Diagnóstico Técnico de Evaluación de Amenaza y Vulnerabilidad de Incendios Forestales Asociados a la Infraestructura y Operación del Proyecto Parque Eólico El Sauzal.

Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB)

Concepción
Julio, 2025

Elaborado por Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB) para Consorcio Eólico S.A.

Equipo Responsable:

Rafael A. García,
Doctor en Ciencias Forestales, Investigador Asociado, IEB. Colaborador Académico, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción. ragarcia@udec.cl

Eduardo Fuentes-Lillo,
Doctor en Ciencias Biológicas y PhD in Biology, Coordinador Programa Integrativo 4 - Laboratorio de Invasiones Biológicas (LIB), IEB. efuentes@ieb-chile.cl

Korina Ocampo Zuleta,
Doctora en Ciencias Mención Ecología y Evolución, Postdoctorado - Laboratorio de Invasiones Biológicas (LIB), IEB. korinaocampozuleta@gmail.com

Tomas Arellano.
Ingeniero en Conservación de Recursos Naturales, Profesional Técnico Laboratorio de Invasiones Biológicas (LIB), IEB.

Roxana López,
MSc. in Project Management, Asistente Unidad de Desarrollo, Transferencia Tecnológica y de Conocimiento, IEB. rlopez@iebchile.cl

Índice

1. Contexto 4

2. Objetivos 8

3. Metodología 8

3.1 Área de Análisis 8

3.2 Análisis espacio-temporal del riesgo de incendios 9

4. Resultados 22

4.1 Amenaza 22

4.2 Vulnerabilidad 25

4.3 Riesgo de Incendios 28

5. Conclusiones 32

6. Anexo 36

7. Referencias 37

1. Contexto

A nivel global, se están experimentando cambios notables en los regímenes de incendios forestales, caracterizados por una redistribución de las emisiones, con disminuciones en las regiones tropicales y aumentos significativos en la frecuencia, la intensidad y la extensión de los incendios, impulsados por el cambio climático y la actividad humana (Jones et al. 2022). Estos cambios críticos en la distribución, intensidad y severidad del fuego, evidenciados en muchas regiones del mundo, han sido particularmente pronunciados en las últimas décadas en ecosistemas boreales y templados (e.g., Canadá, Siberia oriental y el oeste de Estados Unidos), donde la superficie quemada ha aumentado en más del 50 % desde principios del siglo XXI (Jones et al. 2024). La frecuencia de alteraciones en los regímenes de fuego ha aumentado diez veces en los últimos 250 años en comparación con el resto del Holoceno, pasando de ser dominados por variabilidad natural a influencias antropogénicas intensas (Sayedi et al., 2024). Estos cambios globales en el régimen del fuego, se vinculan directamente al cambio climático que incrementa la frecuencia e intensidad de condiciones meteorológicas favorables al fuego, cómo sequías prolongadas y olas de calor, alargando las temporadas de riesgo, reduciendo la humedad de combustibles vegetales y favoreciendo incendios extremos incluso en ecosistemas previamente resilientes, con un aumento del 88% en las probabilidades de años con fuego extremo en regiones boscosas (Abatzoglou et al., 2025). Además, estos incendios recientes en zonas templadas y boreales liberan cantidades récord de carbono, con temporadas como 2023–2024 registrando emisiones de gases de efecto invernadero un 60% superiores a las de principios de siglo en los bosques globales, a pesar de que la superficie global quemada fue menor que en otros años (Jones et al. 2024, Liang et al. 2024). Esto genera una retroalimentación positiva entre los incendios forestales y el cambio climático, potenciando sus efectos sobre los factores que favorecen la ignición e intensidad de los incendios, y exacerbando la pérdida de biodiversidad, el almacenamiento de carbono y los servicios ecosistémicos (Jones et al. 2024, Liang et al. 2024).

Este nuevo patrón global, implica graves amenazas a la biodiversidad, al ciclo global del carbono, la resiliencia de ecosistemas forestales, y calidad de vida y seguridad de los habitantes de áreas de mayor vulnerabilidad, aumentando la urgencia de adaptación en políticas de manejo de combustible, prevención y monitoreo del riesgo mediante estrategias integradas que incluyan restauración ecológica, reducción de emisiones y colaboración internacional para mitigar impactos futuros (Coll, 2023). En este contexto de amenazas globales amplificadas por el cambio climático, regiones como Chile ilustran cómo estos patrones se manifiestan localmente a través de una mayor vulnerabilidad a incendios forestales, exacerbados por fenómenos como la mega-sequía persistente desde 2010, que ha incrementado la frecuencia e intensidad de eventos extremos y subraya la necesidad de evaluar el riesgo de desastres de manera integrada para informar estrategias de resiliencia territorial (CR2, 2023).

El riesgo de desastres es la probabilidad de ocurrencia de daños sociales, ambientales y económicos en un territorio expuesto a fenómenos naturales o antropogénicos, en un periodo de tiempo determinado (ONEMI, 2016). En ese sentido, el riesgo de desastres surge como la interacción entre los factores de amenaza y de vulnerabilidad, entendidos como la posibilidad e intensidad de ocurrencia de un fenómeno y la sensibilidad del territorio ante su ocurrencia, respectivamente (CONAF, 2024a). En el caso de los incendios forestales, la amenaza puede definirse como la probabilidad de que ocurra un incendio y, en el caso de que este ocurra, la virulencia que tendría; mientras que la vulnerabilidad hace referencia a la importancia de la protección, que integra la calidad y la fragilidad del territorio (Ramírez, 2013).

Chile enfrenta una creciente preocupación por los incendios forestales, tanto por su frecuencia como por su intensidad, particularmente en zonas de clima mediterráneo con veranos secos y calurosos, vegetación leñosa, y una combinación de factores antrópicos y naturales. En los últimos años, la severidad de los incendios se ha exacerbado debido a la mega-sequía. Durante la temporada 2022–2023, la superficie de vegetación natural consumida por incendios se incrementó en un 156 % respecto a la temporada anterior (INE, 2023). En cuanto a la amenaza de incendios forestales, las estadísticas oficiales reflejan que más del 99% de los incendios forestales que ocurren en el país son causados por acción humana, ya sea intencional o por negligencia. Sumado a ello, el aumento de los promedios históricos de temperaturas y sequías prolongadas provoca un incremento en las condiciones que promueven la ocurrencia y la intensidad de incendios, así como del daño asociado (CONAF, 2020). En la misma línea, cambios en el paisaje asociados a actividades antrópicas generan cambios tanto en la amenaza como en la vulnerabilidad. Entre las más significativas destacan la expansión urbana (regulada y desregulada) y el aumento de las parcelas, lo que incrementa las zonas de interfaz urbano-rural. Así, como la construcción y

operación de proyectos de inversión como son los asociados a la diversificación de la matriz energética en base a fuentes renovables.

En este escenario, el Proyecto Parque Eólico El Sauzal, que se emplazará entre las regiones de Ñuble y Maule, con componentes e infraestructuras en las comunas de Cauquenes (Región del Maule), Quirihue, San Nicolás, San Carlos y Ninhue (Región de Ñuble). Este proyecto contempla la construcción y operación de un parque eólico con 45 aerogeneradores y una línea de transmisión aérea de 220 kV con una longitud de 27,91 km, que alcanzará una potencia nominal total de 360 MW. Para evacuar la energía generada al Sistema Eléctrico Nacional (SEN), se conectará a la subestación en construcción "Nueva Cauquenes". Además, el proyecto Parque Eólico El Sauzal incluye obras complementarias para adecuaciones viales en las comunas de San Nicolás, San Carlos y Ninhue. La introducción de estas obras en el territorio implica modificaciones en variables que inciden en el riesgo de incendios forestales, principalmente en la red de caminos y la infraestructura eléctrica, cuyo alcance e intensidad se han cuantificado y analizado en las secciones de este informe.

A nivel regional, ambas regiones se caracterizan por presentar una superficie mayoritariamente en un nivel medio de riesgo de incendios forestales, donde este nivel representa el 41,9% de la superficie en la región del Maule y 53,5% en la región de Ñuble (CONAF, 2024a). Considerando sólo las zonas de interfaz urbano-rural, un 53,4% de estas zonas de la comuna de Cauquenes presentan riesgo muy alto de incendios. Por su parte, en Quirihue, la interfaz con riesgo muy alto representa un 43,4% de la superficie (CONAF, 2025a). Estas cifras dan cuenta de condiciones basales de alto riesgo en ambos territorios, asociadas principalmente a la presencia de zonas de interfaz urbano-rural, la alta cobertura de plantaciones e industria forestal, la acumulación de material combustible y un contexto climático marcado por sequías prolongadas y aumento de la aridez. En este sentido, el diagnóstico debe interpretarse considerando que el proyecto se inserta en territorios que ya presentan una elevada susceptibilidad a incendios forestales, por lo que sus eventuales efectos deben ser evaluados sobre una condición de riesgo preexistente. En ese contexto, este informe tiene por objetivo desarrollar un análisis espacial para determinar el riesgo de incendios en el área de emplazamiento del proyecto y el efecto de su construcción sobre dicha variable. Esta información es fundamental para diseñar un plan de medidas de prevención y de combate a incendios. Además, este análisis permitirá complementar la información proporcionada por la empresa en su Estudio de Impacto Ambiental e intentar responder a algunas observaciones formuladas en el Informe Consolidado de Aclaraciones, Rectificaciones o Ampliaciones (ICSARA) en esta materia.

2. Objetivos

Objetivo General:

Elaborar un apéndice específico para el Plan General de Contingencias del Proyecto Parque Eólico El Sauzal, que incorpore un análisis espacial del riesgo de incendios forestales en las regiones y comunas de emplazamiento del proyecto.

Objetivos Específicos:

1. Evaluar el riesgo de incendios forestales, actual (sin proyecto) y futuro (con proyecto), en el área de emplazamiento del proyecto.

2. Elaboración de Informe – Diagnóstico Técnico consolidado y cartografía del área.

3. Metodología

3.1 Área de análisis

El Proyecto Parque Eólico El Sauzal contempla obras en las comunas de Cauquenes (Región del Maule), Quirihue, San Nicolás, San Carlos y Ninhue (Región del Ñuble). Considerando el área de influencia de flora y vegetación asociada a las obras del proyecto, se generan una serie de polígonos discontinuos entre las provincias de Itata, Cauquenes y Punilla, con una superficie total de 2.436,7 ha. Para efectos del presente diagnóstico se distinguen dos unidades espaciales de análisis: (1) Área de Estudio (AE): un polígono rectangular que incluye la superficie de las obras del proyecto más un buffer de 2 km a estas, siguiendo recomendación de CONAF (2018; 2020c); (2) Área de Influencia (AI): es un subconjunto del AE correspondiente al Área de Influencia de Flora y Vegetación. Los resultados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo se presentarán para ambas unidades según corresponda. El AE permite tener contexto de las condiciones a una escala de paisaje que influyen sobre el riesgo, mientras que la AI permite visualizar a una escala más fina como las obras del proyecto y su entorno inmediato influyen sobre el riesgo de incendios. Para la determinación del área de estudio se aplicó un buffer de 2 km en torno a las obras, conforme a las recomendaciones de la autoridad competente en la materia (CONAF, 2018; 2020c), criterio que permite capturar amenazas de origen antrópico y/o ambientales que operan a distintas escalas territoriales. El área de estudio resultante abarca una superficie de 66.696,13, distribuida entre las comunas de Cauquenes (85,39%), Quirihue (11,74%), Ninhue (2,74%) y San Carlos (0,13 %).

Para los análisis de este informe, el riesgo de incendios forestales se define como la combinación de las variables de amenaza y vulnerabilidad, siguiendo el marco metodológico propuesto por CONAF en la Actualización del Análisis Nacional de Amenaza y Riesgo por Incendios Forestales (2024a). Esta aproximación es adecuada

para estudios de carácter territorial y ambiental cuyo objetivo es identificar áreas críticas y niveles relativos de riesgo, más que estimar pérdidas económicas específicas.

El Riesgo de Incendios, entendido como la conjunción de las variables de Amenaza y Vulnerabilidad, está sujeto a una serie de factores y eventos que operan en distintas escalas. Además, algunas de las obras asociadas a la construcción del proyecto, como las adecuaciones asociadas al transporte de equipos sobredimensionados (e.g., maniobras aéreas, o vuelo de aspa) fueron consideradas de carácter transitorio. Estas actividades no generan cambios permanentes en la cobertura vegetal, en el uso del suelo ni en la accesibilidad al territorio, y tampoco generan una modificación sostenida de los factores que determinan la amenaza o la vulnerabilidad frente a incendios forestales. Por lo tanto, dichas obras no se incorporaron como elementos que alteran de manera permanente el nivel de Riesgo de incendios forestales del área de influencia y estudio. Por estos motivos, se definió un área de estudio delimitada por un polígono rectangular que abarca el área de influencia de flora de las obras permanentes y temporales, excluyendo las de adecuación vial, y se añadió un buffer de 2 km a dicha área (Figura 1. Anexo 1: Fig1_Area_de_estudio). El uso de un buffer de 2 km alrededor del polígono que abarca las obras permanentes y temporales permite mantener una aproximación conservadora y coherente con prácticas metodológicas habituales en evaluaciones ambientales a escala de paisaje según la autoridad competente (CONAF, 2018; 2020c). Esta distancia asegura la trazabilidad y captura adecuada de posibles efectos indirectos sobre los factores de amenaza y vulnerabilidad considerados en el análisis de riesgo de incendios forestales.

3.2 Análisis espacio-temporal del riesgo de incendios

Para la determinación y espacialización del Riesgo de Incendios, se tomó como referencia el trabajo realizado por CONAF (2024a) en la “Actualización Análisis Nacional de Amenaza y Riesgo por Incendios Forestales”, a fin de intentar homologar lo más posible las variables y ponderaciones utilizadas por la entidad a cargo de la gestión de incendios en el país. Esto con el objetivo de poder hacer los resultados de estos análisis comparables, en cuanto a métricas y metodologías, con otros realizados en base a las capas de riego generadas por CONAF.

El riesgo fue determinado en base a la conjunción de los factores de amenaza y vulnerabilidad, ambos compuestos por una serie de componentes socioecológicos, geográficos y climáticos. Los cuales, a su vez, están definidos por una serie de variables y subvariables geográficamente explícitas (Tabla 1 y 2), extraídas de medios o portales oficiales y de libre acceso. Además, de las dos escalas espaciales de análisis, Área de influencia de flora y Área de Estudio, se evaluaron dos estados temporales. Un estado actual, sin proyecto, considerando todas las variables en su condición actual. El Estado futuro, con proyecto, considera la inclusión de las obras y las modificaciones de

cobertura significativas asociadas a la construcción del proyecto, manteniendo condiciones climáticas, demográficas y estructurales sin cambios. Este escenario de futuro inmediato se construyó incorporando sólo los cambios derivados de las obras del proyecto (e.g. habilitación de caminos y construcción de línea de transmisión) y la funcionalidad de las mismas, manteniendo constantes las variables de cobertura vegetal y condiciones climáticas respecto al estado basal. Aún cuando, existen proyecciones climáticas y cambios demográficos (e.g. Miranda et al. 2017) que generarán un efecto positivo indudable sobre el riesgo de incendios futuro, estos no fueron incluidos en el análisis ya que dificultan una correcta ponderación de los efectos directos del proyecto en el riesgo.

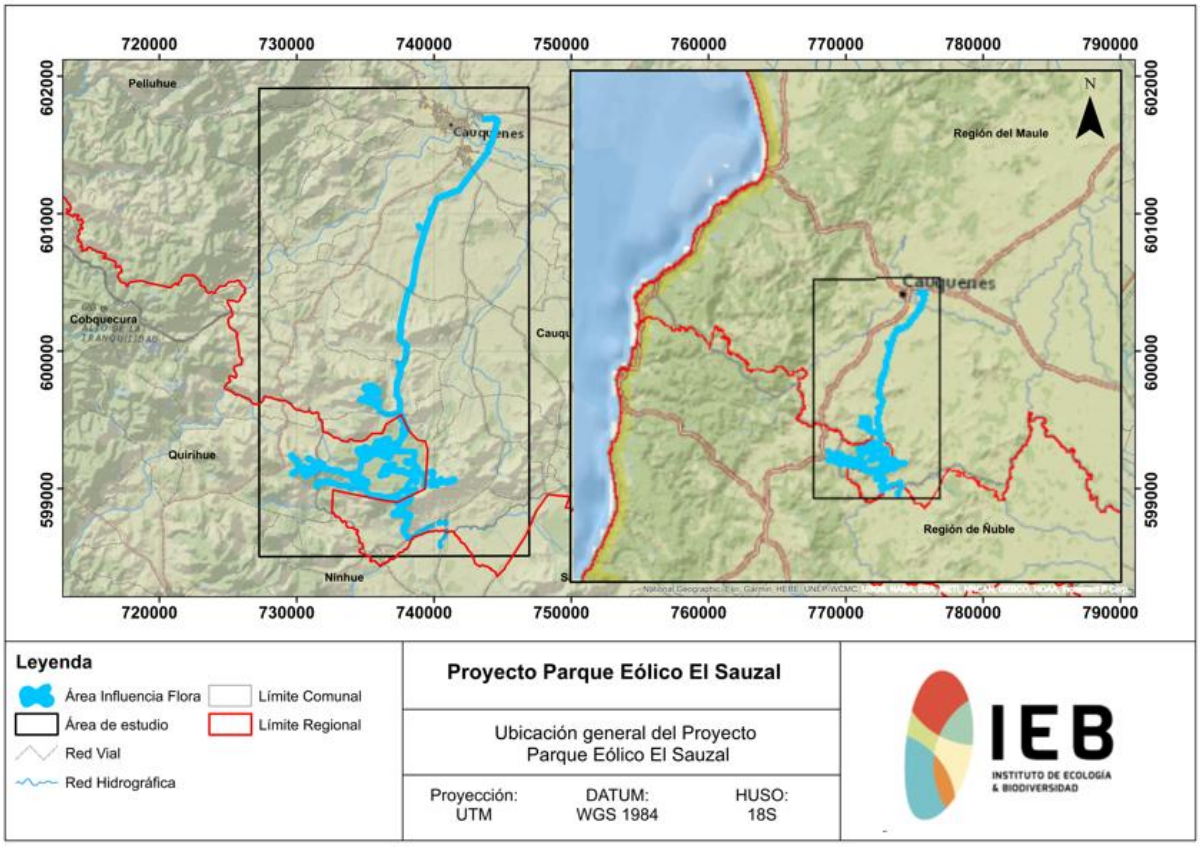

Figura 1. Ubicación del Área de Estudio y Área de Influencia de Flora y Vegetación para la evaluación del riesgo de incendios asociada al Proyecto Parque Eólico El Sauzal.

3.2.1 Amenaza

La construcción del índice de amenaza de incendios se realizó empleando un conjunto de procedimientos de análisis espacial del software R, utilizando principalmente los paquetes terra, sf, dplyr, spatstat (Hijmans et al. 2022; Pebesma 2018; Baddeley &

Turner, 2014). La información rasterizada consideró la densidad de población, la red vial existente, las estadísticas históricas de causalidad de los incendios, la probabilidad de ignición, la magnitud del fuego, la velocidad de propagación, la amenaza climática, el viento, la exposición y la pendiente (Tabla 1).

Todas las variables fueron normalizadas entre 0 y 1 empleando una normalización min–max basada en sus valores empíricos mínimos y máximos. Esta operación, realizada también mediante funciones de *terra* (Hijmans et al. 2022), permitió estandarizar las escalas y asegurar que cada variable contribuyera proporcionalmente al índice final, independientemente de sus unidades originales.

Posteriormente, las capas normalizadas fueron integradas en tres componentes principales siguiendo criterios utilizados por CONAF (2024a) en análisis de riesgo: un componente de amenaza antrópica, un componente estadístico y un componente estructural. La amenaza antrópica se asocia a elementos de origen antrópico que puedan desencadenar un incendio forestal. La amenaza estadística se refiere a la incidencia histórica de incendios para cada territorio y la amenaza estructural son los factores que inciden en la probabilidad de ignición, de propagación y en el comportamiento del fuego en un incendio forestal.

El componente de amenaza estadística se trabajó mediante spatstat.geom y spatstat.explore, específicamente para la generación de un mapa de densidad de puntos de inicio de incendios mediante Kernel Density Estimation (KDE). Cada componente recibió ponderaciones internas basadas en los pesos relativos de cada variable (Tabla 1) y, adicionalmente, se asignaron ponderaciones globales a los tres componentes, 33,33% para amenaza antrópica, 33,33% para estadística y 33,33% para estructural.

Con el índice continuo ya construido, se procedió a su clasificación en cinco niveles de amenaza mediante dos estrategias complementarias. En primer lugar, se utilizó una reclasificación basada en rangos definidos, construida con matrices de reclasificación y aplicada mediante la función classify del paquete terra. En segundo lugar, se aplicó una clasificación basada en cuartiles, donde los valores iguales a cero se asignaron a la categoría de nula amenaza de incendios y el resto de los valores se dividió según los percentiles 25, 50, 75 y 100, lo que permitió captar la distribución real del índice de amenaza.

3.2.1.1 Amenaza antrópica

Densidad Poblacional

Se define como el número de habitantes por km^2 y está relacionada con la amenaza asociada a la concentración de personas en el territorio, debido a la multiplicidad de

actividades que estas realizan y que pueden propiciar la ocurrencia de un incendio forestal (CONAF, 2024a). Esta capa fue obtenida de WorldPop Hub2 (Bondarenko et al. 2025).

Red vial y ferroviaria

Contiene la red vial y ferroviaria, integrando, para la primera, las siguientes categorías: pavimento, ripio, grava y suelo natural. Esta variable está relacionada con la potencial amenaza generada por la frecuencia de uso de las vías y los niveles de accesibilidad a posibles fuentes de ignición, así como su posterior propagación (CONAF, 2024a). A esta capa se le asignó un área de influencia (buffer) de 100 metros (50 metros por lado). La red de caminos fue obtenida del Ministerio de Obras Públicas, mientras que la red de ferrocarriles fue obtenida de la Biblioteca del Congreso Nacional (2023).

Red de energía

Está integrada por líneas de transmisión, subestaciones eléctricas y centrales de generación (hidroeléctricas, eólicas, térmicas, solares, bioenergía y geotérmicas). Esta variable representa una amenaza al ser una fuente probable de ignición por chispas, cortocircuitos, sobrecargas, etc. (CONAF, 2024a). A la capa en formato de líneas se le aplicó un área de influencia de 10 metros (líneas de transmisión) y un radio de 50 metros a subestaciones y centrales (capas en formato de puntos y polígonos). Las capas utilizadas provienen del Ministerio de Energía y son, en su mayor parte, de uso público.

3.2.1.2 Amenaza Estadística

Frecuencia de ignición de incendios

Para la construcción de esta variable se utilizó la base de datos de puntos de inicio de incendios obtenida del Sistema de Información Digital para Control de Operaciones (SIDCO) de la última década (temporadas 2016-2017 a 2024-2025). La capa de puntos fue procesada con la función Kernel Density de ArcGIS, a fin de obtener la densidad de puntos por kilómetro cuadrado.

Causalidad

Se construyó una capa de densidad de incendios, categorizada por causalidad. Las categorías de causas incluyen incendios negligentes, intencionales, accidentales, naturales e indeterminados de causa desconocida.

Frecuencia de Daño

Con base en las cicatrices de incendios de la última década, se construyó una capa de frecuencia de daño, en la que se determinó cuántas veces un sector determinado fue afectado por el fuego durante el periodo de evaluación.

3.2.1.3 Amenaza Estructural

Velocidad de Propagación e Intensidad del Fuego del Combustible

El combustible, en el contexto de los incendios forestales, está determinado por el tipo de cobertura vegetacional y la estructura asociada a esta. Para caracterizar el combustible se trabajó con dos fuentes de información: 1) para el área de influencia de flora y vegetación se utilizó la clasificación de coberturas generada por el proyecto en mediante campañas de línea base en terreno, apoyadas enortofoto del agosto de 2023, lo que permitió obtener datos precisos sobre la distribución y composición de la vegetación. 2) para el área de estudio se utilizó el Catastro de Recursos Vegetacionales (CONAF, 2024b). Las coberturas de los distintos usos de suelo (i.e. Catastro, Fotointerpretación), fueron homologados con los modelos de combustibles de Kitral (Julio et al. 1995), obteniendo desde los valores tabulados de dicho proyecto las subvariables de Velocidad de propagación e Intensidad del fuego. Zonas desprovistas de vegetación, como áreas urbanas, cuerpos de agua y otras, se consideran zonas sin combustible para incendios forestales y se les asignan valores cero de velocidad de propagación e intensidad del fuego.

Condiciones climáticas históricas

Esta variable integra la temperatura máxima y la velocidad del viento, siendo estas dos subvariables imprescindibles para evaluar el comportamiento del fuego. En el caso de la temperatura, se utilizó el promedio de la temperatura máxima diaria entre enero de 2024 y octubre de 2025, obtenido a partir del producto ERA5-Land (variable *2 m temperature max*), que representa la temperatura máxima diaria estimada a 2 metros sobre el suelo (Muñoz-Sabater et al. 2021). Para la velocidad del viento, se empleó el promedio de la velocidad máxima diaria durante el mismo período (enero de 2024 a octubre de 2025), calculada a partir de las componentes zonal (*u10*) y meridional (*v10*) del viento a 10 metros de altura, también provenientes de ERA5-Land (Buontempo et al. 2022). Ambas variables se procesaron mediante Google Earth Engine, generando un conjunto de capas continuas que representan las condiciones meteorológicas promedio sobre el área de estudio.

Terreno

Esta variable está compuesta por dos subvariables: Pendiente y Exposición. En el caso de la primera, se trabajó con grados, siendo las pendientes mayores a 30° las más críticas en el comportamiento del fuego, influyendo directamente en la velocidad de propagación (CONAF, 2024a). En el caso de la exposición, los terrenos con exposición

norte, noroeste y oeste presentan mayores condiciones de amenaza, debido al mayor número de horas de radiación solar directa y a la consiguiente disponibilidad de los combustibles finos muertos, debido a la reducción en su contenido de humedad (CONAF, 2024a).

Para ambas subvariables se utilizó el modelo de elevación digital (DEM) Copernicus GLO-30 (Trevisani et al. 2023) de 30 m x 30 m de resolución espacial obtenido de Google Earth Engine.

3.2.2 Vulnerabilidad

Hace referencia a aquellas condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, institucionales, económicos y/o ambientales que aumentan la susceptibilidad de una persona, una comunidad, los bienes, infraestructuras o servicios o los sistemas a los efectos de las amenazas (ONEMI, 2020). En este enfoque, la exposición de elementos susceptibles de daño, como infraestructura, asentamientos humanos y ecosistemas, se encuentra incorporada dentro del componente de vulnerabilidad territorial.

La construcción del índice de vulnerabilidad territorial se realizó mediante procedimientos de análisis espacial implementados en R, empleando principalmente los paquetes terra, sf, dplyr y herramientas de reproyección, alineación y álgebra de mapas integradas en *terra* (Hijmans et al. 2022). Para ello se utilizaron capas ráster asociadas a distintos componentes de la vulnerabilidad: interfaz urbano-rural, infraestructura crítica, modelo de combustibles y valor económico. Las variables continuas, en particular el modelo de combustibles y el valor económico, fueron normalizadas entre 0 y 1 mediante una transformación min–max basada en sus valores empíricos mínimos y máximos, garantizando la comparabilidad entre capas con unidades heterogéneas y permitiendo que cada una contribuye proporcionalmente al índice final. Posteriormente, las variables normalizadas y las variables binarias se combinaron en tres grandes componentes conceptuales: interfaz urbano-rural, que refleja la exposición de asentamientos humanos en zonas de interfaz; infraestructura crítica, que agrupa elementos relevantes para la respuesta y la continuidad operacional frente a emergencias; y modelo de combustibles, que representa el potencial de propagación y la severidad del fuego. Cada variable recibió ponderaciones en función de su relevancia relativa (Tabla 2) y los componentes fueron integrados en un índice base mediante álgebra de mapas. Finalmente, este índice base fue modulado mediante un multiplicador de valor económico, lo que permitió intensificar la vulnerabilidad territorial en áreas donde existe mayor concentración de actividades productivas o infraestructura valiosa. El índice continuo resultante se clasificó en cinco niveles de vulnerabilidad mediante cuartiles, distinguiendo zonas de muy baja a muy alta vulnerabilidad y permitiendo una interpretación territorialmente diferenciada del fenómeno.

3.2.2.1 Vulnerabilidad antrópica

Interfaz

Las zonas de interfaz urbano-rural hacen referencia a la zona de transición en el paisaje entre las construcciones o edificaciones (infraestructura) y la vegetación de diferentes tipos (agrícola, pastizal, forestal, etc.). Las interfaces son vulnerables debido a la proximidad entre naturaleza y desarrollo urbano (Aguirre et al. 2024), siendo estos territorios aquellos donde los incendios causan mayor número de muertes y pérdida de viviendas y otras construcciones (Miranda et al. 2021). Áreas urbanas consolidadas, parcelaciones, loteos y campamentos, incorporando, además, aldeas y viviendas rurales, derivadas de la información producida por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) en el contexto del pre-censo 2024 y de las descargas del visor de Análisis de Riesgo de Incendios Forestales y Zonas de Interfaz de CONAF (2025a).

- **Consolidado urbano principal:** Se refiere a la superficie que determina la densidad de población y la concentración espacial de estructuras físicas, como construcciones, infraestructura vial y viviendas (MINVU-INE, 2018). Esta capa incorpora un área de influencia de 500 metros.
- **Consolidado urbano secundario**: Área circundante al consolidado urbano principal. Puede tener pequeñas o grandes extensiones y usualmente se ubica en las cercanías de una ciudad (MINVU-INE, 2018). Esta capa incorpora un área de influencia de 300 metros.
- **Aldea**: Entidad rural cuya población fluctúa entre 302 y 2.000 habitantes, o entre 1.001 y 2.000 habitantes, con más del 50% de su población dedicada a actividades primarias. Presenta amanzanamiento y/o continuidad de viviendas en torno a una vía de comunicación estructurante (INE, 2019). Esta capa incorpora un área de influencia de 150 metros.
- **Vivienda rural**: Lugar de alojamiento de personas y hogares en el entorno rural, de manera aislada. Una vivienda es toda edificación construida, convertida o dispuesta para el alojamiento de personas, así como cualquier clase de albergue, fijo o móvil, ocupado como lugar de residencia. La vivienda puede estar construida con cualquier material, durable o de desecho, que sirva para construir un techo y paredes, vallas u otros elementos de separación que aíslen a sus moradores del entorno (INE, 2024). Esta capa incorpora un área de influencia de 50 metros.
- **Parcelaciones:** Se refieren a Parcelas de Agrado. Asentamiento humano concentrado o disperso. Con una o más propiedades, con nombre propio común a todas ellas, que generalmente deriva del nombre del predio que las originó. Independientemente del nombre que asume la entidad, cada parcela puede tener un nombre en particular. Por su dimensión, no constituye una explotación

agrícola, aun cuando existan cultivos al interior de ella; se diferencia de la "Parcela" por el tipo de edificación moderna de la vivienda, correspondiente a un nivel socioeconómico medio/alto y alto, y generalmente se localiza en las cercanías de urbanos de importancia (INE, 2020).

- **Loteos irregulares**: Se refiere a ocupaciones de terreno que no cuentan con permiso o recepción definitiva correspondiente. También otros asentamientos poblados que se acogieron a leyes excepcionales para su regularización o la adquisición del dominio sobre sitios, pero que no cuentan con la recepción definitiva de las obras correspondientes. Se aplica, además, a los asentamientos que cuentan formalmente con un certificado de recepción definitiva que requiere ser modificado, debido a que no se corresponde con la situación física existente (BCN, 2022).
- **Campamento**: Asentamiento de ocho o más hogares que habitan una posesión irregular de terreno, con carencia de al menos uno de los tres servicios básicos (electricidad, agua potable y sistema de alcantarillado), cuyas viviendas son precarias y se encuentran agrupadas y contiguas (MINVU, 2022). Esta capa incorpora un área de influencia de 100 metros.

3.2.2.2 Vulnerabilidad Ecológica

Áreas protegidas y de interés ecológico

Proteger las áreas silvestres protegidas del Estado (SNASPE) contra el fuego es una de las prioridades para CONAF, según lo consignado en el Plan estratégico del Programa de Protección contra incendios forestales 2023-2026 (CONAF, 2024a). Estas áreas poseen un valor alto de vulnerabilidad, debido a que albergan flora y fauna nativa y/o endémica del país que ante un evento de incendio verían alterado o destruido su ecosistema. Además, esta variable incorpora otros territorios que prestan servicios ecosistémicos y no están contenidas dentro de las áreas con protección oficial. Esta capa incluye una serie de subvariables:

- SNASPE (Parques nacionales, Reservas nacionales y Monumentos naturales) y Santuarios de la Naturaleza, a los cuales se les asignó un área de influencia de 2.000 metros.
- Áreas protegidas privadas, a las cuales se les asignó un área de influencia de 1.000 metros.
- Sitios Ramsar, Bienes Nacionales Protegidos, Sitios Prioritarios para la Conservación, Áreas de Preservación Ecológica y Reservas de la Biósfera, a los cuales se les asignó un área de influencia de 500 metros.
- Parques urbanos: Cobertura integrada por toda la vegetación dentro del límite urbano. Consideró todas aquellas áreas verdes con una superficie mayor a 5.000 m^2 y un ancho mínimo de 20 metros, también los parques lineales a partir de los

10 metros de ancho siempre y cuando sean áreas verdes arboladas que contengan senderos y mobiliario que posibiliten su uso por parte de la comunidad (MINVU, 2023).

- Humedales urbanos y rurales: Se trabajó con la capa del inventario nacional de humedales, filtrando solo aquellos de tipo palustre (orden 2), integrando humedales permanentes, estacionales, bofedales, mallines, vegas y turberas.

Valor ecológico del combustible

Hace referencia a la relevancia en términos de hábitat para la biodiversidad y los servicios ecosistémicos capaces de proveer los distintos usos del suelo con cubierta vegetal dentro del territorio. Tomando como base el Catastro de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile (CONAF, 2024b) para el Área de estudio y la fotointerpretación para el área de Influencia de Flora y Vegetación, las diferentes coberturas dentro del área de análisis fueron rankeadas según su valor ecológico, en base a criterio de experto (IEB, datos no publicados). Se generó un índice considerando atributos asociados al uso, subuso, estructura y cobertura. Asignado valores de 1 a 10 a cada categoría, otorgando mayor puntaje a rodales dominados por especies nativas, con mayores densidades y estados de desarrollo más avanzados. De esta manera el mayor valor ecológico fue catalogado en Bosques Nativos Adultos Densos y el valor más bajo en uso Agrícola.

3.2.2.3 Vulnerabilidad Socioeconómica

Infraestructura crítica

Hace referencia al conjunto de instalaciones, sistemas físicos, servicios esenciales y de utilidad pública, así como aquellos cuya afectación cause un grave daño a la salud o al abastecimiento de la población, a la actividad económica esencial, al medioambiente o a la seguridad del país (Ley 21.542, Ministerio del Interior y Seguridad Pública). En este caso se consideran las siguientes variables:

- **Infraestructura energética**: Integra las subvariables 1) líneas de transmisión, 2) subestación eléctrica, 3) centrales de generación eléctrica, 4) estaciones de servicio y 5) almacenamiento de combustibles. En el caso de las líneas de transmisión, se aplicó un área de influencia de 10 metros, mientras que a la subestación eléctrica, a las centrales de generación, a las estaciones de servicio y de almacenamiento de combustibles (en formato punto y polígono) se les aplicó un área de influencia de 50 metros.
- **Infraestructura de transporte y telecomunicaciones**: Integra las subvariables: 1) red vial y ferroviaria (pavimento, ripio, grava, tierra, red ferroviaria); 2) red aeroportuaria (aeropuertos, aeródromos, helipuertos); y 3) antenas de telecomunicaciones. A la red vial se le aplicó un área de influencia de 100 metros

(50 metros por lado); a la red aeroportuaria se le aplicó un área de influencia de 50 metros, al igual que a las antenas de telecomunicaciones.

- **Infraestructura social:** Integra las siguientes subvariables: 1) red de establecimientos educacionales, 2) carabineros, 3) compañías y cuerpos de bomberos, 4) establecimientos administrativos (municipalidades) y 5) agua potable rural. Todas estas subvariables están representadas en formato punto, por lo cual se les aplicó un área de influencia de 50 metros.

Valor económico del combustible

Hace referencia al valor comercial de los diferentes tipos de vegetación, el cual fue determinado en base a dos fuentes de información: 1) para el área de influencia de flora y vegetación se utilizó la clasificación de coberturas realizada por Ambienta Solutions en base a fotointerpretación de ortofoto del agosto de 2023. 2) para el área de estudio se utilizó el Catastro de Recursos Vegetacionales (CONAF, 2024b). Donde cada subuso de suelo fue homologado al modelo de combustibles Kitral (Julio et al. 1995), utilizando su definición de valor directo (en UF/ha). Según Kitral, el bosque nativo y las plantaciones forestales presentan un valor económico alto, a diferencia de los pastizales, que presentan un valor económico más bajo (CONAF, 2024a).

3.2.3 Riesgo de Incendios

La elaboración del índice de riesgo se realizó mediante procedimientos de análisis espacial en R, utilizando principalmente los paquetes terra, sf, dplyr, spatstat.geom y spatstat.explore (Hijmans et al. 2022; Pebesma, 2018; Baddeley & Turner, 2014). El riesgo fue conceptualizado siguiendo el enfoque clásico de evaluación territorial, donde se entiende como la combinación ponderada entre la amenaza y la vulnerabilidad del territorio. Para ello, se emplearon capas ráster continuas correspondientes a la amenaza pre y post proyecto, junto con las capas de vulnerabilidad procesadas previamente. El índice de riesgo se construyó aplicando una combinación lineal ponderada de ambos componentes, utilizando pesos de 60% para amenaza y 40% para vulnerabilidad, en concordancia con el análisis espacial del riesgo de incendios (CONAF, 2024a) (Ver Tablas 1 y 2). El índice continuo resultante fue posteriormente normalizado entre 0 y 1 mediante una transformación min–max basada en los valores empíricos mínimos y máximos de cada ráster. Finalmente, el índice de riesgo normalizado fue reclasificado en cinco niveles ordinales. El análisis del riesgo final fue agregado a escala de área de estudio y para el área de influencia de flora y vegetación del Proyecto Parque Eólico El Sauzal.

Si bien no existe una definición en términos absolutos cuantitativos de las categorías de riesgo, dado que la clasificación de riesgo de CONAF (2024a) depende de múltiples factores variables según cada territorio. La categorización final resulta de un análisis

integrado del contexto local de amenaza y vulnerabilidad, más que de umbrales fijos. En términos descriptivos los niveles de riesgo pueden ser entendidos como:

Riesgo Nulo: Terrenos dominados por cubiertas no vegetales. Terrenos considerados como no combustibles en el contexto de incendios forestales. Considera Áreas urbanas e industriales fuera de la interfaz, cuerpos de agua, Nieves eternas y glaciares, y Áreas desprovistas de vegetación.

Riesgo Bajo: Limitada probabilidad de ignición; vegetación moderadamente combustible, topografía favorable (menos propensa a la propagación), baja exposición humana.

Riesgo Medio: Probabilidad moderada de ignición o propagación, condiciones de combustible y clima que pueden favorecer el fuego, algo de exposición de viviendas/infraestructura.

Riesgo Alto: Alta probabilidad de ignición o propagación; condiciones favorables para el fuego (vegetación seca, pendiente, viento), y presencia significativa de viviendas o infraestructura en interfaz.

Riesgo Muy Alto: Probabilidad muy alta de inicio y propagación rápida de incendios forestales, combustibles disponibles en abundancia, terreno complejo, vulnerabilidad alta, posible daño importante a personas, infraestructura o ecosistemas.

Tabla 1. Información de variables y subvariables utilizadas para el cálculo del componente de amenaza de incendios forestales. Ponderación corresponde al peso de cada componente dentro del factor y el valor máximo que cada variable o subvariable puede alcanzar dentro de su componente. ( ) valor máximo asignado para capas categóricas. [ ] valor máximo para capas continuas o construidas de forma aditiva.

FACTOR	COMPONENTE	VARIABLE	PONDERACIÓN		SUBVARIABLES	FUENTE
AMENAZA	ANTRÓPICA	DENSIDAD POBLACIONAL	33,33	[16,67]	Número de personas por km^2	Bondarenko et al. 2025
		RED DE CAMINOS Y CARRETERAS		[6,67]	Pavimento	Padgham et al. 2017
					Ripio	Padgham et al. 2017
					Suelo Natural	Padgham et al. 2017
					Grava	Padgham et al. 2017
					Sin información	Padgham et al. 2017
					Línea de Ferrocarril	Padgham et al. 2017
		RED DE ENERGÍA		[10]	Líneas de transmisión	IDE ENERGÍA, 2025
					Subestación eléctrica	IDE ENERGÍA, 2025
					Centrales de generación eléctrica	IDE ENERGÍA, 2025
	ESTADÍSTICA	FRECUENCIA/CAUSALIDAD DE INCENDIOS	33,33	[16,67]	Negligentes	CONAF, 2025b
					Intencionales	CONAF, 2025b
					Accidentales	CONAF, 2025b
					Naturales	CONAF, 2025b
					Indeterminadas o Desconocida	CONAF, 2025b
				[6,67]	Frecuencia Ignición	CONAF, 2025b
				[10]	Frecuencia Daño	CONAF, 2025b
	ESTRUCTURAL	COMBUSTIBLE	33,33	[10]	Velocidad de Propagación	CONAF 2024b, Julio et al. 1995 (Catastro+Kitral)
				[6,67]	Intensidad del fuego	CONAF 2024b, Julio et al. 1995 (Catastro+Kitral)
		CONDICIONES CLIMÁTICAS HISTÓRICAS		[5]	Temperatura Máxima	Muñoz-Sabater et al. 2021
				[3,33]	Velocidad del Viento	Buontempo et al. 2022
		TERRENO		[3,33]	Exposición	Trevisani et al. 2023
				[5]	Pendiente	Trevisani et al. 2023

Tabla 2. Información de variables y subvariables utilizadas para el cálculo del componente de vulnerabilidad. Ponderación corresponde al peso de cada componente dentro del factor y el valor máximo que cada variable o subvariable puede alcanzar dentro de su componente. ( ) valor máximo asignado para capas categóricas. [ ] valor máximo para capas continuas o construidas de forma aditiva.

FACTOR	COMPONENTE	VARIABLE	PONDERACIÓN		SUBVARIABLES	FUENTE
VULNERABILIDAD	ANTRÓPICA	INTERFAZ	50	(40)	Consolidado Principal	CONAF (2025a)
				(20)	Consolidado Secundario	CONAF (2025a)
				(20)	Aldea	CONAF (2025a)
				(30)	Vivienda Rural	CONAF (2025a)
				(50)	Parcelaciones y Loteos	CONAF (2025a)
				(40)	Campamentos	CONAF (2025a)
	ECOLÓGICA	SNASPE	25	[17,5]	ASP SNASPE	MMA (s.f.). *GEOPORTAL SIMBIO*
		OTRAS ÁREAS PROTEGIDAS			Áreas Protegidas Privadas	MMA (s.f.). *GEOPORTAL SIMBIO*
					Santuarios de la Naturaleza	MMA (s.f.). *GEOPORTAL SIMBIO*
					Sitios prioritarios para la conservación	MMA (s.f.). *GEOPORTAL SIMBIO*
					Reservas de la Biósfera	MMA (s.f.). *GEOPORTAL SIMBIO*
					Bienes Nacionales Protegidos	MMA (s.f.). *GEOPORTAL SIMBIO*
					Áreas de Preservación Ecológica	MMA (s.f.). *GEOPORTAL SIMBIO*
					Sitios Ramsar	MMA (s.f.). *GEOPORTAL SIMBIO*
					Humedales Urbanos y Rurales	MMA (s.f.). *GEOPORTAL SIMBIO*
		VALOR ECOLOGICO DEL COMBUSTIBLE		[7,5]	Valor Ecológico del Combustible	CONAF 2024b, Julio et al. 1995 (Catastro+Kitral), IEB datos no publicados
	SOCIOECONOMICA	INFRAESTRUCTURA CRITICA	25	[5,8]	Infraestructura Energética	IDE ENERGIA, 2025
				[5,8]	Infraestructura Transporte y Telecomunicaciones	BCN, 2025; IDE 2021
				[5,8]	Infraestructura Social	Bomberos 2024, Carabineros 2024, DOH 2024, IDE 2025, IDE SUBDERE 2022
		VALOR ECONOMICO DEL COMBUSTIBLE		[7,5]	Valor Económico del Combustible	CONAF 2016, Julio et al. 1995 (Catastro+Kitral)

4. Resultados

4.1 Amenaza

Dentro del **área de estudio,** el 19,74 % de la superficie presenta una Amenaza Muy Alta (13.104,61 ha), un 31,58 % de Amenaza Alta (20.970,36 ha), mientras que el 21,71 % muestra una Amenaza Media, lo que representa 14.416,64 ha. Por su parte, la categoría Amenaza Baja (17.036,68 ha) representa el 25,66 % y la Amenaza Nula, que corresponde a zonas sin vegetación y no incluidas en los modelos de combustible de Kitral (Julio et al. 1995), el 1,30 % (866,43 ha) del Área de Estudio (Figura 2A. Anexo 1: Fig2_Amenaza). Dentro del **área de influencia** del Proyecto Parque Eólico El Sauzal, el 62,35 % de la superficie presenta una Amenaza Muy Alta (1.482,99 ha), mientras que el 16,64 % presenta una Amenaza Alta (395,78 ha). La Amenaza Media representa el 8,47 % (201,35 ha). Por su parte, la categoría de Amenaza Baja (295,93 ha) abarca el 12,44 % del área, mientras que la categoría nula representa un 0,11 % (2,52 ha).

Al incluir las obras asociadas a la construcción del proyecto, las variables del componente amenaza que se ven afectadas son la red de caminos y la red eléctrica por la adición de obras, y la velocidad de propagación y la intensidad de combustible por el cambio de uso de suelo asociado a la implementación de las obras. En el estado con proyecto (Figura 2B), dentro del **área de estudio**, el 22,66 % de la superficie presenta una Amenaza Muy Alta (15.048,17 ha), un 33,51 % de Amenaza Alta (22.247,51 ha), mientras que el 18,73 % muestra una Amenaza Media, lo que representa 12.432,66 ha. Por su parte, la categoría Amenaza Baja (15.702,59 ha) representa el 23,65 % del Área de Estudio. Finalmente, la superficie con Amenaza Nula representa solo un 1,45 % del área (963,78 ha). Considerando solo el **Área de Influencia** del Proyecto Parque Eólico El Sauzal, el 63,79 % de la superficie presenta una Amenaza Muy Alta (1.517,18 ha), mientras que el 14,53 % muestra una Amenaza Alta, lo que representa 345,54 ha. La Amenaza Media representa el 7,17 % (170,56 ha). Por su parte, la categoría Amenaza Baja (245,4 ha) representa el 10,32 % dentro del área y la superficie con Amenaza Nula representa solo el 4,20 % del área (99,87 ha).

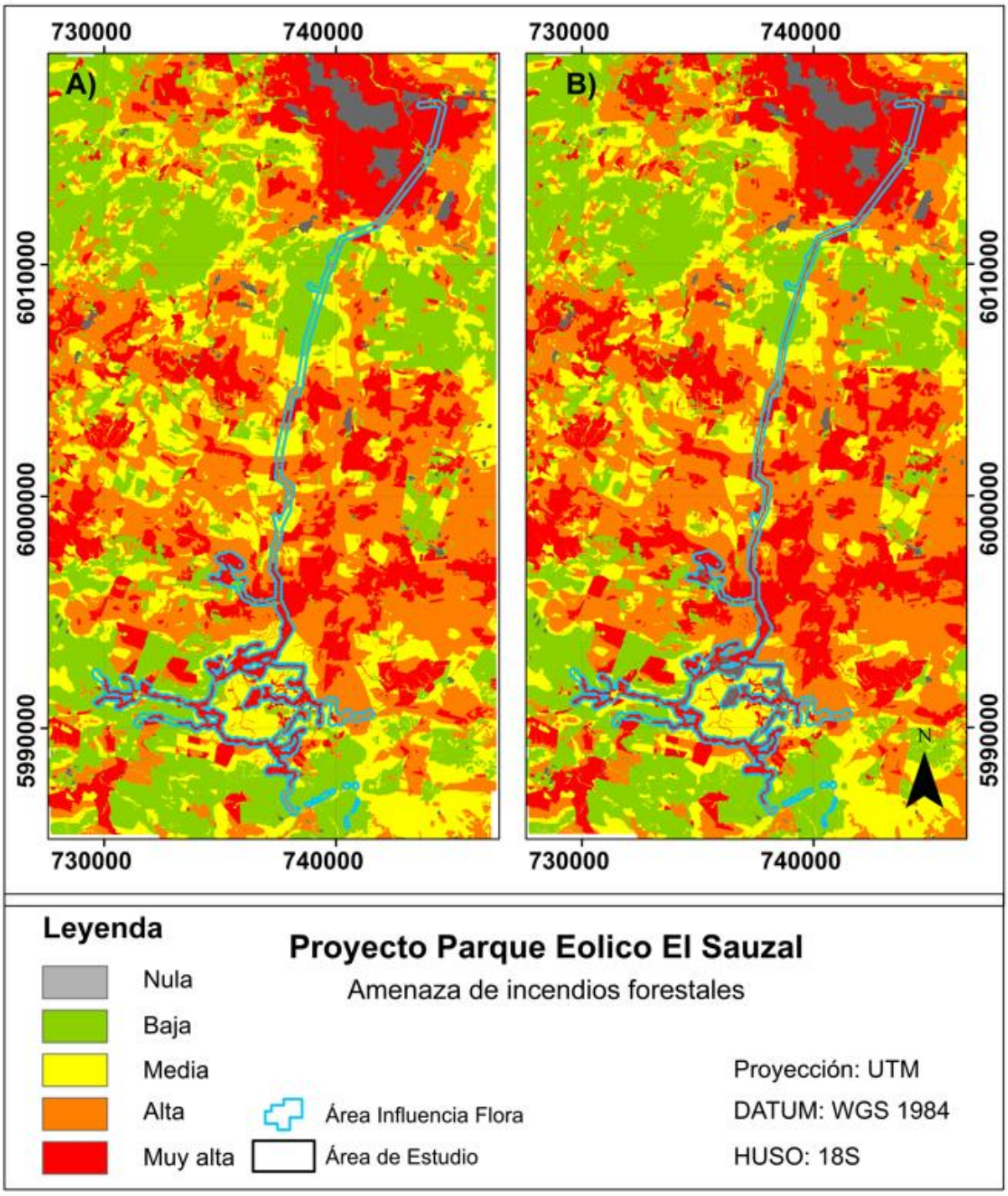

Figura 2. Evaluación espacial del componente de **amenaza de incendios forestales** dentro del Área de Estudio y Área de Influencia del proyecto, considerando: A) un estado presente (sin proyecto) y B) futuro (con proyecto). Los colores representan los niveles de amenaza: Nula (gris), Baja (azul), Media (amarillo), Alta (naranja) y Muy Alta (rojo).

La ejecución de las obras y proyectos genera un cambio en la amenaza dentro del **Área de Estudio**, el cual se traduce en un aumento del 14,83 % de los sectores bajo una Amenaza Muy Alta, 6,09 % de la Amenaza Alta y de 11,24 % de la Amenaza Nula, y una

disminución del 13,76 % la Amenaza Media y la Amenaza Baja del -7,83 % (Tabla 3). Dentro del **Área de Influencia**, el efecto del proyecto se traduce en un aumento de la Amenaza Muy Alta en un 2,31 % y de 3.863,10 % de la Amenaza Nula; la Amenaza Alta disminuye en un 12,69 %, la Amenaza Media en un 15,29 %, y la Baja un 17,07 % (Tabla 3).

Tabla 3. Superficie (ha) bajo los distintos niveles de amenaza registrados dentro del Área de estudio y del Área de influencia en un estado Sin y Con Proyecto. Δ% representa la variación porcentual de cada nivel de amenaza por las obras del proyecto.

Amenaza	Área de Estudio			Área de Influencia		
	Sin Proyecto	Con Proyecto	Δ%	Sin Proyecto	Con Proyecto	Δ%
Muy Alta	13.104,61	15.048,17	14,83	1.482,99	1.517,18	2,31
Alta	20.970,36	22.247,51	6,09	395,78	345,54	-12,69
Media	14.416,64	12.432,66	-13,76	201,35	170,56	-15,29
Baja	17.036,68	15.702,59	-7,83	295,93	245,4	-17,07
Nula	866,43	963,78	11,24	2,52	99,87	3.863,10

Síntesis del componente Amenaza

En el Área de Estudio, el escenario con proyecto presenta un incremento de la Amenaza Muy Alta del 14,83 %, acompañado por un aumento menor de la categoría Alta (+6,09 %) y una disminución relevante de las categorías Media (-13,76 %) y Baja (-7,83 %). Este comportamiento indica una intensificación del patrón de amenaza preexistente, producto de la reclasificación de sectores intermedios hacia categorías de mayor severidad, más que una expansión homogénea de la amenaza.

En el Área de Influencia, el aumento de la Amenaza Muy Alta es más acotado (+2,31 %); sin embargo, se observa una redistribución marcada de las categorías, caracterizada por una disminución de las clases Alta, Media y Baja, y un incremento muy significativo de la Amenaza Nula (+3863,10 %). Este patrón evidencia la coexistencia de superficies directamente intervenidas, con pérdida efectiva de combustible, y sectores adyacentes donde la amenaza se mantiene o se intensifica.

El aumento de la Amenaza Muy Alta se explica por la incorporación de infraestructura del proyecto (i.e., caminos, plataformas y red eléctrica) en sectores que ya presentaban condiciones favorables para la ignición y propagación del fuego, tales como continuidad de combustibles, topografía propicia y exposición a factores climáticos críticos. Dentro del componente Antrópico, considerando las obras y su efecto borde (i.e. buffer aplicados), para la variable Red de Caminos la superficie de la red dentro del Área de Estudio pasó de 5.039 ha. a 5.546 ha. En el Área de influencia pasó de 61 ha. a 568 ha. Es decir hay una ganancia de 507 ha asociadas a una mayor amenaza. Dentro de la variable Red eléctrica, la construcción de Línea de transmisión, Centrales de generación y Subestación incrementan la amenaza de 187 ha.

4.2 Vulnerabilidad

Dentro del **área de estudio**, no se registraron sectores con una Vulnerabilidad Muy Alta. La ausencia de áreas protegidas y otros ecosistemas de importancia ecológica dentro del área de estudio afectan el valor máximo que puede alcanzar este componente. Los sectores con Vulnerabilidad alta representan el 29,36 % con 19.479,52 ha. Por su parte, la categoría Vulnerabilidad Media (24.381,15 ha) representa el 36,75 % del área de estudio, y la Vulnerabilidad Baja (21.444,49 ha) representa un 32,33 %. Finalmente, la superficie con Vulnerabilidad Nula representa un 1,55 % del área (1.031,40 ha) (Figura 3A. Anexo 1: Fig3_Vulnerabilidad). Dentro del **área de influencia** del Proyecto Parque Eólico El Sauzal, el 11,55 % de la superficie presenta una Vulnerabilidad Alta (274,84 ha), mientras que el 70,17 % muestra una Vulnerabilidad Media (1.668,99 ha). La Vulnerabilidad Baja representa el 17,2 % (409,13 ha), y la categoría de Vulnerabilidad Nula representa el 1,08 % (25,6 ha) dentro del área de influencia.

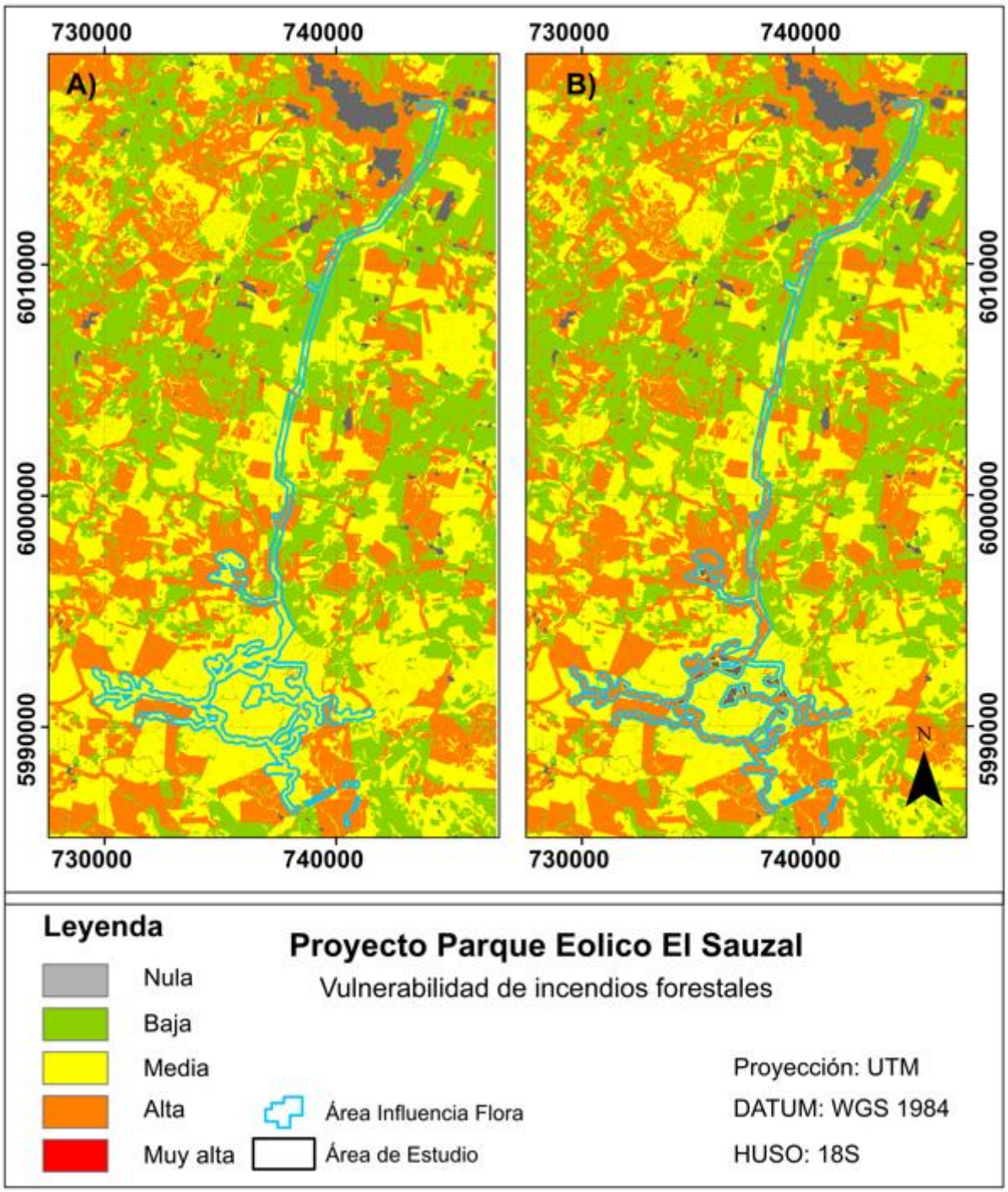

Figura 3. Evaluación espacial del componente de **Vulnerabilidad a incendios** forestales dentro del Área de Estudio y Área de Influencia del proyecto, considerando: A) un estado presente (sin proyecto) y B) futuro (con proyecto). Los colores representan los niveles de vulnerabilidad: Nula (gris), Baja (azul), Media (amarillo), Alta (naranja) y Muy Alta (rojo).

Al incluir las obras asociadas a la construcción del proyecto, las variables del componente de Vulnerabilidad que se ven afectadas son las asociadas a la

infraestructura crítica por la modificación de la red de caminos y la red eléctrica, y los valores ecológicos y económicos del combustible por el cambio de uso de suelo asociado a la implementación de las obras. En el estado con proyecto (Figura 3B), dentro del **área de estudio**, el 31,16 % de la superficie presenta una Vulnerabilidad Alta (20.660,36 ha), un 35,10 % de Vulnerabilidad Media (23.271,39 ha), mientras que el 32,11 % muestra una Vulnerabilidad Baja, lo que representa 21.288,25 ha. Por su parte, la categoría Vulnerabilidad Nula (1.080,74 ha) representa el 1,63 % del Área de Estudio. Considerando solo el **Área de Influencia** del Proyecto Parque Eólico El Sauzal, el 59,42 % de la superficie presenta una Vulnerabilidad Alta (1.413,33 ha), mientras que el 26,66 % muestra una Vulnerabilidad Media, lo que representa 634,24 ha. La Vulnerabilidad Baja representa el 8,74 % (207,77 ha). Por su parte, la categoría Vulnerabilidad Nula (123,23 ha) representa el 5,18 %.

La ejecución de las obras y proyectos genera un cambio en la Vulnerabilidad dentro del **Área de Estudio**, el cual se traduce en un aumento de 0,06 % de los sectores bajo una Vulnerabilidad Alta y una disminución del 0,05 % de la Vulnerabilidad media, del 0,01 % de la Vulnerabilidad Baja y un aumento de la Vulnerabilidad Nula de 0,05 % (Tabla 4). Dentro del **Área de Influencia**, el efecto del proyecto se traduce en un aumento de la Vulnerabilidad Alta con 414,24 % y la Vulnerabilidad Nula con 381,37 %; además de la reducción de la Vulnerabilidad Media y Baja, con valores de 62,00 % y 49,22 %, respectivamente (Tabla 4).

Tabla 4. Superficie (ha) bajo los distintos niveles de vulnerabilidad registrados dentro del Área de estudio y del Área de influencia en un estado Sin y Con Proyecto. Δ% representa la variación porcentual de cada nivel de vulnerabilidad por las obras del proyecto.

Vulnerabilidad	Área de Estudio			Área de Influencia		
	Sin Proyecto	Con Proyecto	Δ%	Sin Proyecto	Con Proyecto	Δ%
Muy Alta	0	0	-	0	0	-
Alta	19.479,52	20.660,36	0,06	274,84	1.413,33	414,24
Media	24.381,15	23.271,39	-0,05	1.668,99	634,24	-62,00
Baja	21.444,49	21.288,25	-0,01	409,13	207,77	-49,22
Nula	1.031,40	1.080,74	0,05	25,60	123,23	381,37

Síntesis del componente Vulnerabilidad

La Vulnerabilidad no presenta superficies clasificadas como Muy Alta en ninguno de los escenarios analizados. En el Área de Estudio, el efecto del proyecto es moderado, con un incremento de la Vulnerabilidad Alta del 0,06 %, leves disminuciones de las categorías Media y Baja, y un aumento marginal de la Vulnerabilidad Nula (+0,05 %).

En contraste, en el Área de Influencia se registran cambios mucho más pronunciados, la Vulnerabilidad Alta aumenta en un 414,24 %, mientras que las categorías Media y Baja disminuyen de forma sustantiva y la Vulnerabilidad Nula se incrementa en un 381,37 %. Este patrón refleja una concentración espacial de la vulnerabilidad en el entorno inmediato de las obras.

El aumento de la Vulnerabilidad Alta en el Área de Influencia se asocia directamente a cambios en el componente Socioecológico con una significativa expansión de la variable Infraestructura Crítica, pasando de un total de 60,83 ha a 714,45 ha, que se traduce en una adición de 654 ha. de mayor vulnerabilidad. Estos nuevos elementos, al ser activos esenciales para el proyecto y la región, elevan intrínsecamente la importancia de su protección y, por ende, la vulnerabilidad del territorio donde se localizan.

Por su parte, en el Área de Estudio, la infraestructura crítica se expande de 5.134 ha a 5.787 ha, asociados a la instalación del proyecto. Estos cambios, aunque distribuidos en un área mayor, contribuyen al alza de la Vulnerabilidad Alta y se superponen con otras variables evaluadas como el valor económico del combustible y los sectores de interfaz con uso antrópico. Solo se registró una disminución de la vulnerabilidad debido a la instalación de los botaderos dentro del Área de Influencia, que influyen directamente en el valor ecológico y económico de dichas áreas de la vegetación (i.e. combustible) pre-existente. A diferencia de la amenaza, la vulnerabilidad responde principalmente a la presencia y relevancia de los bienes en riesgo, más que a las características del combustible.

4.3 Riesgo de Incendios

Dentro del **Área de estudio**, el 29,61% de la superficie presenta un Riesgo Muy Alto (19.634,24 ha), un 14,80 % de Riesgo Alto (9.817,11 ha), mientras que el 29,61 % muestra un Riesgo Medio, lo que representa 19.634,25 ha. Por su parte, la categoría Riesgo Bajo (16.361,88 ha) representa el 24,67 % del área de estudio. Finalmente, la superficie con Riesgo Nulo representa solo un 1,31 % del área (866,54 ha) (Figura 4A. Anexo 1: Fig4_Riesgo). Dentro del **Área de influencia** del Proyecto Parque Eólico El Sauzal, el 66,51 % de la superficie presenta un Riesgo Muy Alto (1.581,87 ha), mientras que el 9,52 % muestra un Riesgo Alto (226,45 ha). El Riesgo Medio representa el 15,49% (368,46 ha). Por su parte, la categoría de Riesgo Bajo (199,27 ha) abarca el 8,38 %. La superficie de Riesgo Nulo representa el 0,11 % (2,52 ha).

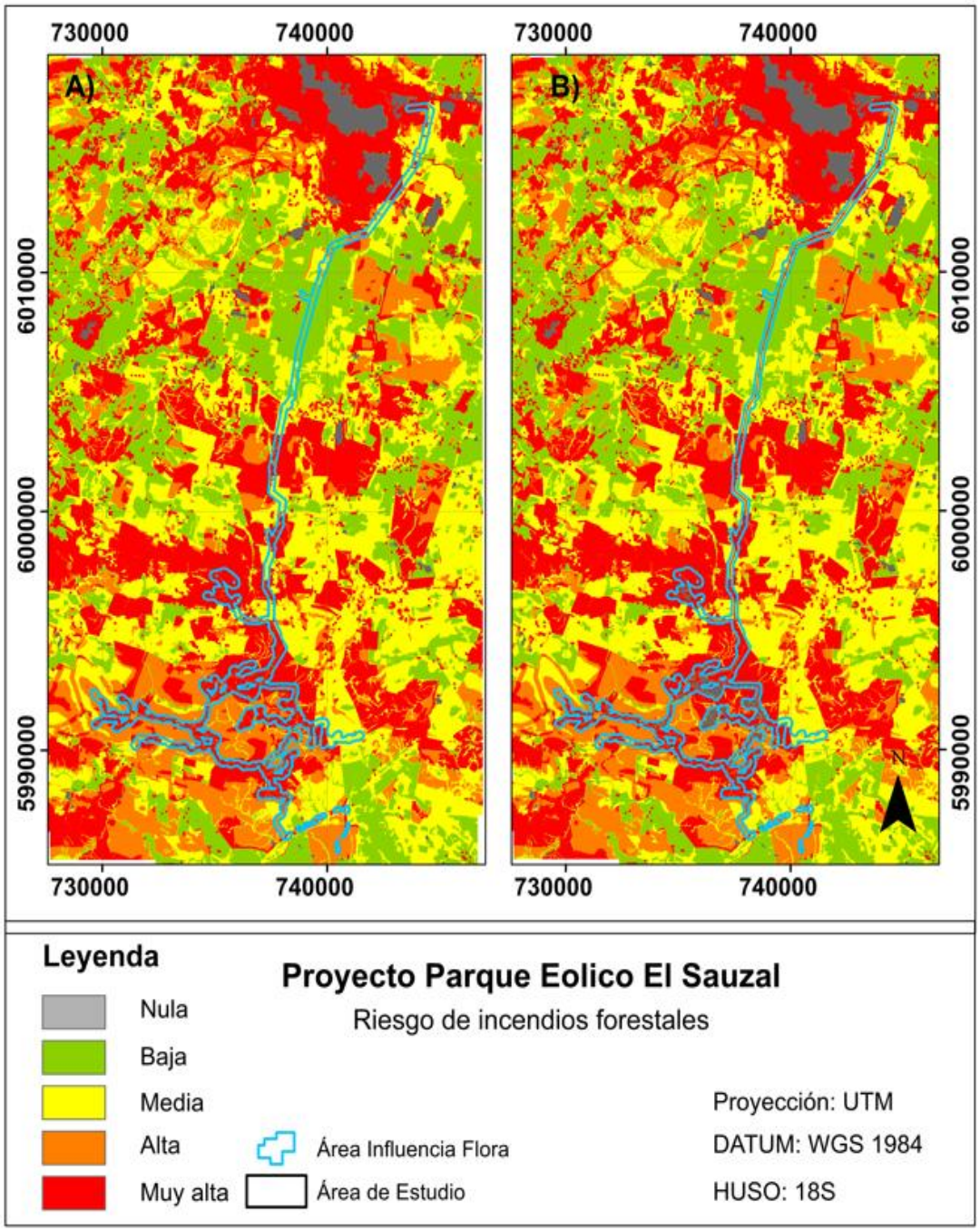

Figura 4. Evaluación espacial del **Riesgo de incendios** forestales dentro del Área de Estudio y Área de Influencia del proyecto, considerando: A) un estado presente (sin proyecto) y B) futuro (con proyecto). Los colores representan los niveles de riesgo: Nula (gris), Baja (azul), Media (amarillo), Alta (naranja) y Muy Alta (rojo).

En el **estado con proyecto** (Figura 4B), dentro del **Área de estudio**, el 29,56 % de la superficie presenta un Riesgo Muy Alto (19.605,04 ha), un 14,78 % de Riesgo Alto (9.817,11 ha), mientras que el 29,56 % muestra un Riesgo Medio, lo que representa 19.605,03 ha. Por su parte, la categoría Riesgo Bajo (16.337,53 ha) representa el 24,64 % del área de estudio. Finalmente, la superficie con Riesgo Nulo representa solo un 1,45 % del área (963,89 ha). Considerando solo el **Área de Influencia** del Proyecto Parque

Eólico El Sauzal, el 65,40 % de la superficie presenta un Riesgo Muy Alto (1.555,5 ha), mientras que el 9,28 % muestra un Riesgo Alto, lo que representa 220,82 ha. El Riesgo Medio representa el 13,73 % (326,64 ha). Por su parte, la categoría Riesgo Baja (175,74 ha) representa el 7,39 % dentro del área y la superficie con Riesgo Nulo representa solo el 4,20 % del área (99,87 ha).

La ejecución de las obras y proyectos genera un cambio en el Riesgo dentro del **área de estudio**, el cual se traduce en una disminución del 0,15 % de los sectores sujetos a un Riesgo Muy Alto, Riesgo Alto, Riesgo Medio y Riesgo Bajo, respectivamente. También se genera un aumento del Riesgo Nulo de 11,23 % (Tabla 5). Dentro del **Área de Influencia**, el efecto del proyecto se traduce en una reducción del Riesgo Muy Alto (1,70 %), Alto (2,55 %), Medio (12,80 %) y Riesgo Bajo del 13,39 %. La superficie bajo Riesgo Nulo aumentaría en 99,87 ha (Tabla 5).

Tabla 5. Superficie (ha) bajo los distintos niveles de Riesgo registrados dentro del Área de estudio y del Área de influencia, en un estado Sin y Con Proyecto. Δ% representa la variación porcentual de cada nivel de Riesgo por las obras del proyecto.

Riesgo	Área de Estudio			Área de Influencia		
	Sin Proyecto	Con Proyecto	Δ%	Sin Proyecto	Con Proyecto	Δ%
Muy Alto	19.634,24	19.605,04	-0,15	1.581,87	1.555,50	-1,70
Alto	9.817,11	9.802,52	-0,15	226,45	220,82	-2,55
Medio	19.634,25	19.605,03	-0,15	368,46	326,64	-12,80
Bajo	16.361,88	16.337,53	-0,15	199,27	175,74	-13,39
Nulo	866,54	963,89	11,23	2,52	99,87	97,48

Síntesis del componente Riesgo de incendios

El análisis integrado de Amenaza y Vulnerabilidad muestra que, en el Área de Estudio, el Riesgo Muy Alto disminuye en un 0,15 % al igual que el Riesgo Alto, Riesgo Medio y Riesgo Bajo asociado a superficies intervenidas sin combustible ni elementos expuestos. En contraste, el Riesgo Nulo aumenta un 11,23 %.

En el Área de Influencia de Flora, el Riesgo Muy Alto disminuye en un 1,70 %, el Riesgo Alto en un 2,55 %, el Riesgo Medio en un 12,80 %, mientras que el Riesgo Bajo un 13,39 %. El Riesgo Nulo se incrementa sustancialmente en un 97,48 % (pasando de 2,52 ha a 99,87 ha), destacando el aumento de superficies clasificadas como Riesgo Nulo en el escenario con proyecto.

El proyecto no incrementa el riesgo de incendios de manera sustantiva, sino que lo redistribuye y concentra en sectores específicos, los que originalmente ya presentaban valores Alto o Muy altos de riesgo, especialmente dentro del Área de Influencia. Este comportamiento refuerza la necesidad de implementar medidas de prevención, mitigación y manejo del fuego focalizadas en los sectores donde convergen altos niveles de amenaza y vulnerabilidad, ya sea por las obras del proyecto o las condiciones basales.

5. Conclusiones

El Proyecto Parque Eólico El Sauzal, a escala de paisaje, está emplazado en un área que presenta condiciones basales elevadas asociadas al riesgo de incendios forestales, asociados principalmente a una alta proporción de superficies con Amenaza Alta a Muy Alta, y a la presencia de elementos vulnerables vinculados a infraestructura y sectores de interfaz. Este riesgo basal en el área evaluada se debe a la convergencia de condiciones climáticas, estructurales y ecológicas que favorecen la ocurrencia de incendios de gran magnitud. La mega-sequía que afecta al centro-sur de Chile desde 2010 ha generado un déficit hídrico sostenido, incrementando la inflamabilidad de la vegetación y extendiendo la duración de la temporada de incendios (González et al. 2018). A esto se suma la alta homogeneidad del paisaje, dominado por extensas plantaciones forestales exóticas, que facilitan la continuidad del combustible y la propagación del fuego (Cruz et al. 2022; Gajardo et al. 2025). Estas condiciones se evidenciaron durante los megaincendios de 2017, en los cuales la Región del Maule fue una de las regiones más afectadas, confirmando su alta vulnerabilidad estructural frente a eventos extremos (Cruz et al. 2022). El Riesgo en el área de estudio está explicado principalmente por una Amenaza Alta o Muy Alta presente en el 51,32 % del territorio y una Vulnerabilidad Alta expresada en el 26,36 % del territorio. Estas condiciones basales de riesgo elevado son inherentes a las características del territorio y no consideran los efectos de la ejecución de las obras del proyecto. Este contexto regional enfatiza el hecho que tanto la fase de construcción como la de operación del proyecto requieren una gestión activa de reducción del riesgo de incendios forestales como componente relevante de su desempeño ambiental.

La ejecución de las obras y la operación del proyecto generan impactos diferenciales en los componentes de amenaza y vulnerabilidad de incendios forestales, con variaciones más pronunciadas en el Área de Influencia en comparación con el Área de Estudio general. En el Área de Estudio, los cambios son de magnitud moderada y se expresan principalmente como una intensificación gradual del patrón de amenaza preexistente, con incrementos en las categorías de mayor severidad y una reducción de las categorías intermedias. En este ámbito, el riesgo integrado no experimenta cambios sustantivos, reflejando un efecto acumulativo de las modificaciones introducidas por el proyecto en un territorio extenso con susceptibilidad basal elevada.

En contraste, en el Área de Influencia, los efectos del proyecto son más notorios y espacialmente concentrados. En términos de amenaza, se observa una redistribución de las categorías, caracterizada por la coexistencia de áreas con pérdida efectiva de combustible (Amenaza Nula) (i.e. construcción de botaderos) y sectores adyacentes donde se mantienen condiciones de amenaza elevada. La vulnerabilidad presenta en esta escala un aumento significativo en la categoría Alta, asociado a la incorporación de elementos considerados infraestructura crítica y a la concentración de elementos expuestos en el entorno inmediato de las obras. Como resultado, el riesgo elevado de

incendios forestales tiende a concentrarse en sectores específicos, con importantes concentraciones de clases Alta y Muy alta, pero sin variaciones importantes entre el estado con y sin proyecto. Es decir, estas categorías elevadas de riesgo, se mantienen por la ejecución de las obras del proyecto.

Estos patrones confirman que el proyecto no incrementa de manera homogénea el riesgo de incendios forestales, sino que reorganiza y focaliza el riesgo en el espacio, particularmente en el Área de Influencia. Las principales variables que explican estos cambios corresponden al aumento de la red de caminos y de infraestructura eléctrica, a la modificación del uso del suelo y a la interacción de estas obras con coberturas vegetales continuas y condiciones topográficas favorables preexistentes para la propagación del fuego.

Toda modificación del paisaje tiene efectos en el riesgo de incendios. Especialmente si estas se desarrollan en sectores donde las condiciones basales de amenaza son altas. Cabe destacar que la condición basal de riesgo en el área de estudio es de nivel alto, dado que la zona presenta concentración de combustible de alta inflamabilidad y condiciones climáticas favorables para la propagación, condición que debe interpretarse como punto de partida, y no como consecuencia del proyecto. Los incrementos estimados en los factores de amenaza y vulnerabilidad, y por consiguiente en el riesgo, eran esperables para un proyecto de estas características, que se explican principalmente por la habilitación de caminos y la construcción de la línea de transmisión, elementos que facilitan el acceso de personas al territorio y constituyen potenciales fuentes de ignición, conforme a los criterios establecidos por CONAF. La ejecución de obras que incrementan la red de caminos y la red eléctrica, inciden de manera positiva en elevar los niveles de ambos factores. La construcción de nuevos caminos, instalación de centrales generadoras (i.e. aerogeneradores), subestaciones concentradas en un sector de vientos importantes, pendientes medias, con abundante vegetación boscosa (exótica y nativa) que juegan un rol fundamental en la propagación e intensidad del fuego, tienen un efecto explícito espacialmente en el riesgo. Cabe destacar que la condición basal de riesgo de incendios en el área de estudio es de nivel alto, dado que la zona presenta elevadas cargas de combustible y condiciones climáticas favorables para la propagación. Los incrementos estimados con proyecto deben interpretarse en este contexto preexistente de alta amenaza. Esto adicionado con una línea de transmisión de casi 30 km que atraviesa distintos usos de suelo entre el emplazamiento del parque eólico y la zona urbana de alta vulnerabilidad de la comuna de Cauquenes. Es importante aclarar que, el incremento de amenaza asociado a la línea de transmisión no implica que ésta opere como vía de propagación directa del fuego. Su efecto se debe a: (i) la generación de fajas de manejo de vegetación que pueden acumular residuos combustibles, y (ii) el riesgo de ignición por fallas en la infraestructura eléctrica, ambos factores reconocidos en la literatura sobre incendios

asociados a infraestructura lineal (CONAF, 2018). Sin embargo, pese al aumento significativo de superficie de obras con efectos directos en los componentes de Amenaza y Vulnerabilidad, que se traduce en un aumento del Riesgo, no se expresa espacialmente en cambios significativos en la proporción de los distintos niveles de Riesgo. Esto debido a que el 76,03% de la superficie dentro del Área de Influencia presenta condiciones de riesgo Muy Alto y Alto, y con la ejecución de las obras estos niveles de riesgo representan el 74,68%.

Las proyecciones climáticas futuras muestran una fuerte caída en las precipitaciones y aumento de las temperaturas para Chile central (Bozkurt et al. 2018; Garreaud et al. 2025). Además, se proyecta que la población total continúe creciendo hasta mediados de la próxima década (INE, 2026), sumado a cambios en tendencias en el modo de habitar el territorio con expansión de zonas periurbanas y aumento de parcelas destinadas a usos urbanos conducentes a una mayor fragmentación de áreas rurales y áreas con cobertura vegetal permanente (Hernández-Moreno et al. 2021; Morales et al. 2026). Sin lugar a dudas estas proyecciones aumentarán los valores de amenaza y vulnerabilidad, con un efecto directo en el incremento del riesgo de incendios forestales para Chile central y el área de estudio. Sin embargo, es difícil espacializar de forma categórica estas proyecciones dentro de la escala del área de estudio y métodos utilizados en este informe, pero es claro que tendrán un efecto sinérgico sobre el riesgo junto a las obras asociadas al proyecto. En síntesis, las obras del proyecto se ejecutarán en un área donde las condiciones actuales y futuras son de alto riesgo de incendios forestales.

Estos resultados subrayan que el desafío central no es el incremento marginal del riesgo introducido por el proyecto, sino la gestión de una condición de alta peligrosidad preexistente que el proyecto hereda y que sus obras pueden intensificar localmente. La adopción de planes de manejo de vegetación, el diseño adecuado de la infraestructura, el fortalecimiento de los sistemas de monitoreo y respuesta, y la articulación con las estrategias regionales de gestión del riesgo de incendios resultan fundamentales para asegurar que el desarrollo del proyecto se realice bajo criterios de sostenibilidad territorial y la resiliencia ante escenarios futuros.

Finalmente, se enfatiza en el hecho que los niveles de riesgo de incendios forestales son elevados a escala de paisaje y en las inmediaciones de las obras del proyecto. Estos valores elevados de riesgo, por las condiciones basales del área, se mantienen o incrementan levemente por la instalación del proyecto. De ahí, asumir esta condición de riesgo alto como punto de partida, y no como consecuencia del proyecto, es el primer paso para diseñar acciones efectivas orientadas a contrarrestar las amenazas internas y externas, con énfasis en las zonas de mayor vulnerabilidad.

6. Anexo

Anexo 1. Capas de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo con y sin proyecto para el área de estudio y área de influencia.

7. Referencias

Abatzoglou, J.T., Kolden, C.A., Cullen, A.C. et al. (2025). Climate change has increased the odds of extreme regional forest fire years globally. Nature Communications, 16, 6390. https://doi.org/10.1038/s41467-025-61608-1

Aguirre, P., León, J., González-Mathiesen, C., Román, R., Penas, M., Ogueda, A. (2024). Modelling the vulnerability of urban settings to wildland–urban interface fires in Chile. Natural Hazards and Earth System Sciences, 24, 1521–1537, https://doi.org/10.5194/nhess-24-1521-2024

Baddeley, A., & Turner, R. (2014). Package 'spatstat'. The Comprehensive R Archive Network, 14**6.**

BCN (2022). Ley 21477. Modifica el procedimiento de saneamiento y regularización de loteos y extiende su vigencia. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Santiago. Disponible en: https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1179864

BCN (2025). Mapas vectoriales. Disponible en: https://www.bcn.cl/siit/mapas_vectoriales

Bomberos de Chile (2024). Compañías de Bomberos. Disponible en: https://datospararesiliencia.cl/dataset.xhtml?persistentId=doi:10.71578/DGVCQZ

Bondarenko M., Priyatikanto R., Tejedor-Garavito N., Zhang W., McKeen T., Cunningham A., Woods T., Hilton J., Cihan D., Nosatiuk B., Brinkhoff T., Tatem A., Sorichetta A. (2025). The spatial distribution of population in 2015-2030 at a resolution of 30 arc (approximately 1km at the equator) R2025A version v1. Global Demographic Data Project - Funded by The Bill and Melinda Gates Foundation (INV-045237). WorldPop - School of Geography and Environmental Science, University of Southampton. DOI:10.5258/SOTON/WP00845

Bozkurt, D., Rojas, M., Boisier, J. & Valdivieso, J. (2018). Projected hydroclimate changes over Andean basins in central Chile from downscaled CMIP5 models under the low and high emission scenarios. Climatic Change 150: 131-147

Buontempo, C., Burgess, S. N., Dee, D., Pinty, B., Thépaut, J. N., Rixen, M., ... & Garcés de Marcilla, J. (2022). The copernicus climate change service: climate science in action. Bulletin of the American Meteorological Society, 103(12), E2669-E2687.

Carabineros de Chile (2024). Cuarteles de Carabineros. Disponible en: https://datospararesiliencia.cl/dataset.xhtml?persistentId=doi:10.71578/17RN7A

Coll, L. (2023). Retos selvícolas para afrontar la adaptación de los bosques al cambio climático. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, 49(2), 77-100. https://doi.org/10.31167/csecfv0i49.19938

CONAF (2018). Pauta de prescripciones técnicas aplicables al programa de protección contra incendios forestales contenidas en los planes de manejo de plantaciones. Santiago-Chile. CONAF.

CONAF (2020). Causas de Incendios Forestales en Chile. Corporación Nacional Forestal. Disponible en: https://www.conafprevencionincendios.cl/investigacion-de-incendios-forestales/causas-de-incendios-forestales/

CONAF (2024a). Actualización Análisis Nacional de Amenaza y Riesgo por Incendios Forestales. Corporación Nacional Forestal. Gerencia de protección contra incendios forestales. Departamento de desarrollo e investigación. 53 pp.

CONAF (2024b). Actualización del catastro de usos de suelo y vegetacional a nivel regional para todo el país. Disponible en: https://www.geoportal.cl/geoportal/catalog/35194/Catastros%20de%20Uso%20de%20Suelo%20y%20Vegetaci%C3%B3n

CONAF (2020c). Guía de evaluación. Criterios para la participación de CONAF en el SEIA. Santiago, Chile. 159 pp. Disponible en: https://www.conaf.cl/centro-documental/guia-de-evaluacion-ambiental-criterios-para-la-participacion-de-conaf-en-el-seia-conaf-2020/

CONAF (2025a). Análisis Nacional de Riesgo de Incendios Forestales y Zonas de Interfaz. Disponible en: https://www.conaf.cl/incendios/analisis-nacional-de-riesgo-de-incendios-forestales/

CONAF (2025b). Bases estadísticas de ocurrencia y daño por incendios forestales desde 1985 hasta 2025. Oficina de informaciones. Disponible en: https://www.portaltransparencia.cl/

CR2. (2023). Megaincendios forestales en un clima cambiante. Análisis (CR)2. Disponible en: https://www.cr2.cl/analisis-cr2-megaincendios-forestales-en-un-clima-cambiante/

Cruz, G. A. D. L., Alfaro, G., Alonso, C., Calvo, R., & Orellana, P. (2022). Modeling the ignition risk: Analysis before and after megafire on Maule Region, Chile. Applied Sciences, 12(18), 9353.

DOH (2024). Dirección de Obras Hidráulicas. Agua Potable Rural. Disponible en: https://datospararesiliencia.cl/dataset.xhtml?persistentId=doi%3A10.71578%2FLNOA0V

Gajardo, J., Yáñez, M., Padilla, R., Espinoza, S., & Carrasco-Benavides, M. (2025). Modeling the spatial distribution of wildfire risk in Chile under current and future climate scenarios. Fire, 8(3), 113.

Garreaud, R., Boisier, J. P., Álvarez-Garreton, C., Christie, D., Carrasco-Escaff, T., Vergara, I., Chávez, R. O., Aldunce, P., Camus, P., Suazo-Álvarez, M., Masiokas, M., Castro, G., Muñoz, A., Zambrano-Bigiarini, M., Fuster, R., & Godoy, L. (2025). Hyperdroughts in central Chile: Drivers, Impacts and Projections, EGUsphere [preprint], https://doi.org/10.5194/egusphere-2025-517

González, M. E., Gómez-González, S., Lara, A., Garreaud, R., & Díaz-Hormazábal, I. (2018). The 2010–2015 Megadrought and its influence on the fire regime in central and south-central Chile. Ecosphere, 9(8), e02300.

Hernández-Moreno, A., Echeverría, C., Sotomayor, B., Soto, D.P. (2021). Relationship between anthropization and spatial patterns in two contrasting landscapes of Chile. Applied Geography, 137: 102599.

Hijmans, R. J., Bivand, R., Forner, K., Ooms, J., Pebesma, E., & Sumner, M. D. (2022). Package 'terra'. Maintainer: Vienna, Austria, 384.

IDE (2021). Infraestructura de Datos Geoespaciales. Antenas en Servicio Ley de Torres. Disponible en: https://www.geoportal.cl/geoportal/catalog/35911/Antenas%20en%20Servicio%20Ley%20de%20Torres

IDE (2025). Infraestructura de Datos Geoespaciales. Establecimientos de salud. Disponible en: https://www.geoportal.cl/index.php/geoportal/catalog/36777/Establecimientos%20de%20Salud%20Octubre%202025

IDE ENERGÍA (2025). Infraestructura de Datos Espaciales del Ministerio de Energía. Disponible en: https://atencionciudadana.minenergia.cl/tramites/informacion/15

IDE SUBDERE (2022). Establecimientos administrativos. Disponible en: https://ide.subdere.gov.cl/descargas-con-filtros/

INE (2019). Ciudades, pueblos, aldeas y caseríos. Santiago. Disponible en: https://geoarchivos.ine.cl/File/pub/Cd_Pb_Al_Cs_2019.pdf

INE (2020). Parcelas de agrado desde la perspectiva censal y territorial Región Metropolitana de Santiago. Disponible en: https://geoarchivos.ine.cl/File/pub/Parcelas%20de%20agrado%20desde%20la%20perspectiva%20censal%20y%20territorial_%20RM.pdf

INE. (2023). Informe anual de medio ambiente. Instituto Nacional de Estadísticas, Chile. Disponible en: https://bibliotecadigital.ciren.cl/items/078ea308-9516-4a68-91ee-058a41e34abc

INE (2024). Manual censista. Censo de población y vivienda 2024. Santiago. Disponible en:

https://capacitacioncenso.ine.gob.cl/pluginfile.php/186803/mod_resource/content/2/MANUAL%20DEL%20CENSISTA%202024_DIGITAL.pdf

INE. (2026). Estimaciones y Proyecciones de Poblacion Base 2024. URL: https://www.ine.gob.cl/sala-de-prensa/prensa/general/noticia/2026/01/28/el-ine-proyecta-que-en-2026-la-poblaci%C3%B3n-de-chile-alcanzar%C3%A1-las-20.150.948-personas-llegando-a-su-nivel-m%C3%A1ximo-a-mediados-de-la-pr%C3%B3xima-d%C3%A9cada?utm_source=chatgpt.com Accedido: 28/01/2026

Jones, M. W., Abatzoglou, J. T., Veraverbeke, S., Andela, N., Lasslop, G., Forkel, M., ... & Le Quéré, C. (2022). Global and regional trends and drivers of fire under climate change. Reviews of Geophysics, 60(3), e2020RG000726. https://doi.org/10.1029/2020RG000726

Jones, M. W., Veraverbeke, S., Abatzoglou, J. T., Andela, N., Archibald, S., Burton, C., ... & van der Werf, G. R. (2024). Global rise in forest fire emissions linked to climate change in the extratropics. Science, 386(6719), 301-306. https://doi.org/10.1126/science.adl5889

Julio, G., Pedernera, P., & Castillo, E. (1995) Diseño Funcional de Simulador de Incendios Forestales. Actas de Taller Internacional sobre Prognosis de Incendios Forestales. Universidad de Chile. INTEC-Chile e Instituto Forestal. pág. 182-204.

Liang, L., Wang, Y., Huang, J., & Li, B. (2024). Extreme climate sparks record boreal wildfires and carbon surge in 2023. The Innovation, 5(4), 100631. https://doi.org/10.1016/j.xinn.2024.100631

MINVU (2022). Informe metodológico de catastro de campamentos 2022. Santiago. Disponible en: https://www.minvu.gob.cl/catastro-campamentos-2022/

MINVU (2023). Catastro de parques urbanos. Santiago. Disponible en: https://ide.minvu.cl/datasets/MINVU::catastro-de-parques-urbanos/about

Miranda, A., Carrasco, J., González, M., Pais, C., Lara, A., Altamirano, A., Weintraub, A., Syphard, A. (2021). Policy brief (CR)2: Identificando la interfaz urbana-rural en Chile: condiciones que determinan el mayor riesgo de incendios. CR2. Santiago. Disponible en: https://www.cr2.cl/wp-content/uploads/2021/01/Policy-brief-Identificando-la-interfaz-%C3%A1rea-rural-en-Chile.pdf

Miranda, A., Altamirano, A., Cayuela, L., Lara, A., & González, M. (2017). Native forest loss in the Chilean biodiversity hotspot: revealing the evidence. Regional Environmental Change, 17(1), 285-297.

MMA. (s.f.). *Geoportal SIMBIO* – Sistema de Información y Monitoreo de Biodiversidad. https://apps.mma.gob.cl/visorsimbio

Morales, M., Pfeffer, K., Wang, J., Maturana, F., Schwarz, N. (2026). Comparative spatio-temporal and morphological analysis of urban growth using local climate zones in southern Chile. Land Use Policy, 168: 108067

Muñoz-Sabater, J., Dutra, E., Agustí-Panareda, A., Albergel, C., Arduini, G., Balsamo, G., ... & Thépaut, J. N. (2021). ERA5-Land: A state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. Earth system science data, 13(9), 4349-4383.

ONEMI. (2016). Política Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior. Disponible en: https://archivos.senapred.gob.cl/main.html?download&weblink=77d76aec49323322f3ab62909d97341b&realfilename=ONEMI_BGI_2016.pdf

ONEMI, 2020. Política Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. Plan estratégico Nacional 2020-2030. Disponible en: https://emergenciaydesastres.mineduc.cl/wp-content/uploads/2021/04/POLITICA-NACIONALGESTIO%CC%81N-REDUCCIO%CC%81N-DEL-RIESGO-DE-DESASTRES-2020-2030.pdf

Padgham, M., Lovelace, R., Salmon, M., & Rudis, B. (2017). osmdata. Journal of Open Source Software, 2(14).

Pebesma, E. (2018). Simple features for R: standardized support for spatial vector data.

Ramírez, P. (2019). Cambios en los usos de suelo, vulnerabilidad del territorio e incendios forestales. El caso de estudio Las Máquinas, Región del Maule. Tesis de Maestría. Disponible en: https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2019/hdl_2072_367596/TFM_PriscilaRamirezAliaga.pdf

Shen, Z., Giljohann, K., Liu, Z., Pausas, J. G., & Rogers, B. M. (2025). Novel wildfire regimes under climate change and human activity: patterns, driving mechanisms and ecological impacts. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 380(1924), 20230446.https://doi.org/10.1098/rstb.2023.0446

Trevisani, S., Skrypitsyna, T. N., & Florinsky, I. V. (2023). Global digital elevation models for terrain morphology analysis in mountain environments: insights on Copernicus GLO-30 and ALOS AW3D30 for a large Alpine area. Environmental Earth Sciences, 82(9), 198.