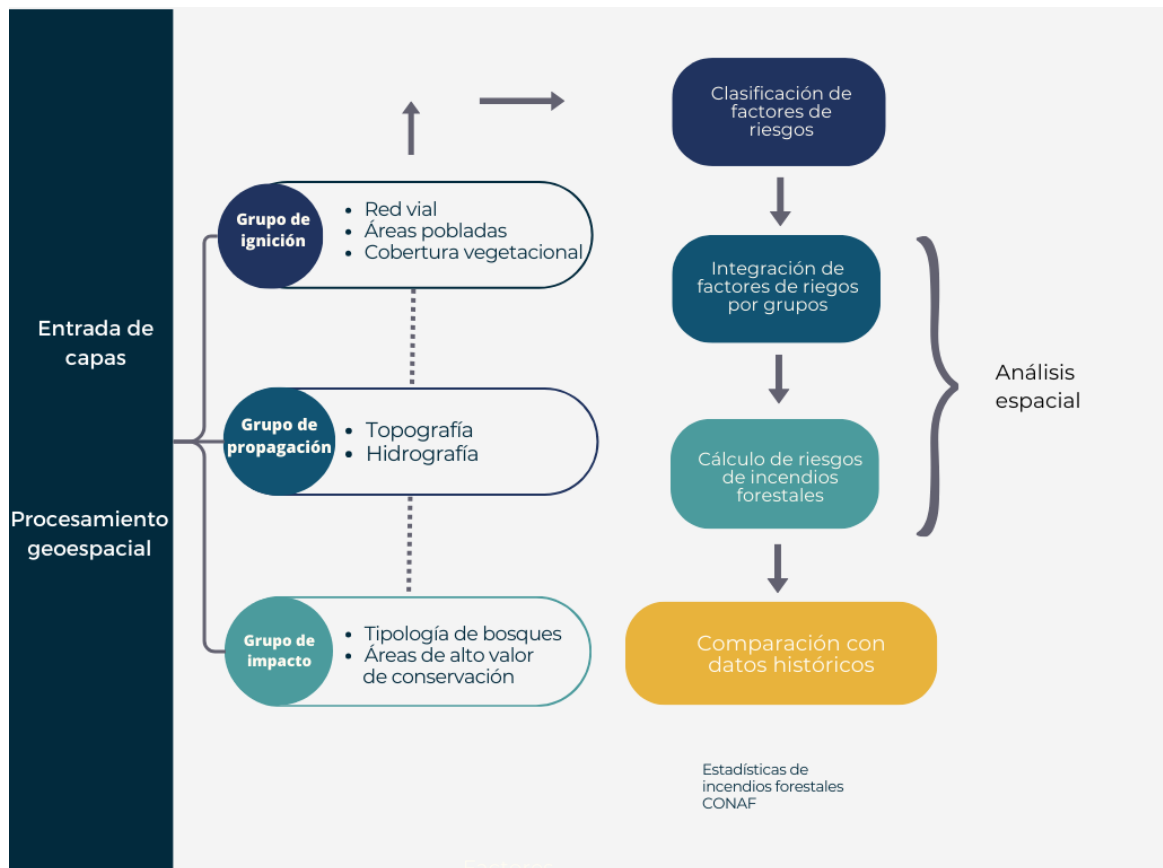
### **7.1 Antecedentes generales**

El trabajo investigativo comprende el análisis de aquellos elementos de riesgos siconaturales tales como la presencia de asentamientos humanos en zonas de interfaz urbano-forestal, infraestructura pública-privada, cambios en el uso del suelo y, prácticas silviculturales. También considera el impacto hacia aquellas áreas naturales de alto valor de conservación y/o silvestres, entendiendo aquellas como significativas por los servicios ecosistémicos que aportan y biodiversidad que presentan y, también, por la constante amenaza de incendios forestales cada temporada entendida en un sentido amplio de presión y construcción social del riesgo.

Para identificar aquellas áreas con mayor riesgo de incendios forestales se aplicó una versión ajustada del modelo presentado en el trabajo de Bañales-Seguel et al. (2018). El modelo considera aspectos cuantificables como, fuentes de ignición, elementos de propagación e impacto. El modelo define al riesgo como un producto de la amenaza y la vulnerabilidad estableciendo, por un lado, variables de riesgos estructurales del territorio, las cuales, no cambian o lo hacen muy lentamente en el tiempo tales como; vías camineras, centros poblados y tipo de combustible y por otro, considera características del paisaje como la topografía e hidrografía que dimensionan la propagación del fuego y aquellos factores de vulnerabilidad e impacto que ciertos eventos y perturbaciones podrían

provocar a elementos del territorio en caso de ocurrencia, particularmente a, aquellas áreas naturales y silvestres de alto valor de conservación público-privadas y distintos tipos de bosques endémicos y pisos vegetacionales.

**Figura 2 Etapa metodológica**



Fuente: (Bañales-Seguel et al., 2018) modificada

Las variables de análisis se agruparon en tres, según factores de riesgos de incendios forestales: **ignición, propagación e impacto**. Usando Sistemas de Información Geográfica (SIG) se realizó el procesamiento de datos

geoespaciales para cada variable territorial asignándole una clase de riesgo de 1 a 7 según sus particularidades y conforme la evaluación de un experto<sup>4</sup>. Las capas de entrada corresponden a datos vectoriales y un *raster* de elevación digital<sup>5</sup> para la determinación del rango de pendiente. Se excluyen variables de precipitación y temperatura ya que se orientan mejor en modelos de probabilidad de incendios forestales y porque no existen series temporales de datos representativos de microclimas del área de estudio.

---

<sup>4</sup> Se consideró como experto al Profesor guía del presente trabajo de tesis

<sup>5</sup> SRTM de 30 metros de resolución espacial descargado de la plataforma web UGRS de la NASA

**Tabla 1 Criterios de clasificación de riesgos y variables territoriales asociadas**

Grupo	VARIABLES DE RIESGO (Capas de entrada)	Metodología para la clasificación	Criterios de clasificación	Clase de riesgo	
Ignición	Red Vial (Militar Geográfico Instituto, Chile)	Distancia de carreteras y vías férreas	0-100 metros	7	
			100-200 m	6	
			200-300 m	5	
			300-400 m	4	
			400-500 m	3	
			500-600 m	2	
	Áreas pobladas consolidadas y dispersas (Instituto Nacional de Estadísticas, Chile)	Distancia de las zonas pobladas (200 m de amortiguamiento). Se asignó mayor riesgo a zonas pobladas dispersas	>600 metros	1	
			Localidad	7	
			Comunidades Mapuche	6	
			Caseríos	5	
			Aldea	4	
			Pueblo	3	
	Catástro de recursos vegetacionaes (CONAF)	Tipo de cobertura terrestre	Ciudad	2	
			Resto del área de estudio	1	
			Plantación forestal	7	
Bosque Nativo			6		
Matorral nativo			5		
Propagación	Modelo digital de elevación (UGSR NASA)	Rango de pendiente	Praderas	4	
			Agricultura	3	
			Áreas urbanas- Agua	2	
			Humedales	1	
			35% <	7	
			30-35%	6	
	Continental masas de agua, ríos y arroyos permanentes (General directorio de agua, Chile)	Distancia a cuerpos de agua y permanentes cursos de agua	25-30%	5	
			20-25 %	4	
			15-20 %	3	
			10-15 %	2	
			0-10 %	1	
			300 m. <	7	
			250-300 m.	6	
			200-250 m.	5	
			150-200 m.	4	
Impacto	Formaciones de vegetación (Lueberto y Pliscoff, 2009)	Vulnerabilidad basada en el área total nacional, porcentaje bajo áreas protegidas, número de especies vulnerables	100-150 m.	3	
			50-100 m.	2	
			0-50 m.	1	
			Bosque resinoso templado costero de Araucaria araucana	7	
			Bosque laurifolio templado costero de Auxtoxicum punctatum-Laurelia sempervirens	7	
			Bosque caducifolio templado costero de Nothofagus alpina-Persea lingue	6	
	Áreas públicas y privadas en categoría de conservación vulnerables (Infraestructura nacional de datos espaciales)	Puntuación basada en áreas con diferentes restricciones (áreas protegidas nacionales, sitios propietarios de conservación y humedales vulnerables no protegidos).	Consulte la Tabla 2 para ver la definición de puntajes para diferentes áreas protegidas	Bosque caducifolio mediterráneo de Nothofagus oblicua-Persea lingue	6
				Bosque mixto mediterráneo templado costero de Nothofagus dombeyi-Nothofagus oblicua	5
				Bosque caducifolio mediterráneo interior de Nothofagus oblicua-Cryptocarya alba	4
				Sin Bosques-Lagos	1
				7	7
				6	6
5	5				
4	4				
3	3				
2	2				
1	1				

Fuente: (Bañales-Seguel et al., 2018) modificada

## 7.2 Preparación de variables territoriales del índice de riesgo de incendios forestales

### 7.2.1 Variables de Ignición

El inicio de un incendio está condicionado a la presencia de una fuente ignición, ya sea esta natural o antrópica (Martínez et al., 2017). Por una parte se utiliza la variable la *Red vial*, considerada como la principal fuente de ignición por el alto flujo de personas y tránsito vehicular que posibilita la conexión con los centros urbanos o periurbanos (Castillo et al., 2009). Se define un área umbral de riesgo o buffer que va desde los 100 m. hasta mayor a 600 m. explicando el riesgo de encendido del fuego, entendiendo que, mientras **más cercano al camino, mayor riesgo de ignición**. Respecto a las *Áreas pobladas* (Chuvieco & Kasischke, 2007), las *Localidades, Aldeas, Comunidades Mapuche, Pueblo y Ciudad*, también definen el riesgo de encendido del fuego en función de un área buffer estandarizada de 200 m., por cuanto, **mientras más dispersa el área poblada y mayor densidad poblacional mayor riesgo de ocurrencia de incendios forestales**. Para el caso de la variable *Tipo de combustible*, el análisis se realiza identificando la cobertura vegetal que representa **mayor riesgo de encendido del fuego ya sea, por su continuidad espacial, extensión y carga vegetal, especialmente seca en periodos estivales**. Los registros geoespaciales de todas las áreas pobladas provienen del INE<sup>6</sup>, sólo para el caso de las

---

<sup>6</sup> Instituto Nacional de Estadísticas

*Comunidades Mapuche*, la información fue proporcionada por la CONADI<sup>7</sup>. Por su parte, las capas vectoriales de la red vial, se obtuvieron a través de la plataforma web IDE MINAGRI<sup>8</sup>. El cuanto a la cobertura vegetal las capas vectoriales derivan del catastro de recursos vegetacionales de Chile<sup>9</sup>.

### 7.2.2 Variables de Propagación

Las características topográficas de un territorio afectan el comportamiento del fuego. El fuego introduce dinámicas muy diferentes, ya que tienden a distribuirse de manera diferente en el espacio, quemando con mayor frecuencia ciertas posiciones topográficas y tipos de coberturas del suelo que otras (Viedma, 2008). Para la presente investigación, son consideradas las variables **topografía e hidrografía**. Por medio de un modelo digital de elevación SRTM<sup>10</sup> y SIG se categorizan *rangos de pendientes* para ponderar el riesgo de incendios forestales. **Entre más elevado el rango de pendiente, mayor es el riesgo de propagación del fuego en caso de ocurrencia**. Para el área de estudio constituye un rango que va desde 0 a 10% hasta mayor a 35% de pendiente. Respecto a la característica *hidrográfica*, la proximidad a cursos de agua

---

<sup>7</sup> Corporación Nacional de Desarrollo Indígena

<sup>8</sup> Infraestructura de Datos Espaciales del Ministerio de Agricultura

<sup>9</sup> Provenientes del CIREN

<sup>10</sup> Por sus siglas en inglés, Shuttle Radar Topography Mission

minimiza la propagación del fuego (Carmona et al., 2012), actuando algunas veces como cortafuego, determinando el rango de distancia específica entre elementos de riesgos de incendios. Por tanto, **entre más cercano al curso de agua menor riesgo de propagación del fuego**, especialmente, en aquellos cursos de flujo permanente. Se definió un área buffer desde un rango de 0 a 50 metros hasta mayor a 300 metros. La información vectorial hidrográfica del área de estudio fue proporcionada por la DGA<sup>11</sup>.

### 7.2.3 Variables de Impacto

Esta etapa identifica aquellos elementos territoriales amenazados en términos de su vulnerabilidad, particularmente, aquellos considerados de alto valor de conservación por la biodiversidad y ecosistemas boscosos que representan, los cuales podrían ser afectados en caso de ocurrencia de incendios forestales. Por medio de una clasificación ponderada según el objeto de conservación por el cual fueron creadas, se determinó el riesgo de impacto de las *áreas protegidas por el estado y áreas privadas de alto valor de conservación*. En consecuencia, un Parque Nacional, por presentar mayores atributos de conservación en cuanto a su biodiversidad y ecosistemas boscosos, tiene un mayor riesgo de impacto frente a un evento de incendio forestal. Por otro lado, la variable *pisos*

---

<sup>11</sup> Dirección General de Aguas

*vegetacionales* define el riesgo de impacto según su representatividad, asignándole un grado de vulnerabilidad jerárquico con relación a la superficie total nacional y categoría de vulnerabilidad de conservación de especies amenazadas. Por ejemplo, el ***Bosque laurifolio templado costero de Auxtoxicum punctatum-Laurelia sempervirens*** es un tipo bosque endémico ubicado sólo e un área remota a nivel nacional por cuanto corresponde a un bosque de alto interés para su conservación categorizado con la mayor clase de riesgo 7. Las capas de entrada de *pisos vegetacionales* corresponden a la caracterización realizada por (Luebert & Pliscoff, 2006) actualizada<sup>12</sup> y para las áreas de alto valor de conservación y áreas silvestres protegidas por el estado proporcionado por el Ministerio de medioambiente, a través de su página WEB y por la CONAF respectivamente.

### **7.3 Integración de variables y cálculo del índice de riesgo**

Para el cálculo de la clasificación de riesgos de incendios forestales se procedió a la elaboración de un mapa conglomerado por cada variable o grupo de riesgo a través de la integración de variables y de acuerdo a una evaluación multicriterio estandarizada e intersección de datos geoespaciales. Luego, con la intersección

---

<sup>12</sup> Actualizada en el año 2017 por los mismos autores

de dichos conglomerados se obtuvo el mapa de riesgos de incendios forestales, el cual corresponde al objeto de análisis investigativo.

#### **7.4 Comparación del índice de riesgo resultante con datos históricos de ocurrencia de incendios forestales**

Para comparar la clasificación de riesgo de incendios forestales en función del área de estudio se utilizaron aquellos focos de incendios forestales ocurridos entre los años 2012 y 2022 proporcionados por la CONAF. El propósito es contrastar dichos registros históricos con la intersección de las distintas clasificaciones de riesgos de incendios forestales en términos de cobertura espacial y de esa manera relacionar la coherencia metodológica aplicada con todas las variables de riesgos integradas. Para determinar el grado de confianza de los datos se utilizó el método de correlación de Pearson.

## VIII. RESULTADOS

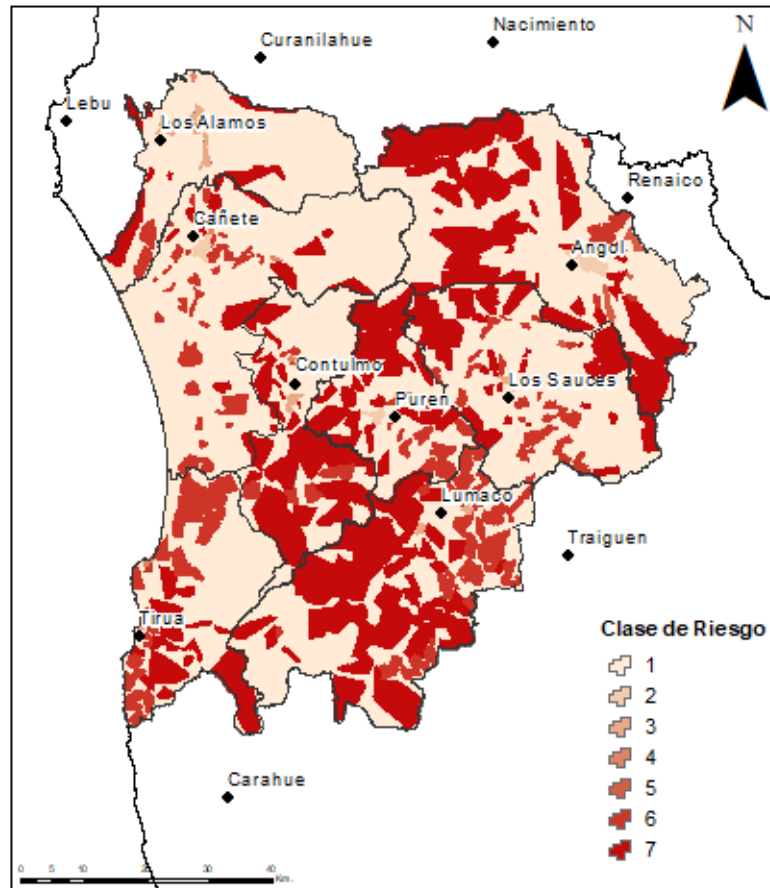
### 8.1 Variables territoriales del índice de riesgo de incendios forestales

#### 8.1.1 Grupo de Ignición

##### Áreas pobladas

Para el caso de las áreas pobladas el propósito fue definir una extensión buffer, relacionando el mayor riesgo de inicio del fuego en aquellas áreas pobladas con una alta distribución espacial, entendiendo que, existe una probabilidad elevada de ignición del fuego dado el flujo, acción y actividades cotidianas de personas. La figura N° 3 indica la clasificación de riesgo aplicando el proceso metodológico.

Figura 3 Áreas Pobladas



Fuente: Elaboración propia

Las *Comunidades Mapuche y Localidades* fueron clasificadas con mayor riesgo de ocurrencia de incendios forestales, 6 y 7 respectivamente representando el 38,58% (ver cuadro N° 2). Las *Ciudades y Pueblos* obtienen una clase de riesgo menor, sin embargo, diversas acciones humanas en dichas áreas podrían desencadenar igualmente desastres socionaturales de gran magnitud, especialmente, en aquellas áreas periurbanas cercanas a combustible vegetal seco. El área poblada con menor riesgo de encendido del fuego corresponde a

la denominada *Áreas con menor dispersión* con clase 1 representando un 59,94% del área de estudio, debido principalmente por presentar menor dispersión de áreas pobladas en el área de estudio.

**Tabla 2 Representación espacial del riesgo. Áreas Pobladas**

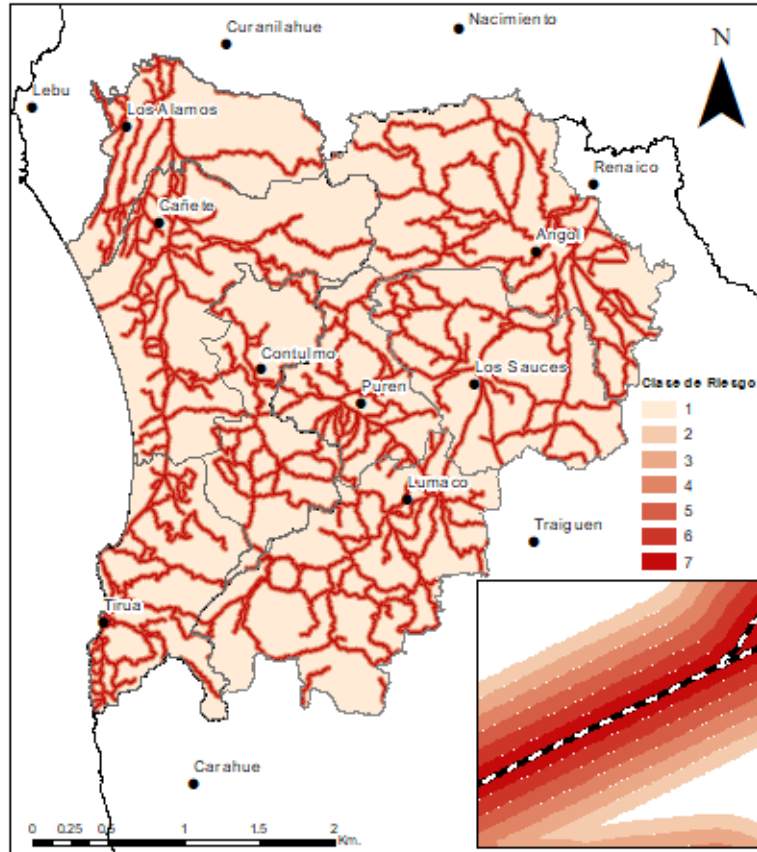
<b>Áreas Pobladas</b>	<b>Clase de Riesgo</b>	<b>Cobertura espacial (%)</b>
Áreas con menor dispersión	1	59.94
Ciudad	2	0.52
Pueblos	3	0.52
Aldea	4	0.19
Caseríos	5	0.24
Comunidades Mapuche	6	8.97
Localidad	7	29.61

**Fuente: Elaboración propia**

### Red vial

El área buffer de la red vial considera una distancia inicial de 100 metros con clase de riesgo 7 (ver figura N°4), superando los 600 metros con clase de riesgo 1, entendiendo la relación de cercanía con el flujo vehicular y acción humana lo que aumenta el riesgo de encendido del fuego.

**Figura 4 Clase de riesgo. Red Vial**



**Fuente: Elaboración propia**

La mayor parte del área de estudio representa un riesgo de encendido menor con un 60,46%. El área con mayor riesgo está representada con un 7,76% de cobertura espacial con clase de riesgo 7.

**Tabla 3 Representación espacial del riesgo. Red Vial**

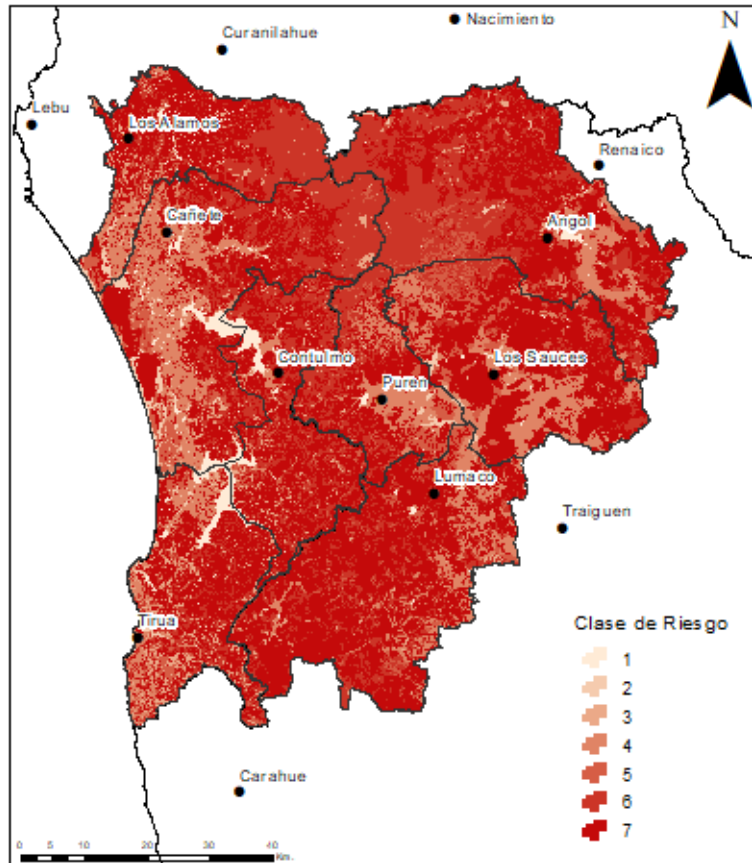
<b>Criterio de clasificación</b>	<b>Clase de Riesgo</b>	<b>Cobertura espacial (%)</b>
600 m.<	1	60.46
500-600 m.	2	5.54
400-500 m.	3	5.93
300-400 m.	4	6.33
200-300 m.	5	6.76
100-200 m.	6	7.23
0-100 m.	7	7.76

Fuente: Elaboración propia

### Tipo de combustible

La mayor carga vegetal combustible seca en periodos estivales, como una de las variables significativas de encendido del fuego, son proporcionadas por los residuos de prácticas silviculturales de *Plantaciones forestales*, representado un 48,97% de la extensión analizada, por esta razón, es clasificada con riesgo 7, tal como la ilustra la figura N°5, con mayor representatividad en el área de estudio localizadas principalmente en el cordón cordillerano de Nahuelbuta.

**Figura 5 Clase de riesgo. Tipo combustible**



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4 Representación espacial del riesgo. Tipo combustible**

Criterio de clasificación	Clase de Riesgo	Cobertura espacial (%)
Áreas Urbanas-Agua	1	1.91
Humedales	2	1.12
Matorral Nativo	3	2.97
Agricultura	4	13.16
Praderas	5	6.80
Bosque Nativo	6	25.07
Plantaciones Forestales	7	48.97

Fuente: Elaboración propia

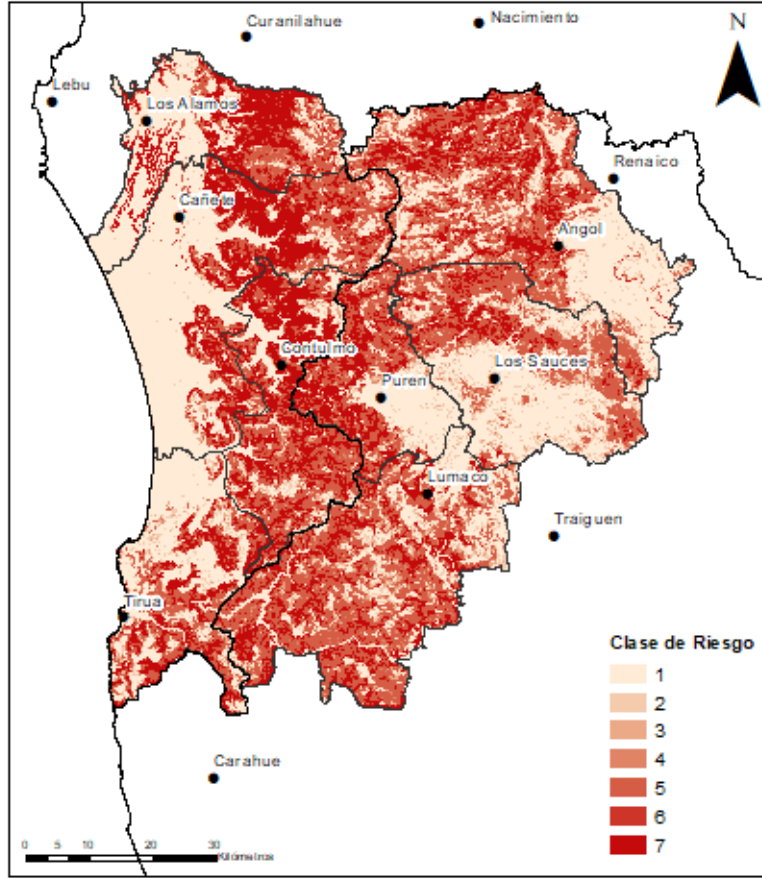
*El matorral y bosque nativo* es clasificada con riesgo más bien elevada con 5 y 6 respectivamente, debido, especialmente, por su condición seca en periodos estivales y la incidencia respecto a la continuidad espacial de coberturas vegetales mayormente mixtas, consecuencia intensificada igualmente por el fenómeno meteorológico que ha representado la variabilidad y distribución de las lluvias y temperaturas producto del cambio climático y fenómenos extremos como el niño. Los extremos positivos serían los *humedales y áreas urbanas* componentes espaciales con bajo contenido de carga vegetal seca y mayormente húmedas.

#### 8.1.2 Grupo de Propagación.

##### Topografía

**La mayor extensión del área de estudio está caracterizada por pendientes fuertes y muy elevadas** debido a que, predomina la Cordillera de Nahuelbuta como un elemento geológico y geográfico significativo.

**Figura 6 Clase de riesgo. Rango de Pendiente**



**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla 5 Representación espacial del riesgo. Rango de Pendiente**

<b>Criterio de clasificación</b>	<b>Clase de Riesgo</b>	<b>Cobertura espacial (%)</b>
0-10 %	1	37.85
10-15 %	2	4.78
15-20 %	3	3.44
20-25 %	4	2.26
25-30 %	5	29.58
30-35 %	6	0.16
40 % <	7	21.93

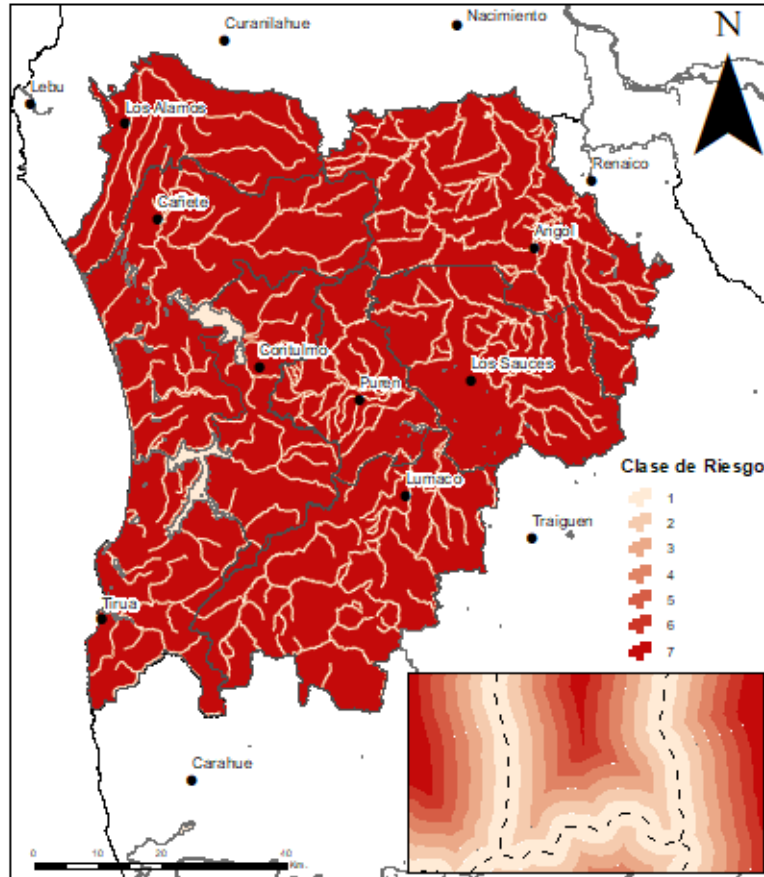
**Fuente: Elaboración propia**

En cuanto al riesgo de incendios forestales, las elevaciones y zonas escarpadas son causales de propagación del fuego especialmente con paisajes continuos de vegetación y una barrera para el control del mismo. **Las clases con mayor riesgo de propagación del fuego dado su rango de pendiente en el área de estudio y su representatividad corresponde a aquellas que van desde los 20% de pendiente hasta el 40% de rango.**

### Red hidrográfica

Para definir la clase de riesgo de la *Red Hidrográfica*, igualmente se estableció un área buffer cada 50 metros hasta superar los 300 metros (ver Figura N°7). Con relación a la propagación del fuego, en caso de ocurrencia de incendios forestales, **entre más cercano dicho buffer a la red hídrica menor es el riesgo de propagación o mayor capacidad de contención**, actuando como una barrera o faja natural, especialmente, en aquellos cauces de flujo permanente.

**Figura 7 Clase de riesgo. Red Hidrográfica**



**Fuente: Elaboración propia**

Por consecuencia, la mayor superficie del área de estudio obtiene una clase de riesgo 7 con 512.947 ha. El resto de clases de riesgo abarca una superficie entre 22.000 y 25.000 ha.

**Tabla 6 Representación espacial del riesgo. Áreas Red Hidrográfica**

<b>Criterio de clasificación</b>	<b>Clase de Riesgo</b>	<b>Cobertura espacial (%)</b>
0-50 m.	1	3.89
50-100 m.	2	3.81
100-150 m.	3	3.71
150-200 m.	4	3.61
200-250 m.	5	3.53
250-300 m.	6	3.45
300 m. <	7	78.00

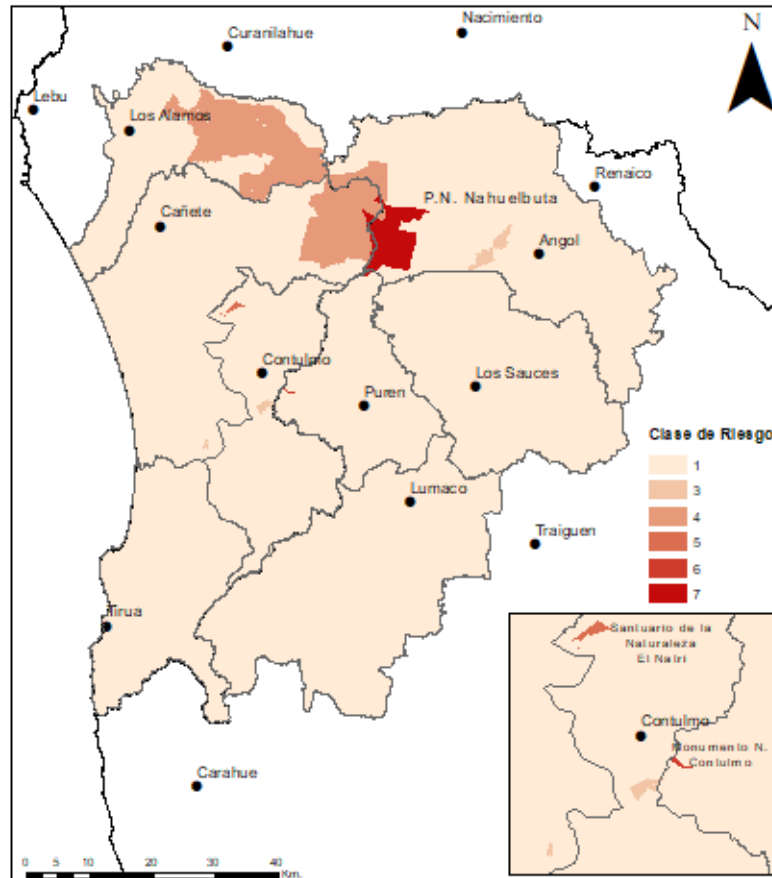
**Fuente: Elaboración propia**

### 8.1.3 Grupo de Impacto.

#### Áreas de alto valor de conservación

El mayor riesgo en caso de ocurrencia de incendios forestales lo tiene el *Parque Nacional Nahuelbuta* con clase de riesgo 7. Luego, con clase de riesgo 6, 5 y 4, el *Monumento Natural Contulmo*, *Santuario de la Naturaleza El Natri* y el *área de conservación privada Caramávida* respectivamente.

**Figura 8 Clase de riesgo. Áreas de Alto Valor de Conservación**



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 7 Representación espacial del riesgo. Áreas de alto valor de conservación**

Criterio de clasificación	Clase de Riesgo	Cobertura espacial (%)
Sin áreas de alto valor de conservación	1	93.07
Otras áreas de alto valor de conservación	3	0.25
Área de alto valor de conservación Caramávida	4	5.58
Santuario de la Naturaleza El Natri	5	0.04
Monumento Natural Contulmo	6	0.01
Parque Nacional Nahuelbuta	7	1.04

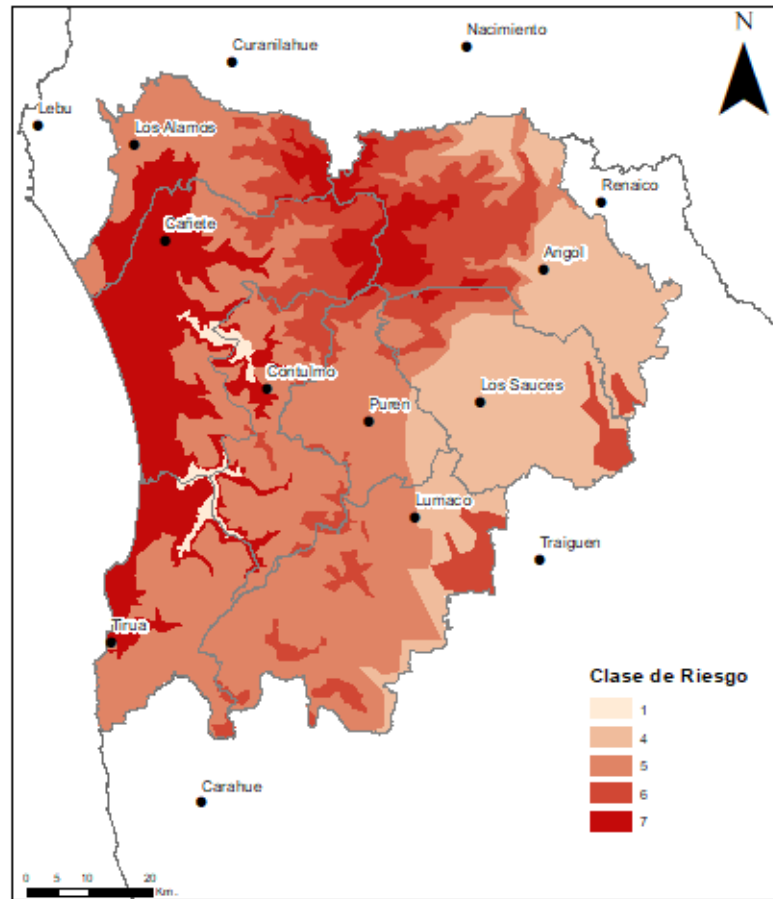
Fuente: Elaboración propia

Mientras mayores atributos silvestres y, representatividad de la biodiversidad y especies endémicas en un área de alto valor de conservación o área silvestre protegida por el Estado, independientemente de su extensión, mayor es el riesgo de impacto, su afectación sería significativo en caso de un incendio forestal con un impacto negativo.

### *Pisos vegetacionales*

*Los bosques resinosos templado costero de Araucaria araucana y laurifolio templado costero de Aextocicom punctacum-Laurelia sempervirens tienen una clase de riesgo 7. Considerados bosques endémicos únicos presente en el área de estudio, por cuanto, al ser afectado por un incendio forestal sería de alto riesgo de impacto dada su vulnerabilidad.*

Figura 9 Clase de riesgo. Pisos Vegetacionales



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 8 Representación espacial del riesgo. Pisos vegetacionales**

<b>Criterio de clasificación</b>	<b>Clase de Riesgo</b>	<b>Cobertura espacial (%)</b>
Sin Bosques-Lagos	1	93.07
Bosque caducifolio mediterráneo interior de <i>Nothofagus oblicua</i> - <i>Cryptocarya alba</i>	4	0.25
Bosque mixto mediterráneo templado costero de <i>Nothofagus dombeyi</i> - <i>Nothofagus oblicua</i>	5	5.58
Bosque caducifolio mediterráneo de <i>Nothofagus oblicua</i> - <i>Persea lingue</i>	6	0.04
Bosque caducifolio templado costero de <i>Nothofagus alpina</i> - <i>Persea lingue</i>	6	0.01
Bosque laurifolio templado costero de <i>Auxtoxicum punctatum</i> - <i>Laurelia sempervirens</i>	7	1.04
Bosque resinoso templado costero de <i>Araucaria araucana</i>	7	1.04

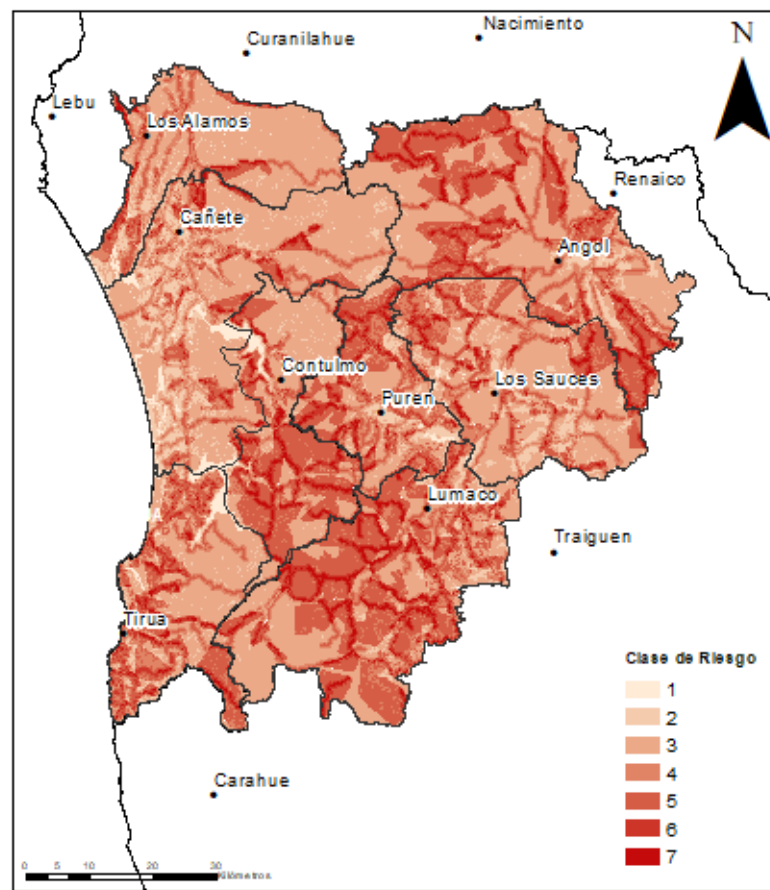
**Fuente: Elaboración propia**

En una condición menos riesgosa, pero con igual significancia, están los *bosques caducifolios templados costeros de Nothofagus alpina-Persea Lingue y caducifolio mediterráneo Nothofagus oblicua-Persea Lingue* ambos con clase riesgo 6 diferenciándose de los anteriores, pues, tienen mayor representación respecto al territorio nacional. Ambas clases de riesgos, 6 y 7, suman 231.137 ha. casi la mitad de la superficie total del área de estudio.

## 8.2 Integración de factores grupales de ignición, propagación e impacto para la determinación del riesgo de incendios forestales en el área de estudio

Según indica la Figura N° 10, al cruzar las variables del grupo de *ignición*, la mayor parte de la cobertura espacial se categoriza con un riesgo más bien moderado con clase 3 representando un 41, 97 % del área de estudio con 276.014 hectáreas.

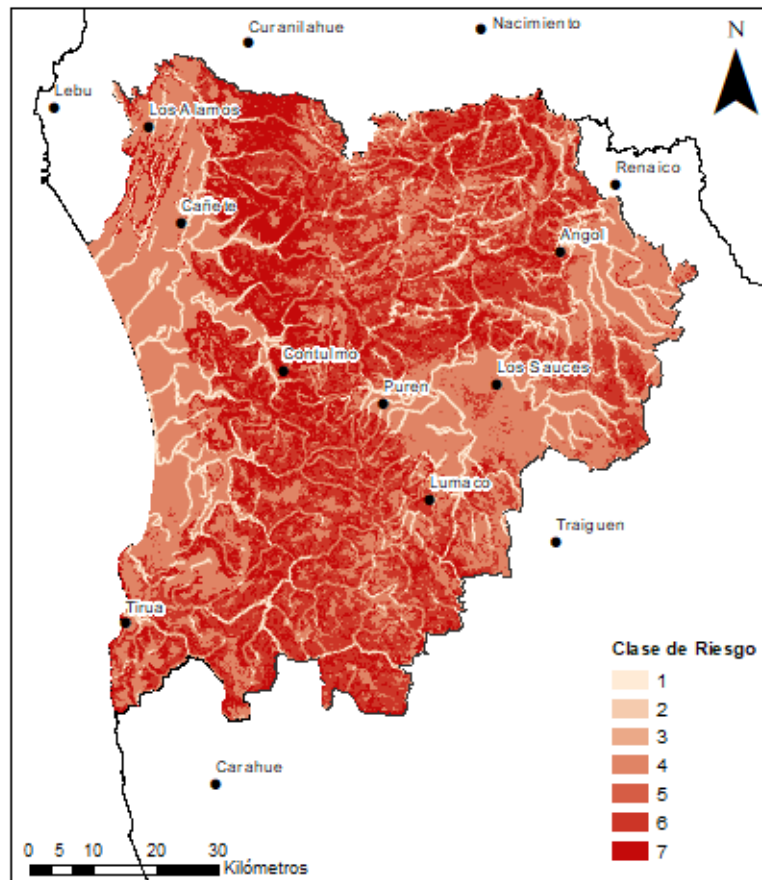
Figura 10 Mapa de riesgo conglomerado grupo de ignición



Fuente: Elaboración propia

El riesgo más alto con clase 6 y 7 se localiza principalmente en la *Red vial* y gran parte del área poblada denominada *Localidad* sumando un 11,43% con significancia en el área de estudio de 75.432 hectáreas, entendiendo que son áreas de alto flujo de personas e infraestructura asociada.

Figura 11 Mapa de riesgo conglomerado. Grupo de propagación

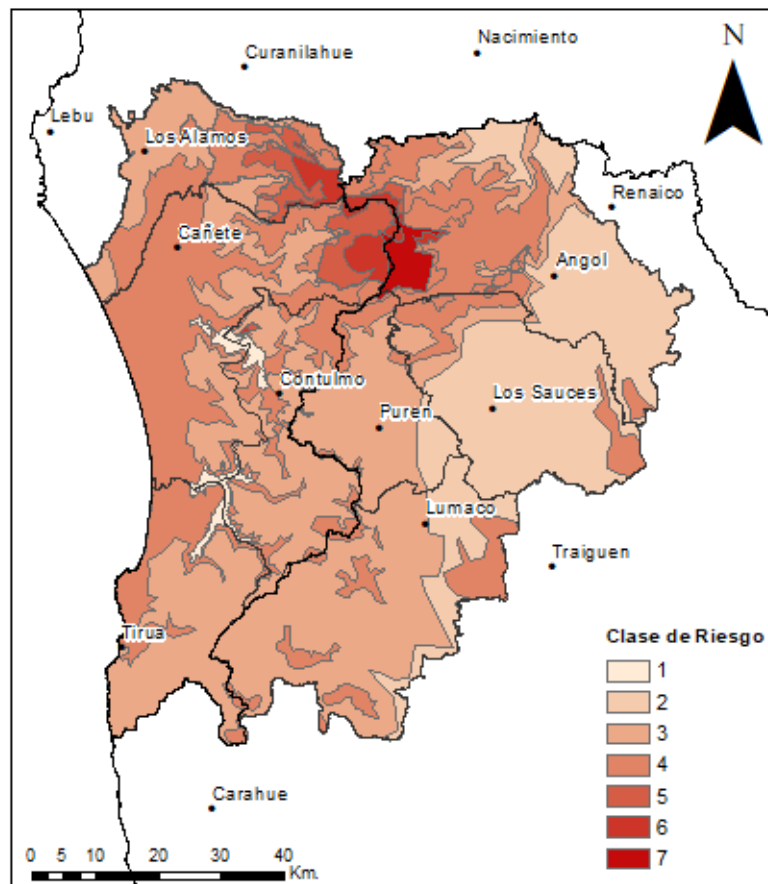


Fuente: Elaboración propia

En cuanto a las variables del grupo de propagación, **las clases de mayor riesgo de incendios forestales, 6 y 7, representan una extensa cobertura espacial en comparación con el resto de las clases, con un 26, 51 % y 15,99%**

respectivamente, especialmente en aquellas áreas con pendientes que superan el 20%. De igual manera, importante es, la representatividad espacial de la clase de riesgo 4, con un 36,64%, principalmente en aquellas áreas con menor pendiente. No obstante, una mayor distribución de asentamientos humanos e infraestructuras asociadas explicaría un elevado riesgo de peligrosidad de incendios forestales debido justamente a la propagación de eventos desde áreas con mayor riesgo.

**Figura 12 Mapa de riesgo conglomerado. Grupo de impacto**



Fuente: Elaboración propia

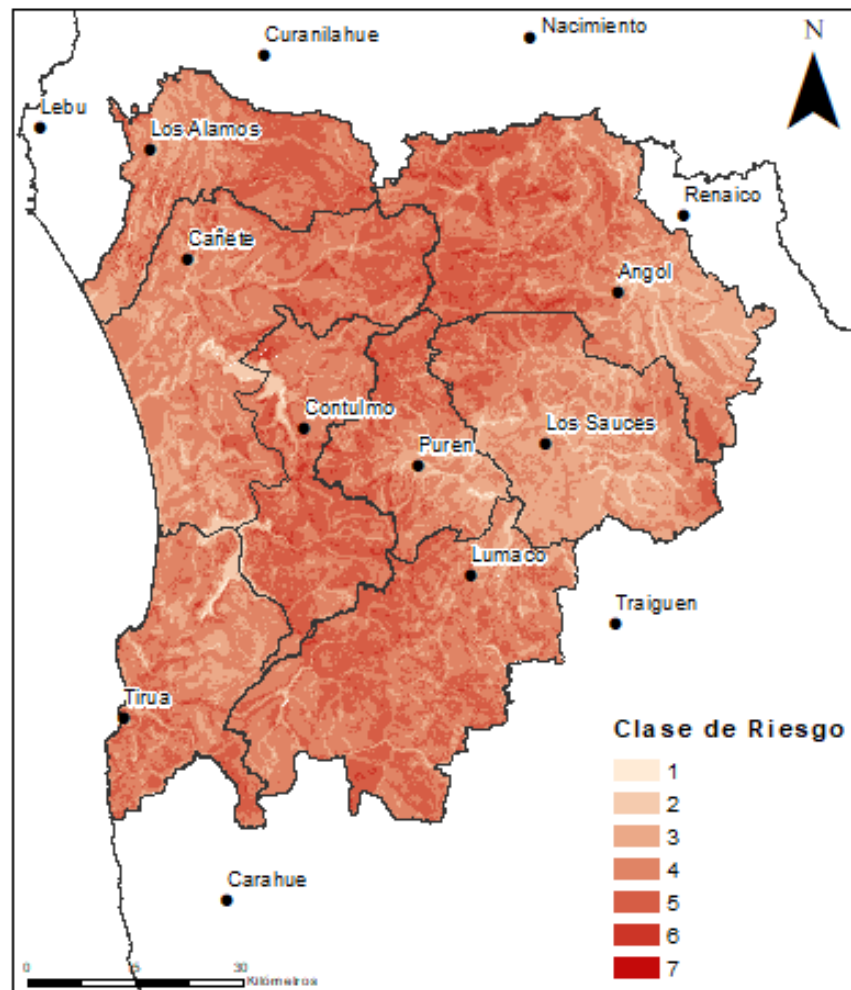
Respecto a la importancia de aquellas áreas de alta significancia ambiental y vegetacional ubicadas en el área de estudio y en cuanto al impacto significativo que podrían tener debido a la ocurrencia de incendios forestales, las clases con mayor riesgo, 6 y 7, abarcan una superficie menor respecto a otras clases de riesgos con 1,68 % y 0,95% respectivamente. No obstante, éstas corresponden a áreas naturales de alto valor de conservación de la biodiversidad representadas por el Parque Nacional Nahuebulta y parte del Área de Alto Valor de Conservación privada Caramávida.

Otro aspecto relevante es, la extensión espacial que consideran las clases 3 y 4 abarcando el 72, 24 % del área de estudio, considerando mayormente coberturas o pisos vegetacionales de alto valor de conservación y endemismo, algunos como los bosques de olivillo localizados únicamente en zonas concentradas en el área de estudio.

### 8.3 Integración de factores de riesgos

Luego de la integración de todos aquellos factores de grupos de riesgos de ignición, propagación e impacto, 3 clasificaciones de riesgos superaron, en su conjunto, el 95,59% de la superficie del área de estudio.

Figura 13 Mapa de Riesgo



Fuente: Elaboración propia

La mayor extensión de riesgo con 319.630 ha., abarca un 48,68% del área de estudio obteniendo una clasificación 4. A continuación, con una superficie de 166.972 ha. con el 25,43% del área de estudio, una clasificación 5 y finalmente con el 21,47% del área de estudio con 140.991 ha., una clasificación 3, localizándose mayormente en áreas geográficas cordilleranas. En cuanto a la extensión clasificada con menor riesgo, 1 y 2, son aquellas áreas de lagos, ríos y humedales representadas con un 3,37 % del área de estudio con 22.157 ha. Las clasificaciones de riesgo 6 y 7, consideradas las más altas del método investigativo abarcan una superficie menor de 6.771 y 16 ha. respectivamente abarcando una superficie total del 1,03% del área de estudio.

**Tabla 9 Cobertura espacial/clase de riesgo**

<b>Clase de riesgo</b>	<b>Superficie (ha.)</b>
1	940
2	21.217
3	140.991
4	319.630
5	166.972
6	6.771
7	16
<b>TOTAL</b>	<b>656.537</b>

**Fuente: Elaboración propia**

#### 8.4 Análisis histórico de focos de incendios y la relación espacial con la clasificación de riesgos de incendios forestales

Existe una alta correlación entre los focos de incendios forestales ocurridos en el área de estudio entre los años 2012 y 2022 y la clase de riesgo en términos de magnitud y superficie (ver Figura N°15). El método de *correlación de Pearson* entrega un 95% de confianza según indica la Tabla 9.

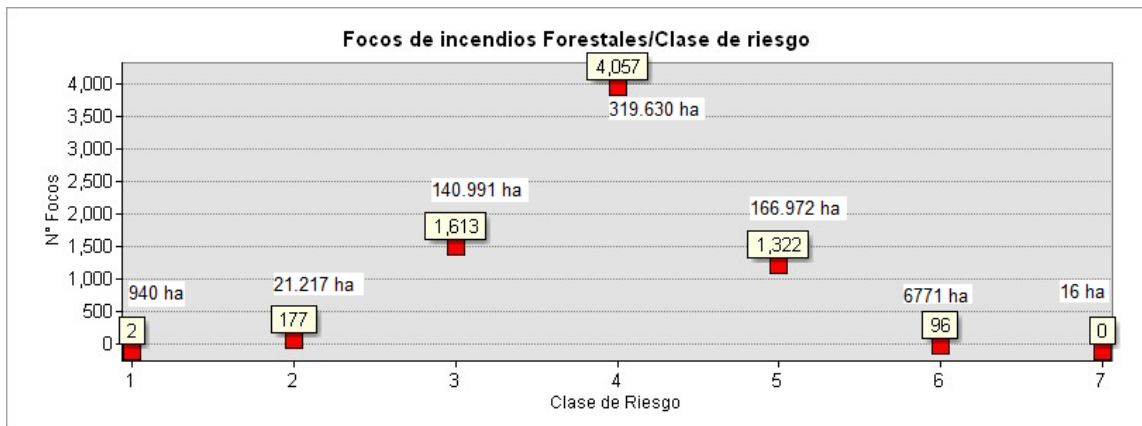
**Tabla 10 Correlación de Pearson. Focos de incendios/Clase de riesgo/Superficie**

	<i>Focos de incendios</i>	<i>Superficie</i>
Focos de incendios	1	
Superficie	0.945103221	1

La Figura 15 ilustra por un lado que, si aumenta la superficie desde la clase 1 hasta la clase 4 también aumenta el número de focos de incendios forestales, de igual forma, desde la clase 4 hasta la clase 7 inversamente proporcional, expresando intrínsecamente la magnitud del riesgo de incendios forestales en sus distintas clases. Por ejemplo, el número mayor de ocurrencias de incendios forestales registrados con 4057 focos, se relaciona también con la mayor superficie del área de estudio que resultó con clase de riesgo 4 con 319.630 ha. Por otro lado, la menor superficie con 16 ha. del área de estudio representada con la clase de riesgo 7 se relaciona con el menor dato de focos de incendios

forestales que corresponde a 0 focos. En consecuencia, es posible indicar que, el modelo de (Bañales-Seguel et al., 2018) es un buen estimador del riesgo ya que expresa una alta relación entre las distintas clases de riesgo, la cobertura espacial del área de estudio y focos de incendios forestales históricos teniendo un comportamiento normal de los datos. El modelo al integrar en su cálculo las variables de ignición, propagación e impacto como elementos basales para la clasificación del riesgo, entrega robustez en el análisis histórico comparativo con los focos de incendios, la cobertura espacial y aquellos elementos naturales, geográficos y estructurales del área de estudio.

**Figura 14 Relación focos de incendios y clase de riesgo**



Fuente Elaboración propia

## IX. DISCUSIÓN

Los elementos metodológicos considerados en la propuesta ajustada de (Bañales-Seguel et al., 2018) para la clasificación de riesgos de incendios forestales representaron objetivamente las características del área de estudio, a pesar que, fue propuesto para una condición de clima mediterráneo en la zona centro de Chile. Si bien es cierto, existen distintos métodos que determinan el riesgo y peligrosidad de incendios, el utilizado para este estudio fortalece la idea que, las amenazas –como fuentes externas- junto a la vulnerabilidad respecto al daño e impacto al territorio son elementos determinantes para la categorización del riesgo de incendios forestales. La metodología investigativa, acota coherentemente el análisis espacial con variables estructurales del territorio como fuerzas desencadenantes de riesgos de incendios forestales. Por ejemplo, explica el riesgo de ignición en el área de estudio, principalmente, por la expedita interconectividad entre las áreas pobladas urbanas-rural, independientemente de la clasificación dada, facilitada por una red vial prolongada hacia puntos remotos, la cual constituye una amenaza constante de encendido del fuego. Tal como indica Catillo (2009) relevante es, el efecto espacial de las vías de comunicaciones por cuanto la trayectoria de ellas es un predictor de la distribución de incendios. En tanto, las características cordilleranas, con zonas escarpadas, quebradas pronunciadas y fuertes pendientes, otorgan, por un lado,

una relación representativa de los elementos metodológicos de propagación del fuego en caso de ocurrencia y, por otro, determinan la probabilidad de contención respecto a la distancia con la red hidrográfica. Por su parte, la lógica de impacto de incendios en el área de estudio y la vulnerabilidad de aquellos elementos naturales de alto valor de conservación, a pesar que, no es representativa en términos espaciales, si es determinante en la ponderación de aquellas áreas con mayores atributos en cuanto a la biodiversidad y alto nivel de endemismo como el parque nacional Nahuelbuta y el Monumento Natural Contulmo. El aumento de la fragmentación de paisajes, el cambio del uso del suelo y la creciente demanda por agua, ha ocasionado el aumento de la vulnerabilidad de muchas especies del bosque nativo en Chile (Castillo 2019). El fuego puede destruir extensas áreas de vegetación nativa (...) con el consiguiente impacto sobre los servicios ecosistémicos (Castillo 2019).

La alta correlación según *Pearson* entre los focos de incendios forestales del periodo 2012 y 2022 y las clases de riesgos, es posible indicar que, el método de (Bañales-Seguel et al., 2018) corresponde a un buen estimador en cuanto a su análisis histórico. Sin embargo, podría tener mayor robustez espacial y certeza del daño -post disturbio- si al análisis espacio-temporal se incorporarán los datos del perímetro y cicatrices de incendios históricos evaluando la pérdida vegetal para la propuesta de medidas de restauración *ex post*.

Respecto al análisis, sistematización y optimización de datos geoespaciales, el uso de sistemas de información geográfica proporcionó una ventaja significativa

tanto para el manejo de datos vectoriales como raster. El modelo, al incorporar gran cantidad de datos, los SIG optimizaron adecuadamente el propósito investigativo al igual que la validación y relación de aquellos datos históricos de focos de incendios forestales con el geoproceso e interpolación con el área de estudio y la clasificación de riesgos.

## X. CONCLUSIONES

1. Al integrar todos los factores de riesgo; ignición, propagación e impacto, para la determinación final de clasificación de riesgo de incendios forestales, uno de los resultados a destacar corresponde a, la magnitud de riesgo con clasificación 7. A pesar que, no representa una superficie mayoritaria del área de estudio, expresa un riesgo significativo en términos de vulnerabilidad, al localizar la clasificación en áreas silvestres protegidas por el estado. En parte, involucra al Parque Nacional Nahuelbuta con 2,59 ha. y por otro lado, sobrepasa el área del Monumento Natural Contulmo con 13,8 ha. Sin duda, dichas áreas silvestres son de alto valor de conservación por sus atributos ecológicos y ecosistémicos, sin embargo, no son representativas del área de estudio. Respecto a la clasificación de riesgo 4 es la que representa mayor extensión con 319.630 ha. con una magnitud de riesgo importante. Esta área corresponde a la de mayor preocupación, pues, distribuyen la magnitud del riesgo prácticamente en toda el área de estudio.
2. Los focos de incendios forestales marcan una tendencia normal de ocurrencias en el periodo analizado y tienen relación con la superficie de las clasificaciones de riesgos. Sin embargo, es importante conocer las

diversas causas de ocurrencia y sus frecuencias de manera alertar posibles medidas preventivas cada temporada.

3. En cuanto a la clasificación por grupo de riesgo, el de “ignición” toma mayor relevancia en aquellas áreas con clasificación 6 y 7 correspondiente a las áreas pobladas “Localidades” y “Comunidades Mapuche”, las cuales se encuentran cercanas a la red vial y plantaciones forestales. Cabe indicar que, las Provincias de Arauco y Malleco presentan un elevado número de población y comunidades Mapuche dispersas, asentadas próximas a plantaciones forestales pertenecientes principalmente a grandes y medianas empresas generando una problemática territorial persistente. En cuanto al grupo de riesgo “propagación”, las características geomorfológicas de la Cordillera de Nahuelbuta expresan un resultado con elevadas magnitudes de riesgo de incendios forestales, especialmente, en aquellas áreas con rangos de pendientes que superan el 20%, las cuales abarcan más del 53,93% del área de estudio con especial significancia aquellas con clasificación 7. En cuanto al efecto de la hidrografía presente, la mayor parte del área de estudio con el 78% presenta una clasificación 7 de riesgo. Importante es conocer la existencia de cursos permanentes y no permanentes asociado a influencias térmicas, distribución de precipitaciones y sequias estivales que de alguna manera pueden determinar el comportamiento de las cuencas en cuanto a sus características hidrogeomorfológicas y afluentes. Con relación al grupo de

“impacto” la clasificación de riesgo 6 y 7 toma relevancia por considerar, no sólo, el 100% de la extensión del Parque Nacional Nahuelbuta y Monumento Natural Contulmo, sino también abarcando también en parte el área de alto valor de conservación Caramávida lo que demuestra la alta vulnerabilidad de aquellos ecosistemas. Las distintas clases de riesgos entonces, representaron efectivamente la relación espacial entre el área de estudio y las variables de cada grupo de riesgo; ignición, propagación e impacto.

4. En consecuencia, para evitar efectos negativos, no solo, para sociedad y su infraestructura asociada, sino también para el resguardo y preservación de los atributos de las áreas de alto valor de conservación, relevante es, la existencia de una gestión responsable del manejo del riesgo de desastres socionaturales que involucre a todos los actores claves, ya sea, desde una sociedad civil más involucrada hacia aquellos responsables de la gestión pública que, de alguna manera, inciden en aquellos aspectos territoriales que determinan la transformación y fragmentación del paisaje del riesgo.

## XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bañales-Seguel, C., De La Barrera, F., & Salazar, A. (2018). . *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 26(2), 128-140. <https://doi.org/10.3846/16486897.2017.1374280>
- Carmona, A., González, M. E., Nahuelhual, L., & Silva, J. (2012). Spatio-temporal effects of human drivers on fire danger in Mediterranean Chile. *Bosque (Valdivia)*, 33(3), 321-328. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002012000300016>
- Castillo, M. (2021). *Adaptaciones de los programas de prevención contra incendios forestales en Chile, ante un escenario cambio climático* (pp. 179-197). [https://doi.org/10.34037/978-989-9053-06-9\\_1.2\\_13](https://doi.org/10.34037/978-989-9053-06-9_1.2_13)
- Castillo, M., Pedernera, P., & Pena, E. (2003). Incendios forestales y medio ambiente: Una síntesis global. *Revista Ambiente y Desarrollo*, 9(3), 44-53.
- Castillo, M., Quintanilla, V., & Julio, G. (2009). Análisis del riesgo y vulnerabilidad contra incendios forestales en áreas de interfaz, provincia de Valparaíso. *Territorium*, 16, Article 16. [https://doi.org/10.14195/1647-7723\\_16\\_12](https://doi.org/10.14195/1647-7723_16_12)
- Castillo, M., Saavedra, J., & B, B. B. B. (2019). SEVERIDAD DEL FUEGO EN LOS MEGA INCENDIOS FORESTALES OCURRIDOS EN CHILE, EN 2017. ACCIONES PARA MEJORAR EL SISTEMA DE PROTECCIÓN. *Territorium*, 26(I), Article 26(I). [https://doi.org/10.14195/1647-7723\\_26-1\\_1](https://doi.org/10.14195/1647-7723_26-1_1)
- Chuvieco, E., & Kasischke, E. S. (2007). Remote sensing information for fire management and fire effects assessment. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 112(G1). <https://doi.org/10.1029/2006JG000230>
- Cisternas, M., Martínez, P., Oyarzún, C., & Debels, P. (1999). Caracterización del proceso de reemplazo de vegetación nativa por plantaciones forestales en una cuenca lacustre de la Cordillera de Nahuelbuta, VIII Región, Chile. *Rev Chil Hist Nat*, 72, 661-670.
- Del Valle, C. (2005). Interculturalidad e intraculturalidad en el discurso de la prensa: Cobertura y tratamiento del discurso de las fuentes en el «conflicto indígena mapuche» desde el discurso político. *Redes.com : revista de estudios para el desarrollo social de la Comunicación*, 2, 83-111.

Díaz-Hormazábal, I., & González, M. E. (2016). Análisis espacio-temporal de incendios forestales en la región del Maule, Chile. *Bosque (Valdivia)*, 37(1), 147-158. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002016000100014>

Fontana, S., & Conrero, S. (2017). Estrategias de gobierno para gestionar el riesgo de desastres. *Estado Abierto. Revista sobre el Estado, la administración y las políticas públicas*, 1(2), Article 2.

Gellert de Pinto, G. I. (2012). El cambio de paradigma: De la atención de desastres a la gestión del riesgo. *Boletín Científico Sapiens Research*, 2(1), 13-17.

González, M. (2020). *Incendios en Chile: Causas, impactos y resiliencia*. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2. <https://www.cr2.cl/wp-content/uploads/2020/01/Informe-CR2-IncendiosforestalesenChile.pdf>

González, M. E., Lara, A., Urrutia, R., & Bosnich, J. (2011). Cambio climático y su impacto potencial en la ocurrencia de incendios forestales en la zona centro-sur de Chile (33°—42° S). *Bosque (Valdivia)*, 32(3), 215-219. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002011000300002>

Handke, M. (2019). La (des)contextualización del conocimiento geográfico en el manejo del riesgo de incendios forestales en Chile como un desafío para la gobernanza. *Revista de geografía Norte Grande*, 74, 65-91. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022019000300065>

Jaque, E. J., Leal, C. O., & Díaz, P. (2019). Vulnerabilidad educativa ante incendios forestales en el Área Metropolitana de Concepción. Caso de estudio: Penco, Chile. *Estudios Socioterritoriales. Revista de Geografía*, 25, Article 25. <https://doi.org/10.37838/unicen/est.25-022>

Luebert, F., & Pliscoff, P. (2006). *Sinopsis bioclimática y vegetal de Chile*. Editorial Universitaria.

Mabey, N., Gullede, J., Finel, B., & Silverthorne, K. (2011). *The Role of Risk Perception in Risk Management* (Degrees of Risk, pp. 50-68). E3G. <https://www.jstor.org/stable/resrep17711.7>

Manzo, L. de L., & López, J. (2013). Detección de áreas quemadas en el sureste de México, utilizando índices pre y post-incendio NBR y BAI, derivados de compuestos MODIS. *GeoFocus. International Review of Geographical Information Science and Technology*, 13\_2, Article 13\_2.

Martínez, S., Chuvieco, E., Aguado, I., & Salas, J. (2017). Severidad y regeneración en grandes incendios forestales: Análisis a partir de series

temporales de imágenes Landsat. *Revista de Teledetección*, 49, 17-32.  
<https://doi.org/10.4995/raet.2017.7182>

Mitsopoulos, I., Mallinis, G., & Arianoutsou, M. (2015). *Evaluación del riesgo de incendios forestales en un Mediterráneo típico Interfaz forestal-urbana de Grecia*. 16.

Otavo, S., & Echeverría, C. (2017). Fragmentación progresiva y pérdida de hábitat de bosques naturales en uno de los hotspot mundiales de biodiversidad. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88(4), 924-935.  
<https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.041>

Ponce, R., Vásquez Lavín, F., & Alonso Orrego, S. (2015). Gestión y valoración de riesgos climáticos a escala de cuenca: Propuestas desde la cuenca del río Vergara, Chile. En *La incertidumbre de los recursos hídricos y sus riesgos frente al cambio climático. Herramientas para los tomadores de decisiones de los sectores público y privado* (p. 69). Publicación de las Naciones Unidas.  
[https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40195/S1500538\\_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40195/S1500538_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Rivero, A. C. R., Pacheco, A. D. J. M., Garcia, P. G. C., & Vera, M. N. Z. (2017). Amenaza, vulnerabilidad y riesgo ante eventos naturales. Factores socialmente construidos. *Journal of Science and Research*, 2(6), Article 6.  
<https://doi.org/10.26910/issn.2528-8083vol2iss6.2017pp22-28>

Saglam, B., Bilgili, E., Dincdurmaz, B., Kadiogulari, A. I., & Küçük, Ö. (2008). Spatio-Temporal Analysis of Forest Fire Risk and Danger Using LANDSAT Imagery. *Sensors*, 8(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/s8063970>

Viedma, O. (2008). The influence of topography and fire in controlling landscape composition and structure in Sierra de Gredos (Central Spain). *Landscape Ecology*, 23(6), 657-672. <https://doi.org/10.1007/s10980-008-9228-5>

Wolodarsky-Franke, A., & Díaz Herrera, S. (2011). *Cordillera de Nahuelbuta. Reserva Mundial de la Biodiversidad*.  
[http://awsassets.panda.org/downloads/nahuelbuta2011\\_1.pdf](http://awsassets.panda.org/downloads/nahuelbuta2011_1.pdf)

Zamora, M. de los Á., Azanza Ricardo, J., & Bezanilla Morlot, A. (2022). Impacto del cambio climático en la generación de incendios forestales en Las Tunas. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 10(2), 150-168.