

INTEGRANDO EL ANÁLISIS MULTICRITERIO Y SIG EN LA EVALUACIÓN DEL RIESGO DE INCENDIOS FORESTALES EN VALPARAÍSO (CHILE) *

INTEGRATING MULTICRITERIA ANALYSIS AND GIS IN THE ASSESSMENT OF WILDFIRE RISK IN VALPARAISO (CHILE)

 <https://doi.org/10.32735/S2735-61752024000213760>

Fabián Esteban Lizana Vásquez¹

fslizana@uc.cl

<https://orcid.org/0000-0002-6541-9334>
Instituto de Geografía, Facultad de Historia,
Geografía y Ciencia Política
Pontificia Universidad Católica de Chile
Santiago, Chile

Francisco Abarca Paredes²

faabarca1@uc.cl

<https://orcid.org/0000-0002-3676-8375>
Instituto de Geografía, Facultad de Historia,
Geografía y Ciencia Política
Pontificia Universidad Católica de Chile
Santiago, Chile

Cristian Araya-Cornejo³

ciaraya2@uc.cl

<https://orcid.org/0000-0002-6772-5861>
Instituto de Geografía, Facultad de Historia,
Geografía y Ciencia Política
Pontificia Universidad Católica de Chile
Santiago, Chile

RESUMEN

Durante las últimas décadas, los incendios forestales han constituido una amenaza persistente en múltiples regiones del mundo. En los años recientes, se ha evidenciado un preocupante aumento en la frecuencia e intensidad de los llamados mega incendios, cuyas consecuencias afectan gravemente tanto a las poblaciones humanas como a los ecosistemas. En el contexto chileno, estos eventos son reconocidos como uno de los principales problemas medioambientales (Castillo et al., 2003).

Frente a esta problemática, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han adquirido un rol estratégico en la planificación y gestión del riesgo ambiental. Estas herramientas permiten desarrollar análisis espaciales complejos que facilitan la identificación de áreas con alta probabilidad de ocurrencia de incendios forestales, lo que a su vez posibilita priorizar acciones preventivas y de manejo en territorios especialmente vulnerables. De este modo, los SIG se consolidan como instrumentos clave para una gestión territorial más eficiente, informada y proactiva frente al creciente riesgo de incendios.

Palabras claves: Análisis multicriterio; vulnerabilidad; planificación territorial; riesgo de incendio.

* Artículo recibido el 02 de octubre de 2024; aceptado el 21 de noviembre de 2024.

¹ Magíster en geografía mención intervención territorial y ambiental; actualmente cursa el Programa de Doctorado de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

² Magíster en geografía y geomática; actualmente cursa el Programa de Doctorado de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

³ Master en gestión ambiental; actualmente cursa el Programa de Doctorado de la Pontificia Universidad Católica de Chile.



ABSTRACT

Over the past decades, forest fires have posed a persistent threat in various regions of the world. In recent years, there has been a concerning rise in the frequency and intensity of so-called megafires, which have severely impacted both human populations and ecosystems. In the Chilean context, these events are recognized as one of the country's most significant environmental issues (Castillo et al., 2003).

In response to this growing problem, Geographic Information Systems (GIS) have become strategic tools for environmental risk planning and management. These systems enable complex spatial analyses that help identify areas with a high probability of wildfire occurrence, thereby allowing authorities to prioritize preventive and management actions in the most vulnerable territories. GIS thus emerges as essential instruments for achieving more efficient, informed, and proactive territorial management in the face of escalating wildfire risks.

Keywords: Multicriteria analysis; vulnerability; territorial planning; fire risk.

Introducción

La ciudad de Valparaíso, ubicada en la costa central de Chile, se caracteriza por su geografía singular, compuesta por empinadas laderas que descienden abruptamente hacia el océano Pacífico (Berroeta et al., 2016; Armas-Pedraza et al., 2017). Esta topografía, sumada a su notable patrimonio cultural y arquitectónico, la convierte en un destino de gran atractivo. Sin embargo, estas mismas condiciones contribuyen a configurar un escenario de alto riesgo, particularmente en lo que respecta a los incendios forestales, debido a la alta densidad habitacional concentrada en un territorio reducido y vulnerable (Amigo et al., 2020).

En este contexto, es relevante considerar que Valparaíso se emplaza entre una reserva natural protegida, como el Lago Peñuelas, y una extensa franja de plantaciones forestales, muchas de ellas centradas en monocultivos. Según datos de la Corporación Nacional Forestal (CONAF), hacia el año 2023 las plantaciones forestales en Chile cubrían una superficie estimada de 3.121.969 hectáreas, lo que equivale al 17,37% del total de la superficie boscosa nacional. Esta cifra resulta clave para dimensionar el entorno estructural en que se desarrollan los incendios en la zona centro-costera del país, y permite contextualizar las reflexiones que se presentan en este artículo.

Este contexto espacial permite establecer una premisa fundamental de este artículo, que es entender que Valparaíso constituye un escenario recurrente para la manifestación de incendios tanto forestales como urbano-rurales (CR2, 2020). En los últimos años, ha crecido la preocupación por la frecuencia e intensidad de estos eventos, especialmente en zonas donde los límites entre las plantaciones forestales y los asentamientos humanos son difusos. Esta situación se explica, en gran medida, por la expansión urbana desregulada, que ha llevado a la ocupación de laderas, quebradas y áreas de difícil acceso, aumentando significativamente la exposición y vulnerabilidad ante el fuego (Westerling et al., 2006; Bankoff et al., 2012; CR2, 2020).

Cabe señalar que estas zonas o áreas, son conocidas como interfases *urbano-forestales*, actuando como verdaderos corredores críticos a través de los cuales los incendios se propagan con rapidez y cierta virulencia, especialmente en territorios con características como las antes descritas del Gran Valparaíso (CONAF, 2021), donde por cierto las comunidades se asientan en quebradas y laderas que facilitan y aceleran el avance del fuego (CONAF, 2023). Es precisamente en estos territorios, donde el incendio se comporta como una fuerza indomable que, cada cierto tiempo, emerge con gran intensidad y virulencia, amenazando no solo el entorno natural, sino también a las comunidades que se encuentran en estas zonas de alta vulnerabilidad (Tyukavina et al., 2022; Lizana, 2024).

Es necesario establecer un punto gravitante que magnifica la tragedia y es el crecimiento urbano desregulado en Valparaíso, situación que ha propiciado un desarrollo urbano descontrolado. Ya que construir en áreas inadecuadas como lo son las laderas y quebradas hace imposible establecer formas eficaces de prevención y mitigación (Mansilla y Fuenzalida, 2010; Alegría Tardón, 2020; Tvukavina et al., 2022). La construcción masiva de viviendas en estas zonas no solo ha creado un entorno urbano frágil, sino que también ha favorecido las condiciones para la propagación de incendios forestales (Skewes, 2003; Brain Valenzuela, 2010; Chaves, 2021).

De esta manera, resulta inevitable pensar que la actividad humana y el cambio climático han exacerbado esta situación, incrementando la frecuencia y severidad de estos eventos debido a las inclemencias propias del calentamiento global y a la falta de medidas educativas para concientizar a la población (CONAF, 2011; Araya et al., 2023). En este punto, resulta necesario incorporar una mirada histórica que permita contextualizar los incendios recientes en Valparaíso como parte de una trayectoria de larga duración. Más que un fenómeno contemporáneo, los incendios en esta ciudad constituyen una expresión persistente de vulnerabilidad territorial. Durante los siglos XIX y XX, Valparaíso experimentó múltiples eventos significativos —como el gran incendio de 1873 en el casco histórico o los registrados entre las décadas de 1950 y 1970 en cerros como La Cruz y El Litre— que evidencian una recurrente exposición al riesgo y una débil capacidad institucional para enfrentarlo de forma estructural (Úbeda y Sarricolea, 2016; Arango, 2021).

Estos antecedentes son claves para comprender que la situación actual no emerge de manera aislada, sino que se inscribe en un proceso de continuidad, donde las respuestas públicas han sido fragmentadas, reactivas y, en muchos casos, ineficaces. Más allá de los factores geográficos o climáticos, los incendios expresan una crisis prolongada de gobernanza urbana, que incide directamente en la configuración material del riesgo (Estrada Turra, 2000; Lizana, 2024).

Desde el siglo XIX hasta los incendios más recientes en sectores como Chupallas, Nueva Aurora y Miraflores Alto, Valparaíso ha sido escenario de eventos devastadores que han dejado huellas profundas en el territorio y en su memoria colectiva. El fuego —ya sea de origen urbano, forestal o mixto— se ha mantenido como un elemento constante en la historia de esta ciudad. Su recurrencia da cuenta de la acumulación de condiciones estructurales de riesgo que, lejos de resolverse, se han intensificado en el contexto de expansión urbana desregulada, cambio climático y debilitamiento de la planificación territorial. En esa lógica a continuación se presenta una especie de cronología que intenta entregar esos elementos históricos para entender en su larga historia la tragedia del incendio en este territorio (Lizana, 2020).

Tabla 1: cronología de la estrategia del incendio urbano – forestal.

Año	Lugar/ sector	Consecuencia / características
1873	Puerto de Valparaíso	Gran incendio en el casco histórico con afectación del puerto, locales de descarga y recintos de almacenaje / bodegaje.
1953	Cerro La Cruz (Barraca Schulze)	Inicio de grandes siniestros en zonas pobladas que se extendieron por varios días.
1961	Cerros El Litre y Cordillera	Recurrentes incendios en laderas urbanas por la instalación de microbasurales y casas en los faldeos del cerro
1965	Cerros El Litre y Cordillera	Patrón repetido, sin planificación efectiva y sin agua potable.
1983	Cerro Mariposa	1000+ damnificados, escasa respuesta institucional y nula capacidad de prevención y mitigación.
1993	Rodelillo y Placeres	Inicio del patrón de interfase urbano-forestal que se extendió hacia la reserva Peñuelas.
2004	Laguna Verde	200 hectáreas afectadas, cambio de uso de suelo y establecimiento de una ciudad en un entorno natural.
2013	Camino La Pólvora	Amenaza directa a zonas habitadas, propagación hacia la ladera de los cerros y preocupante ocupación informal en la zona.
2014	La Cruz, Las Cañas, Merced	15 muertos, 2.900 casas destruidas, 12.000 damnificados.
2017	Puertas Negras y Playa Ancha	200 viviendas destruidas, microbasurales como detonante y escasez de grifos.
2021	Placilla y Laguna Verde	Incendios intensos en zonas vulnerables, muy recurrente por causas antrópicas
2023	Viña del Mar: Nueva Aurora y Miraflores Alto	Destrucción masiva de viviendas, evacuaciones masivas y afectación antrópica.
2024	Chupallas y Camino La Pólvora	Incendio de rápida propagación por vegetación acumulada y accionar humano.

Fuente: elaboración propia.

Tal como se observa en la Tabla N°1, a lo largo del siglo XX y XXI el fuego ha afectado tanto áreas naturales como zonas habitadas, muchas de ellas emplazadas informalmente en laderas y quebradas con limitada conectividad, lo que acentúa su vulnerabilidad estructural (CIREN, 2010; CR2, 2020). Los incendios ocurridos en 2014 y 2017 constituyeron hitos críticos por su alta letalidad y nivel de destrucción, dejando en evidencia las debilidades del sistema de respuesta ante emergencias en zonas de interfase urbano-forestal. No obstante, los episodios más recientes confirman la persistencia de condiciones estructurales de riesgo, agravadas por los efectos del cambio climático y una gobernanza territorial fragmentada (Concha-Hernández, 2023).

Con el objetivo de ilustrar gráficamente la gravedad y continuidad histórica de esta problemática, a continuación, se presenta una serie de imágenes, tanto históricas como contemporáneas, que permiten visualizar, aunque sea de forma general, la magnitud y evolución de esta dinámica en el territorio.



Imagen 1: collage de incendios históricos en Valparaíso (Chile). Fuente: elaboración propia en base a la memoria gráfica.

Para abordar esta problemática compleja y comprender los factores que influyen en la propagación de incendios en Valparaíso, este estudio emplea herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), las cuales permiten analizar múltiples variables de incidencia mediante procesos de modelación territorial (Barrera, 2009; Radicelli García et al., 2019). En particular, se consideraron variables clave como la topografía, el uso del suelo y la forma de expansión urbana (Chuvieco, 2005), integradas a través de un análisis multicriterio espacial (Zhao et al., 2020).

Esta metodología permitió identificar las zonas de mayor riesgo y establecer áreas prioritarias para la prevención y mitigación de futuros eventos. Además, el uso de SIG resulta fundamental en el análisis geoespacial de la Región de Valparaíso, ya que posibilita la superposición de capas de información crítica, como pendientes, cobertura vegetal y características constructivas. Esta herramienta no solo permite reconocer zonas vulnerables, sino también entender cómo interactúan factores como la morfología del terreno, el tipo de vegetación y la naturaleza de las edificaciones en la propagación del fuego y en la capacidad de respuesta ante situaciones de emergencia (Gezan Matus, 2000; Amigo et al., 2020).

Un ejemplo reciente y concreto de esta problemática se manifiesta en los incendios ocurridos en sectores como Granadillas de Miraflores, Santa Inés, Viña del Mar y Chupallas, los cuales comparten condiciones estructurales similares: ausencia de infraestructura preventiva, redes de

extinción inadecuadas y accesos viales limitados, lo que dificulta significativamente una respuesta oportuna y eficaz (De la Barrera, 2018). Estos eventos no solo han provocado graves daños ambientales, sino que también han generado consecuencias sociales y económicas profundas, afectando directamente la estabilidad y calidad de vida de las comunidades locales (González, 2020).

En este contexto, las interfases urbano-forestales de Valparaíso se configuran como zonas críticas de alta vulnerabilidad, donde confluyen múltiples factores estructurales: decisiones históricas de planificación territorial, expansión informal del suelo urbano y una notoria carencia de medidas de mitigación. La superposición de áreas naturales protegidas, plantaciones forestales y asentamientos habitacionales, tanto formales como informales, ha generado condiciones que favorecen la reiteración de incendios urbanos, convirtiendo esta emergencia en un fenómeno crónico y sostenido en el tiempo (Lizana, 2024).

En este sentido, resulta indispensable comprender que los incendios no deben ser interpretados únicamente como eventos naturales o fortuitos, sino como síntomas de problemáticas estructurales más profundas, entre ellas la ausencia de políticas públicas integrales de gestión del riesgo, la débil fiscalización territorial y la falta de una política habitacional eficaz que impida la expansión irregular, muchas veces promovida por la necesidad urgente de acceso a la vivienda en el Gran Valparaíso (Rojas Rubio et al., 2020).

Frente a esta realidad, es necesario adoptar una perspectiva integral, que combine estrategias de prevención, mitigación y respuesta, incorporando tanto variables socioeconómicas como ambientales. Para ello, se requiere una coordinación efectiva entre múltiples actores entre ellos los gobiernos locales y regionales, comunidades organizadas, organizaciones no gubernamentales y el sector privado con el fin de desarrollar políticas territoriales situadas, participativas y socialmente justas, que permitan reducir la frecuencia e impacto de los incendios, así como proteger a las comunidades y ecosistemas más vulnerables (CR2, 2020).

Área de estudio

Localización

La comuna de Valparaíso se encuentra en las coordenadas 33°02'45"S y 71°36'59"O, como se ilustra en la imagen de a continuación. Esta ciudad costera, situada en la Región de Valparaíso, se extiende a lo largo de la costa del océano Pacífico, lo que le confiere una ubicación privilegiada y estratégica tanto desde el punto de vista geográfico como cultural (Morales, Winckler y Herrera, 2019). Valparaíso se ha configurado como un nodo de gran relevancia en la articulación de rutas comerciales y como un epicentro de flujos culturales a lo largo de su historia, situación que ha influido profundamente en su desarrollo económico y social.

Podemos explicitar que su configuración urbana está profundamente influenciada por su singular topografía (Kapstein, 2009). La ciudad se asienta sobre 44 cerros, que se elevan abruptamente, creando un impresionante anfiteatro natural. Esta disposición no solo define el paisaje urbano, sino que también influye en la vida cotidiana de sus habitantes (Vergara Costela, 2024). Las laderas empinadas y las quebradas que caracterizan la ciudad ofrecen vistas panorámicas espectaculares, pero también presentan desafíos significativos en términos de infraestructura y planificación urbana (Rojas y Sentis, 2016; Hidalgo, 2023). La organización espacial de Valparaíso, fragmentada y vertical, ha propiciado la formación de barrios y comunidades con características propias, cada una con su identidad particular, moldeada por su historia y entorno geográfico.

Desde una perspectiva paradigmática, Valparaíso ha sido vista como un caso emblemático de ciudad portuaria latinoamericana, en la que convergen dinámicas de centralidad y periferia (De

Mattos, 2002). La morfología urbana, marcada por una estructura en terrazas, revela un patrón de crecimiento que refleja tanto las aspiraciones como las limitaciones impuestas por su geografía. Este fenómeno ha llevado a que la ciudad sea considerada un símbolo de la coexistencia entre modernidad y deterioro, donde la expansión urbana se enfrenta continuamente a las restricciones del espacio disponible.

La topografía de Valparaíso ha determinado el desarrollo de un sistema de calles estrechas y empinadas, lo que hace que la movilidad sea un aspecto crucial en la vida diaria de sus residentes. Además, la proximidad al océano Pacífico ha sido fundamental en la historia de la ciudad, convirtiéndola en un importante puerto y centro comercial desde su fundación. Este contexto geográfico ha influido en la cultura local, en la arquitectura de sus viviendas y en la dinámica social de la comunidad (Gil, 2017). A nivel cultural, Valparaíso ha sido un foco de atracción para artistas, intelectuales y movimientos sociales, consolidándose como un espacio de producción y resistencia cultural que se manifiesta en prácticas simbólicas y en la creación de significados en el espacio urbano (Lillo, 2014).

La interacción entre las áreas urbanas y forestales en los alrededores de Valparaíso genera un entorno complejo y multifacético. La cercanía de zonas boscosas a áreas urbanas plantea riesgos significativos, especialmente en lo que respecta a incendios forestales. Este fenómeno ha sido acentuado por la expansión urbana hacia sectores con vegetación densa, lo que aumenta la exposición de viviendas y equipamiento urbano a potenciales desastres (Ruiz, Munizaga y Salazar Burrows, 2017). Por lo tanto, la comprensión de la localización y la topografía de Valparaíso es esencial para abordar los desafíos que enfrenta la ciudad en términos de gestión del riesgo de desastres y planificación territorial.

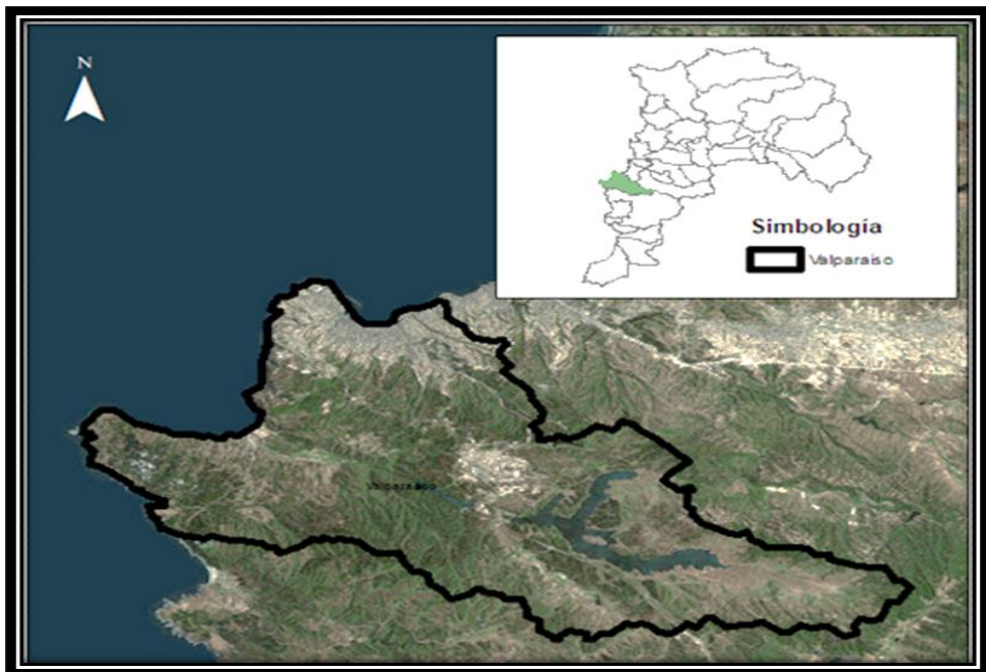


Imagen 2: localización del área de estudio. Fuente: elaboración propia.

Materiales y métodos

Para este análisis se desarrolló utilizando capas de información geográfica en formato Shape, las cuales se clasificaron en tres grandes grupos de datos: topográficos, ocurrencia de incendios y áreas urbanas. Cada uno de estos grupos contiene información clave para el análisis espacial, estructurándose en un entorno de Sistema de Información Geográfica (SIG) para facilitar su procesamiento y visualización.

Transformación y análisis de datos

Los archivos iniciales estaban en formato vectorial (Shape), pero se transformaron a formato Raster para permitir un análisis más detallado y eficiente de las variables espaciales. Esta conversión posibilita la utilización de técnicas avanzadas de álgebra de mapas y análisis espacial en el software ArcGIS 10.3.1, que fue la plataforma utilizada en esta investigación. Los grupos de datos topográficos y de ocurrencia de incendios abarcaron la totalidad de la comuna de Valparaíso, mientras que para el grupo de zonas urbanas se consideraron únicamente las áreas urbanizadas principales de la comuna. Los Rasters generados para el estudio tuvieron una resolución espacial de 50 x 50 metros, lo cual permitió un nivel de detalle suficiente para identificar patrones de riesgo a nivel de manzanas urbanas y áreas críticas. Las capas fueron descargadas principalmente en el mes de noviembre de 2018, garantizando así la actualidad y precisión de la información utilizada.

Fuentes de datos y repositorios

Los datos provienen en su mayoría de la Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) de Chile, disponible en el portal oficial www.ide.cl. La IDE es una plataforma gubernamental que proporciona datos geospaciales oficiales con altos estándares de calidad y actualizados regularmente. A través de esta fuente se obtuvieron capas fundamentales para el análisis, como:

- Incendios forestales (2015, 2016 y 2017).
- Ubicación de grifos en la comuna.
- Distribución de compañías de bomberos.
- Información sobre asentamientos informales (campamentos).

Además, se utilizó el portal de mapas del Instituto Nacional de Estadísticas (INE) para acceder a archivos en formato JSON que contienen la delimitación geoespacial de las manzanas urbanas correspondientes a la comuna de Valparaíso. Esta información resultó fundamental para estructurar de manera más precisa el análisis territorial, ya que permitió superponer las áreas urbanizadas sobre otras capas de información crítica que son: la topografía, la cobertura vegetal y la infraestructura. Esto para establecer relaciones espaciales directas entre los sectores habitados y las zonas de mayor riesgo de incendio (Abarca y Lizana, 2020). La incorporación de estos datos fortaleció la base cartográfica del estudio y facilitó una caracterización más detallada del tejido urbano y su vulnerabilidad frente a emergencias socioambientales.

Análisis multicriterio

El núcleo metodológico del estudio correspondió al análisis multicriterio, implementado en un entorno de Sistemas de Información Geográfica (SIG) mediante el software ArcGIS versión 10.3.1, utilizando específicamente las herramientas del módulo *Spatial Analyst*. A partir de capas base de información geoespacial, se generaron superficies de riesgo mediante el procesamiento de dos variables clave: la pendiente del terreno (*Slope*) y la orientación de las laderas (*Aspect*). Particular relevancia adquirió la capa de *Aspect*, ya que permitió identificar las laderas con exposición norte, orientación que en el contexto del centro y norte de Chile suele asociarse con una mayor incidencia y severidad de incendios forestales. Esto se debe a su

mayor exposición a la radiación solar directa, lo que conlleva menores niveles de humedad relativa y una mayor predisposición del combustible vegetal a la ignición.

Posteriormente, se aplicó álgebra de mapas para integrar ambas capas (*Slope* y *Aspect*) generando una superficie compuesta de riesgo topográfico. Esta nueva capa permitió una visualización integrada del grado de vulnerabilidad asociado a las condiciones geomorfológicas del territorio, particularmente en zonas de interfase urbano-forestal. De este modo, el análisis resultante contribuyó a la identificación de áreas prioritarias para la prevención y planificación del manejo del riesgo de incendios, sirviendo como insumo técnico para la toma de decisiones territoriales.

Resultados

Los resultados obtenidos se han clasificado en función de los diferentes grupos de análisis para generar una cartografía de riesgo que permita evaluar las zonas urbanas de Valparaíso en relación con la ocurrencia de incendios y las características topográficas de la comuna. Este enfoque segmentado proporciona una visión integral de las áreas vulnerables, facilitando la identificación de los factores que contribuyen a la propagación de incendios forestales y su interacción con el entorno urbano

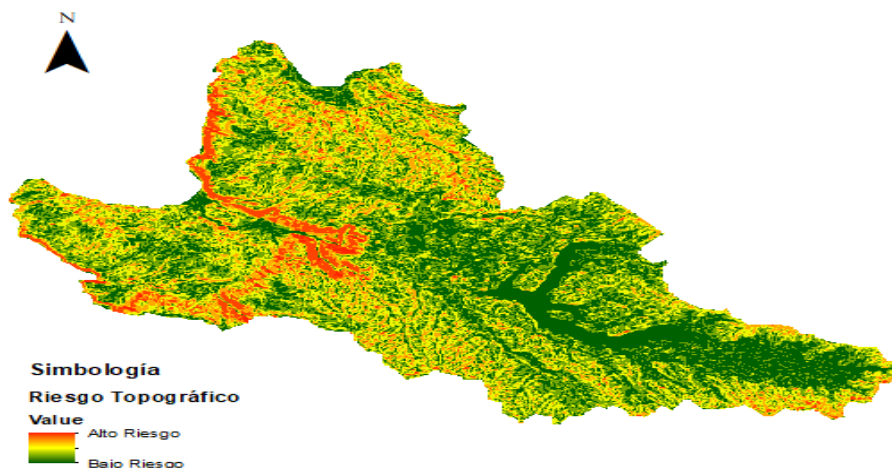


Imagen 3: Riesgo topográfico. Fuente: elaboración propia.

La cartografía de riesgo topográfico (imagen N°4) revela una franja de alto riesgo marcada en color rojo que atraviesa distintas áreas de la comuna de Valparaíso. Esta franja se extiende principalmente en las zonas más escarpadas y abruptas, caracterizadas por pendientes pronunciadas y laderas con orientación norte, que presentan condiciones favorables para la rápida propagación del fuego. El riesgo elevado en estas áreas está directamente relacionado con la dificultad de acceso para las brigadas de emergencia y el efecto de los vientos locales, que tienden a intensificar el avance del fuego hacia las zonas pobladas en estas áreas de interfase.

Dada la relevancia de estas características topográficas, es crucial que se implementen medidas preventivas específicas en estas áreas, como la creación de cortafuegos y la reducción de la carga de combustible vegetal. La planificación territorial debe priorizar estas

zonas para mitigar la posibilidad de que un incendio forestal se convierta en un incendio estructural, afectando viviendas y otras infraestructuras urbanas.

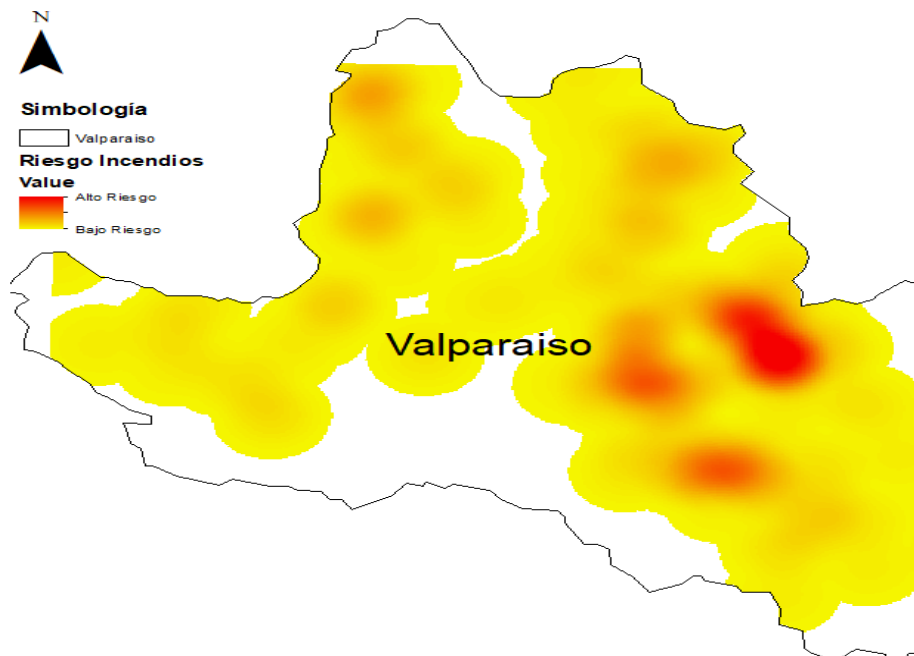


Imagen 4: Riesgo de ocurrencia de incendios forestales. Fuente: elaboración propia.

En la cartografía de riesgo de ocurrencia de incendios forestales (imagen N°4), se identificaron dos áreas críticas de alto riesgo de reincidencia, determinadas a partir de los registros históricos de incendios ocurridos entre 2015 y 2017. Estas zonas se encuentran principalmente localizadas en las laderas y quebradas cercanas a los sectores de Rodelillo y Playa Ancha, áreas que presentan condiciones geográficas y ambientales que han facilitado la repetición de eventos incendiarios en el pasado. Factores como la inclinación de las pendientes, la densa vegetación y la cercanía de viviendas conforman un entorno propicio para la propagación rápida de incendios, incrementando la vulnerabilidad de las comunidades colindantes.

El análisis revela que estas zonas son representativas de interfases urbano-forestales, donde el contacto entre la vegetación natural y las áreas residenciales aumenta el riesgo de daños materiales y pérdidas humanas en caso de incendio. Este tipo de interfaz es característico de muchas áreas periurbanas en Chile, donde la expansión de asentamientos hacia las periferias boscosas se ha producido sin la implementación de adecuados planes de gestión de riesgos (Gómez & Lara, 2020). En el caso de Valparaíso, la superposición de estas áreas de alto riesgo con las zonas residenciales cercanas subraya la necesidad de monitoreo constante y de un enfoque multidisciplinario para la gestión de desastres, que combine medidas de prevención, mitigación y recuperación.

En términos de factores ambientales, el análisis cartográfico también pone en evidencia la importancia de considerar la proximidad a vegetación altamente inflamable. En sectores como Rodelillo y Playa Ancha, predominan matorrales y especies introducidas, tales como *Acacia dealbata* y *Eucalyptus globulus*, las cuales, debido a su composición química y características estructurales, aumentan significativamente la carga de combustible en estas zonas (De la Maza y Ruiz, 2018). La acumulación de vegetación seca en temporadas de verano, sumada a

las condiciones climáticas de fuertes vientos y baja humedad, crea un entorno propicio para la ignición y propagación de incendios.

Dada esta situación, la implementación de programas de gestión de combustible resulta fundamental para reducir la probabilidad de ocurrencia y la severidad de futuros incendios. Estos programas pueden incluir la poda controlada de árboles y matorrales, la creación de cortafuegos estratégicos y la promoción de paisajismo resistente al fuego en las viviendas circundantes (Pérez & Muñoz, 2019). Además, la participación comunitaria es un componente clave para la sostenibilidad de estas iniciativas, por lo que se recomienda desarrollar campañas de educación y sensibilización en torno a la reducción de riesgos. La formación de brigadas comunitarias y el fortalecimiento de las redes de comunicación temprana pueden contribuir a que los residentes comprendan los peligros asociados y se conviertan en actores activos en la prevención de desastres.

Asimismo, la planificación territorial debe integrar estos elementos en sus estrategias de desarrollo urbano, priorizando la creación de zonas de amortiguamiento que minimicen el impacto de los incendios en las áreas residenciales. En este sentido, se sugiere incorporar el uso de análisis multicriterio que evalúe la interacción de variables como la pendiente, la cobertura vegetal, la accesibilidad y la densidad poblacional para una toma de decisiones informada (Mendoza & Aravena, 2016). Dicho enfoque permitiría identificar con mayor precisión las áreas críticas y optimizar la asignación de recursos en las intervenciones preventivas y de emergencia.

En este sentido podemos apreciar que las áreas de alto riesgo en sectores como Rodelillo y Playa Ancha pone de manifiesto la complejidad del manejo de incendios en interfases urbano-forestales. La necesidad de monitoreo constante, la gestión proactiva de combustibles y la educación comunitaria emergen como pilares fundamentales para mitigar el potencial de futuros incendios en estas zonas de alta vulnerabilidad. Integrar estas estrategias en la planificación territorial y en la gestión de riesgos es crucial para reducir el impacto de estos eventos en Valparaíso y otras ciudades con características similares.

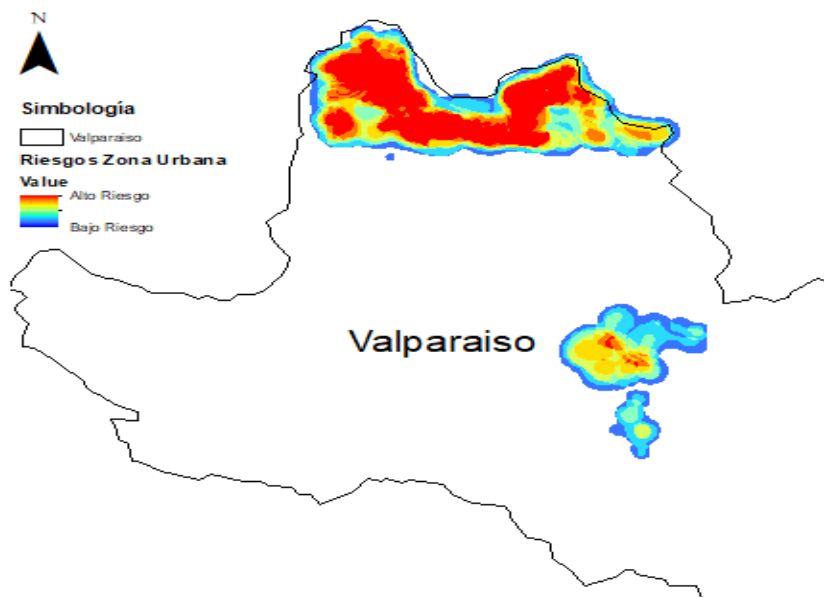


Imagen 5: Riesgo en las zonas urbanas. Fuente: elaboración propia.

La imagen N°5, que muestra la cartografía de riesgo de las zonas urbanas, destaca que las áreas de mayor peligro se encuentran tanto en los cerros como en el plan de Valparaíso. En particular, los sectores ubicados en la interfase de los cerros y el área central de la ciudad presentan una combinación de alta densidad poblacional, construcciones irregulares y una infraestructura de respuesta limitada, lo que aumenta significativamente el riesgo. Las condiciones de hacinamiento y precariedad en estas áreas urbanas también contribuyen a la vulnerabilidad frente a un incendio, ya que facilitan la propagación del fuego de estructura a estructura.

Además, la limitada conectividad vial y la escasa cobertura de redes de abastecimiento de agua en sectores elevados y quebradas dificultan la actuación rápida de los equipos de bomberos y emergencia. La actualización y mantenimiento de la infraestructura crítica, así como la planificación de rutas de evacuación y la delimitación de zonas de seguridad, deben ser prioridades en estas áreas.

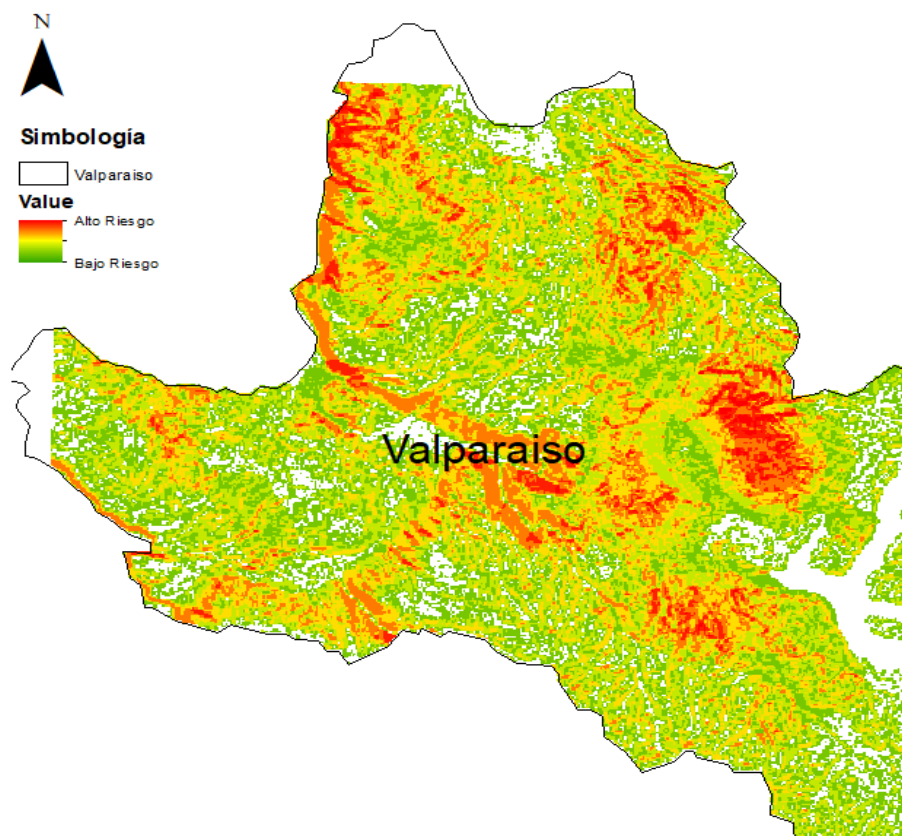


Imagen 6: Análisis integrado de riesgo topográfico y ocurrencia de incendios. Fuente: elaboración propia.

La combinación de los factores de riesgo topográfico y de ocurrencia de incendios (Figura N°5) permite identificar áreas críticas donde la configuración del terreno y la frecuencia de incendios se superponen, creando zonas de alto peligro. Estas áreas se concentran principalmente en la zona norte de la comuna, en sectores como Cerro La Cruz, Cerro Polanco y Cerro Barón. La combinación de pendientes pronunciadas, exposición solar directa

y vegetación inflamable en estas laderas crea condiciones propicias para la propagación rápida de incendios hacia las zonas residenciales adyacentes. El análisis sugiere que es imperativo establecer cortafuegos naturales y artificiales, así como implementar sistemas de alerta temprana en estas áreas para reducir el riesgo. La promoción de proyectos de revegetación con especies autóctonas de bajo riesgo de inflamabilidad podría también contribuir a la estabilización de suelos y la reducción de la vulnerabilidad ante el fuego.

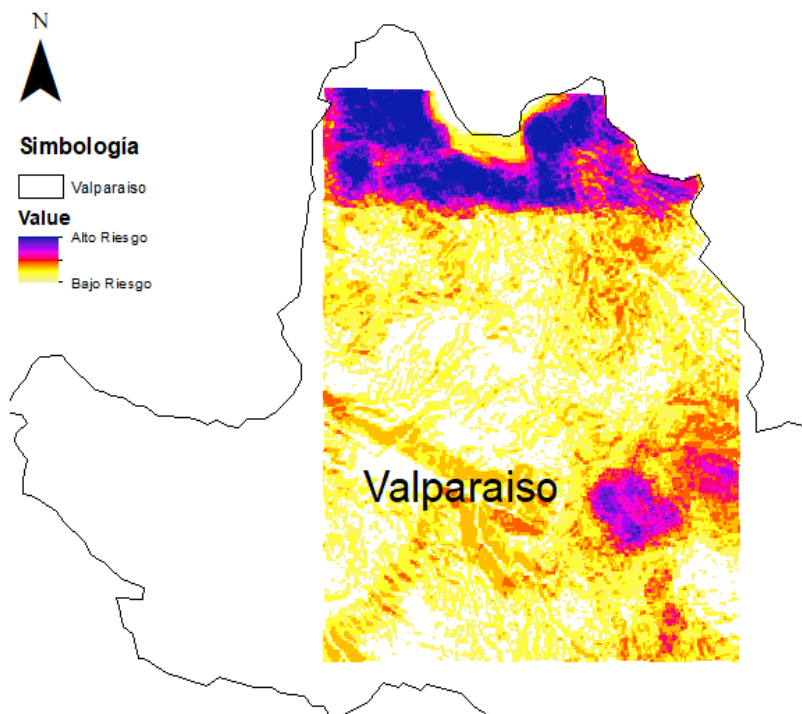


Imagen 7: Riesgo de zonas urbanas en la comuna de Valparaíso. Fuente: elaboración propia.

Finalmente, la cartografía integrada de riesgo de zonas urbanas (Figura N°6) muestra que la zona norte de la comuna se encuentra en mayor riesgo en comparación con la zona sur. Esto se debe a la combinación de factores topográficos, históricos y de infraestructura. Las áreas residenciales situadas en los cerros del norte presentan un patrón de urbanización irregular, con alta densidad de viviendas y escasos espacios para la implementación de cortafuegos. Por el contrario, la zona sur, si bien presenta un riesgo moderado, tiene una menor densidad poblacional y una mejor conectividad vial, lo que facilita una respuesta más efectiva ante emergencias.

A su vez, se identifican áreas de riesgo medio en la periferia de las zonas urbanas del norte y sur, que, aunque no fueron categorizadas como de alto riesgo en este análisis, podrían convertirse en zonas de peligro crítico bajo ciertas condiciones climáticas, como vientos intensos o períodos prolongados de sequía. Estas zonas intermedias deben ser monitoreadas y consideradas en la planificación de gestión de riesgos, especialmente durante la temporada de mayor actividad incendiaria.

Conclusiones

El problema de los incendios forestales debe ser abordado desde una perspectiva integral que considere tanto las características topográficas y la ocurrencia histórica de eventos, como las condiciones socioeconómicas y la infraestructura urbana existente. La complejidad de este fenómeno no se reduce a un simple problema ambiental; su impacto y recurrencia están profundamente vinculados con la organización territorial, la planificación urbana y las desigualdades estructurales que afectan a las comunidades expuestas.

Para enfrentar esta problemática, resulta fundamental utilizar un enfoque de análisis multicriterio apoyado en Sistemas de Información Geográfica (SIG), ya que permite integrar diversas variables para evaluar el riesgo de manera integral. El análisis multicriterio facilita el estudio detallado de factores como la topografía, la expansión urbana y la distribución de la vegetación inflamable, superponiendo además capas de datos socioeconómicos, lo que posibilita la identificación de áreas de mayor vulnerabilidad. Esta metodología genera cartografías de riesgo más precisas y operativas, convirtiéndose en herramientas clave para la toma de decisiones y la planificación territorial.

Los resultados obtenidos a partir de esta metodología permiten un conocimiento más profundo de las áreas donde convergen condiciones críticas, lo cual facilita la focalización de estrategias de mitigación y prevención en las zonas de mayor riesgo. Particularmente en la comuna de Valparaíso, el análisis multicriterio reveló que la zona norte presenta una mayor susceptibilidad a incendios forestales debido a la combinación de factores como pendientes pronunciadas, baja conectividad vial, alta densidad de combustible vegetal y condiciones socioeconómicas precarias. A partir de estos hallazgos, se recomienda priorizar la implementación de tres ejes de mejoramiento que podemos identificar con este tipo de análisis:

Establecimiento de cortafuegos: Es fundamental crear franjas de seguridad sin vegetación inflamable y reducir el combustible vegetal en zonas críticas para prevenir la propagación del fuego desde áreas periurbanas hacia zonas residenciales. El análisis multicriterio permite identificar con precisión las áreas prioritarias para la instalación de estos cortafuegos y planificar de manera más eficiente el uso de los recursos disponibles.

Mejoramiento de la infraestructura hídrica y vial: La infraestructura de agua y la conectividad vial son elementos esenciales debido a la dificultad de acceso en caso de propagación rápida de un incendio. Integrar capas de datos sobre accesibilidad y disponibilidad de recursos hídricos facilita la ubicación estratégica de depósitos de agua y el diseño de rutas alternativas para vehículos de emergencia.

Participación comunitaria y autogestión del riesgo: La participación de la comunidad es crucial para gestionar de manera efectiva los incendios forestales. El uso de herramientas SIG permite generar mapas de riesgo comprensibles para los residentes, facilitando la planificación de rutas de evacuación y aumentando la conciencia sobre la necesidad de reducir el riesgo. Las campañas educativas deben centrarse en la autogestión del riesgo, especialmente en sectores con condiciones de hacinamiento y precariedad habitacional, donde la capacidad de respuesta institucional es limitada.

El enfoque de análisis multicriterio apoyado en SIG proporciona una base sólida para la implementación de estrategias coordinadas e interdisciplinarias, que deben involucrar a las autoridades locales, cuerpos de emergencia, organizaciones sociales y la academia. Esta metodología no solo facilita la identificación de las áreas más vulnerables, sino que también promueve la elaboración de estrategias de planificación territorial más efectivas, integrando factores ambientales, urbanos y sociales.

Creemos necesario establecer la implementación de políticas públicas orientadas a la planificación territorial, la promoción de prácticas de construcción resilientes y la reconfiguración del espacio urbano basadas en criterios de seguridad frente al fuego contribuirían significativamente a la reducción del riesgo a largo plazo en la comuna de Valparaíso, garantizando así la protección de sus habitantes y la preservación del entorno natural existente.

Agradecimientos: *Quisiéramos expresar nuestro más sincero agradecimiento al equipo docente del Instituto de Geografía de la Pontificia Universidad Católica de Chile por su dedicación y apoyo incondicional, que han sido fundamentales para nuestra formación académica.*

Citas bibliográficas

- Abarca Paredes, F., & Lizana Vásquez, F. (2020). Análisis multicriterio: proyección y relocalización en la comuna de La Pintana, Chile. *Forhum International Journal of Social Sciences and Humanities*, 2(2), 67–78. <https://doi.org/10.35766/ijf20226>
- Amigo, C., Álamos, N., Arrieta, D., Billi, M., Contreras, M., Larragubel, C., Muñoz, A., Smith, P., Urquiza, A., Vargas, M., Videla, J. T., & Winckler, P. (2020). Riesgo integrado de Asentamientos Humanos. Conurbación Valparaíso— Viña del Mar. Documento de trabajo Nest-r3 N°2. <https://www.doi.org/.17605/OSF.IO/VUA4G>
- Arango, D. (2021). La evidencia en cenizas: Definir y comprobar el delito de incendio. Valparaíso, Chile, 1874-1906. *Atenea*, 524, 219-239. DOI: 10.29393/at524-12daec10012.
- Araya-Cornejo, C., Lizana Vásquez, F. E., & Abarca Paredes, F. A. (2023). Un principio ético para la Gestión de Riesgos de Desastres Socionaturales en Chile: aportes desde una mirada geográfica. *Estudios Socioterritoriales. Revista De Geografía* (33), 1–19. <https://doi.org/10.37838/unicen/est.33-139>
- Armas-Pedraza, T., Gascón-Martín, F. & Muñoz-Salazar, P. (2017). Percepción de riesgos socioambientales en tomas de terreno de Playa Ancha, Valparaíso (Chile). Los casos de Pueblo Hundido y Vista al Mar. *Papeles de población*, 23 (93), 181-206. <https://doi.org/10.22185/24487147.2017.93.026>
- Bankoff, G., Luebken, U. & Sand, J. (2012). Flammable Cities: Fire, Urban Environment, and Culture in History. Conference at the German Historical Institute, Washington, D.C. *Ekonomika y Ekohistorija*, 4(4), 264-285.
- Barrera, S. (2009). Reflexiones sobre Sistemas de Información Geográfica Participativos (sigp) y cartografía social. *Cuadernos de Geografía*, 18, 9-23. doi: 10.15446/rcdg.n18.12798. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/view/12798/38453>
- Berroeta, H., Carvalho, L., Di Masso, A. (2016). Significados del espacio público en contextos de transformación por desastres socionaturales. *Revista INVI*. 31 (87), 143-170.
- Brain Valenzuela, I., Prieto Suárez, J., & Sabatini Downey, F. (2010). Vivir en Campamentos: ¿Camino hacia la vivienda formal o estrategia de localización para enfrentar la vulnerabilidad? *EURE (Santiago)*, 36 (109), 111-141. <https://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612010000300005>
- Camus P. (2006). *Ambiente, Bosques y Gestión Forestal en Chile. 1541-2005*. Ediciones LOM.
- Cardille J., Ventura, S., Turner, M. (2001). Environmental and social factors influencing wildfires in the Upper Midwest, USA. *Ecological Applications* 11, 111-127.
- Carmona A, González, M., Nahuelhual, L. y Silva, J. (2012). Spatiotemporal effects of human drivers on fire danger in Mediterranean Chile. *Bosque* 33(3), 321-328.
- Castillo, M., Pedernera, P., Peña, E. (2003). Incendios forestales y medio ambiente: una síntesis global. *Revista Ambiente y Desarrollo* 19 (3), 44-53.
- Chaves, A. M. S. (2021). *Dinâmica geoecológica e cenários potenciais para conservação da paisagem semiárida na bacia do riacho São José em Pernambuco*. <http://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/14373>
- Chuvieco, E., Bosque, J., Pons, X., Conesa, C., Santos, J., Gutiérrez, J. & Prados, M. (2005). ¿Son las tecnologías de la información geográfica (TIG) parte del núcleo de la

- geografía? *Boletín de la A.G.E.*, 40, 35-55. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1308488>
- CIREN (2010). *Determinación de erosión potencial y actual de Chile: Informe técnico final*. Centro de Información de Recursos Naturales.
- CONAF (2011). *Manual con Medidas para la Prevención de Incendios Forestales: Región Metropolitana*. Corporación Nacional Forestal.
- CONAF (2021). *Personal de CONAF usará fuego para prevenir Incendios Forestales de Magnitud*. Corporación Nacional Forestal.
- CONAF (2023). *Conaf Duplica Investigación de Incendios*. Corporación Nacional Forestal.
- Concha Hernández, C. (2023). Restauración ecológica en Chile: Hacia un nuevo paradigma para el derecho ambiental. Tesis de pregrado, Universidad de Concepción. Disponible en <https://tipg.link/SLH0>.
- CR2. (2020). *Incendios forestales en Chile: causas, impactos y resiliencia*. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2, Universidad de Chile, Universidad de Concepción y Universidad Austral de Chile.
- Dattwyler, R., Vergara, C., Correa Parra, J., Alvarado Peterson, V., Robles, M., & Rodríguez Valladares, N. (2023). *Vivir en la punta del cerro: Vivienda subsidiada, segregación y producción de naturaleza en el área metropolitana del Gran Valparaíso*. Letra capital.
- Estrada Turra, B. (2000). *Valparaíso: Sociedad y economía en el siglo XIX*. Instituto de Historia, Facultad de Filosofía y Educación Universidad Católica de Valparaíso.
- Gil, M. (2017). La reconstrucción del valor urbano de Valparaíso luego del terremoto de 1906. *ARQ (Santiago)*, (97), 78–89. <https://doi.org/10.4067/S0717-69962017000300078>
- González, M. E. (2020). El cambio en el régimen de incendios en Chile – cr2.cl. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia – N°3. Disponible en: <https://www.cr2.cl/wp-content/uploads/2020/03/Policy-brief-Cambio-en-el-r%C3%A9gimen-de-Incendios.pdf>
- Imilan, W., Fuster, X. (coord.) (2013). Terremoto y tsunami post 27F: El caso de Constitución, Arauco y Llico. Observatorio de la Reconstrucción, Instituto de la Vivienda, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile.
- Imilan, W. y Fuster, X. (2014). Llico post 27F: La Comunidad invisibilizada en la reconstrucción de su hábitat residencial. En: *Ética, poder y territorio*. Editorial Aún Creemos en los Sueños, Monde diplomatique.
- Kapstein, G. (2009). Ciudad anfiteatro. *ARQ (Santiago)*, (73), 23-27. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-69962009000300004>
- Lizana, F., & Abarca, F. (2024). Una reflexión en torno al incendio en interfases urbano-forestal. *Le Monde diplomatique*. 7 de febrero.
- Mansilla Q, Pablo, & Fuenzalida D, Manuel. (2010). Procesos de desarrollo urbano-regional y exclusión territorial: Nuevas formas de urbanización en el área metropolitana de Valparaíso. Estudio de caso ciudad de Curauma. *Revista INVI*, 25(69), 103-123. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-83582010000200003>
- Montenegro G., Ginocchio, R., Segura, A., Keely, J., Gómez, M. (2004). Fire regimes and vegetation responses in two Mediterranean-climate regions. *Revista Chilena de Historia Natural* 77, 455-464.
- Morales G., E., Winckler G., P., & Herrera A., M. (2019). *Costas de Chile: Medio natural, cambio climático, ingeniería oceánica y gestión costera*. Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA).
- Rojas, B., & Sentis, V. (2016). Valparaíso, patrimonio de la eterna decadencia: Decadentismo, panoptismo y nihilismo en la literatura porteña. *HYBRIS, Revista de Filosofía*, 7(0), 183–214. <https://doi.org/10.5281/zenodo.58624>
- Rubio, I. R., Novack, P. N., Constela, C. V., & Dattwyler, R. H. (2020). Habitar el Valparaíso neoliberal: vivienda, hacinamiento y pobreza como marco de la pandemia. *O Social em Questão*, 23(48), 25-52. Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Brasil.
- Ruiz, V., & Barrera, F. (2018). Megafires in South-Central Chile: A geographical analysis using Google Earth Engine. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30870.80965>

- Ruiz, V., Munizaga, J., & Salazar Burrows, A. (2017). Plantaciones forestales y su extensión hacia áreas urbanas en el área metropolitana de Valparaíso y su relación con el aumento de incendios forestales. *Investigaciones Geográficas: Una Mirada Desde El Sur*, (54), 23–40. <https://doi.org/10.5354/0719-5370.2017.48040>
- Skewes, J.C. (2003). Casa nueva, ¿vida nueva?: el paradójico amanecer en las villas. Documento 2. Santiago: Centro de Investigación Social, Fundación Un Techo para Chile.
- Úbeda, X. y Sarricolea, P. (2016). Wildfires in Chile: A review. *Global and Planetary Change*, 146. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2016.10.004
- Vergara Constela, C. (2024). ¿De la “joya del pacífico” al Valparaíso “decadente”? Ideología, materialidad y vida cotidiana en la Geografía de la urbanización porteña (1931-2023). Tesis doctoral, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Westerling A, Hidalgo, H. G., Cayan, D. R., Swetnam, T. W. (2006). Warming and earlier spring increase western US forest wildfire activity. *Science* 313, 940-943.
- Zhao, P., Zhang, F., Lin, H., Xu, S., (2021). GIS-Based Forest Fire Risk Model: A Case Study in Laoshan National Forest Park, Nanjing. *Remote Sensing* 13(18), 3704. <https://doi.org/10.3390/rs13183704>.

