

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE ARQUITECTURA, URBANISMO Y GEOGRAFÍA
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA

Memoria de Título



**ANÁLISIS DE LOS PROCESOS DE RECUPERACIÓN DEL
PAISAJE POST INCENDIOS FORESTALES EN LA
COMUNA DE YUMBEL (2013 – 2024)**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓGRAFO

Estudiante: Antonio Lagos Quilodrán

Profesora guía: Dra. Edilia Jaque Castillo

Profesor co-guía: Dr. (c) Francisco Castro Venegas

Fecha: 20 de Noviembre de 2025



Esta Memoria de Título se realizó en el marco del Grupo de investigación Multiamenazas, Vulnerabilidades y Cambio Global.

Agradecimientos y/o dedicatoria

Dedico esta memoria de título a mi familia, que ha sido mi pilar durante estos cinco grandiosos años. A mis padres Jaime Lagos Ortiz, a mi madre Jenny Quilodrán Morales y a mi hermano Jaime Lagos quienes con su amor y apoyo incondicional hicieron posible que alcanzara este logro.

A mi abuela, que cada fin de semana me esperaba con entusiasmo para preguntar cómo había sido mi semana, transmitiéndome paciencia y cariño. A mis mascotas, que me regalaron momentos de desconexión y consuelo en épocas de estrés, especialmente a mi querido perro que falleció y que estuvo a mi lado cuando cometí errores en mi camino académico, ayudándome a aliviar aquel ahogo emocional. A cada docente de la carrera de Geografía, por su constante disposición para resolver mis dudas y guiarme en este aprendizaje.

A la Primera Compañía de Bomberos de Yumbel, por compartir experiencias y aprender de cada intervención, lo que enriqueció profundamente esta investigación.

De igual manera, agradezco a Multiamenazas Biobío, organización que me recibió durante 2025 en mi práctica profesional y me entregó un valioso espacio de crecimiento. En particular, a Francisco Castro, cuyas ideas, apoyo y orientaciones en cada reunión me ayudaron a avanzar con mayor claridad.

Y finalmente, a mi compañero de carrera Luis Fernández, por esta gran compañía académica y de amistad que se ha forjado durante todos estos años.

Esta tesis es el reflejo del esfuerzo compartido, de los apoyos silenciosos y del amor que me ha acompañado en este camino.

Antonio

ÍNDICE

RESUMEN.....	8
1 INTRODUCCIÓN.....	9
1.1 Planteamiento del problema.....	14
1.2 Preguntas de Investigación	20
2 HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	21
2.1 Objetivo general	21
2.2 Objetivos específicos.....	21
3 METODOLOGÍA.....	21
3.1 Enfoque Metodológico	21
3.2 Área de Estudio.....	22
3.3 Métodos y Técnicas	27
3.3.1 Esquema metodológico.....	27
3.3.2 Identificar y cartografiar las áreas quemadas por incendios forestales en la comuna de Yumbel durante los últimos 11 años.....	28
3.3.3 Evaluar la severidad de los IF y sus efectos en la comuna de Yumbel durante los últimos 11 años.	31
3.3.4 Analizar la evolución de las áreas quemadas en la comuna de Yumbel en los periodos 2016-2017; 2021-2022 y 2022-2023.	33
3.3.5 Discutir las políticas públicas orientadas a la recuperación de las zonas afectadas por incendios forestales.....	37
4. MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO	38
4.1 Incendios Forestales	38
4.1.1 Condiciones necesarias para que se origine fuego.....	39
4.1.2 Intensidad del Fuego	40
4.1.3 Severidad del Fuego.....	40
4.2 Evaluación de la severidad por incendios forestales.....	41
4.3 Tipos de incendios forestales	41
4.4 Cambio climático	42
4.4.1 Cambio climático e incendios forestales	44
4.5 Riesgo por incendios forestales.....	45
4.6 Factores de vulnerabilidad	45
4.7 Impacto de los Incendios Forestales	46

4.8 Plantación/Reforestación.....	47
4.9 Política Forestal.....	47
4.10 Paisaje	48
4.10.1 Recuperación o restauración del paisaje.....	49
4.11 La Teledetección como herramienta para el análisis de incendios forestales	50
4.11.1 Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)	50
4.11.2 Índice Normalizado de Área Quemada (NBR).....	51
4.11.3 Índice de quema normalizado delta (dNBR).....	53
4.11.4 Google Earth Engine.....	53
4.11.5 Landsat-8.....	54
4.11.6 Sentinel-2.....	54
5. RESULTADOS	55
5.1 Áreas Afectadas por Incendios Forestales en la Comuna de Yumbel (2013-2024) 55	
5.1.1 Análisis temporal de las áreas afectadas año a año	59
5.2 Severidad de las áreas afectadas por los incendios forestales (2013-2024).....	62
5.2.1 Análisis temporal de la severidad de las áreas afectadas año a año.....	66
5.3 Evolución de las áreas quemadas en la comuna de Yumbel en los años 2017, 2022 y 2023	69
5.3.1 Análisis anual de las Áreas Recuperadas.....	71
5.4 Experiencias locales y políticas públicas en la recuperación de las zonas afectadas por incendios forestales de la comuna de Yumbel	72
5.4.1 Percepción Comunitaria.....	72
5.4.2 Operativo-respuesta	73
5.4.3 Institucional.....	74
6 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	77
6.1 Síntesis de los hallazgos principales	77
6.2 Factores explicativos	78
6.3 Análisis de políticas públicas y gestión local.....	79
7. CONCLUSIONES	80
7.1 Limitaciones del estudio	82
8. BIBLIOGRAFÍA	83
9 Anexos.....	91
Anexo 9.1 Preguntas de las entrevistas	91

Anexo 9.2 Entrevistas Transcritas	91
---	----

Índice de Figuras

Figura 1. Incrementos del cambio climático.	10
Figura 2. Ubicación de eventos o episodios ilustrativos de incendios forestales extremos.....	11
Figura 3. Localización de los focos de Incendios Forestales en la comuna de Yumbel 2011-2024.	17
Figura 4. Densidad de incendios forestales por kilómetro cuadrado (2018–2023) en la comuna de Yumbel.....	18
Figura 5. Área afectada por los incendios forestales en la comuna de Yumbel durante el periodo 2022-2023.	19
Figura 6. Zoom al área afectada por los incendios forestales en la comuna de Yumbel durante el periodo 2022-2023.	20
Figura 7. Área de Estudio.....	23
Figura 8. Distribución de uso de suelo en la comuna de Yumbel.....	25
Figura 9. Índice de aumento de riesgo de incendios	26
Figura 10. Esquema metodológico de la investigación	27
Figura 11. Imágenes Landsat mostrando una visualización SWIR-NIR-Red del 20-12-2023, previa al incendio (arriba), y del 5-2-2024, posterior al incendio (abajo).30	
Figura 12. Efectos del cambio climático	44
Figura 13. Formula de NDVI.....	51
Figura 14. Comparación de la respuesta espectral de la vegetación saludable y las áreas quemadas.....	52
Figura 15. Formula del NBR.....	52
Figura 16. Formula Dnbr.	53
Figura 17. Áreas afectadas por incendios forestales periodos 2013-2014 a 2016-2017.	56
Figura 18. Áreas afectadas por incendios forestales periodos 2017-2018 a 2021-2022.	57

Figura 19. Áreas afectadas por incendios forestales periodos 2021-2022 a 2023-2024.	58
Figura 20. Severidad de los incendios forestales periodos 2013-2014 a 2016-2017	63
Figura 21. Severidad de los incendios forestales periodos 2017-2018 a 2020-2021	64
Figura 22. Severidad de los incendios forestales periodos 2021-2022 a 2023-2024	65
Figura 23. Mapas de Salud de la Vegetación – post incendios forestales para los años 2017, 2022 y 2023.....	70
Figura 24. Solicitud de transparencia.	75
Figura 25. Nube de palabras.	76

Índice de gráficos

Gráfico 1. Superficie quemada por incendios forestales 2013-2024. Comuna de Yumbel.	15
Gráfico 2. Número de Incendios Forestales en la Comuna de Yumbel. Periodo 2013-2024.	16

Índice de Tablas

Tabla 1. Evolución de la Población de Yumbel entre 1970 – 2024	24
Tabla 2. categorías de usos de suelos en la comuna de Yumbel.	24
Tabla 3. Fuente de datos	29
Tabla 4. Niveles de severidad.	32
Tabla 5. Clasificación de los niveles de severidad del incendio	33
Tabla 6. Fuente de Datos.	33
Tabla 7. Fuente de datos.....	36
Tabla 8. Distribución de la muestra por estrato y perfil de informantes.....	38
Tabla 9. Alteraciones en el suelo dependiendo de la temperatura alcanzada.	42

RESUMEN

En las últimas décadas, los incendios forestales han provocado profundas alteraciones en los paisajes del centro-sur de Chile. La comuna de Yumbel Entre 2013 y 2024 se identificaron 540 incendios forestales, los cuales afectaron aproximadamente 23.000 hectáreas, la comuna constituye un ejemplo crítico de esta problemática, donde no solo han resultado afectadas plantaciones de pino y eucalipto, sino también extensas superficies de vegetación nativa y zonas habitadas. Pese a la magnitud del daño, los procesos de recuperación post incendio no han sido abordados de manera sistemática, predominando respuestas fragmentadas como la reforestación con monocultivos o el abandono de los territorios afectados.

El estudio se desarrolló bajo un enfoque mixto, combinando análisis multitemporal de imágenes satelitales (Landsat 8 y Sentinel-2) y cartografía temática con la aplicación de encuestas y entrevistas semiestructuradas a habitantes y actores institucionales locales. Esta integración metodológica permitió evaluar tanto la magnitud del daño y la severidad de los incendios, como las percepciones y experiencias locales respecto a las estrategias de recuperación implementadas. La investigación busca responder tres preguntas centrales: (i) ¿Cuáles han sido los cambios en las áreas afectadas por incendios en los últimos once años? (ii) ¿Cómo se ha abordado la recuperación considerando factores biofísicos, antrópicos e institucionales? y (iii) ¿Qué estrategias formales e informales han sido implementadas para favorecer la restauración?

Los resultados evidencian una recuperación heterogénea del paisaje, con zonas donde la vegetación muestra procesos de regeneración activa y otras donde persiste una pérdida significativa de cobertura, especialmente en áreas de uso forestal intensivo. A nivel social e institucional, se constató una limitada articulación entre políticas públicas y prácticas comunitarias, predominando respuestas reactivas más que una prevención o una planificación de las temporadas de incendios.

El estudio busca demostrar las áreas que son constantemente afectadas por los incendios forestales, además de demostrar las acciones realizadas por la población afectada y las instituciones municipales.

PALABRAS CLAVES: Incendios Forestales, Recuperación del paisaje, Teledetección,

1 INTRODUCCIÓN

En el mundo, los incendios forestales (IF) constituyen la causa más importante de destrucción de vegetación. Estos se incrementan y propagan con mayor facilidad cuando hay altas temperaturas, fuertes vientos, sequedad de la vegetación y del ambiente (SENAPRED, s/f).

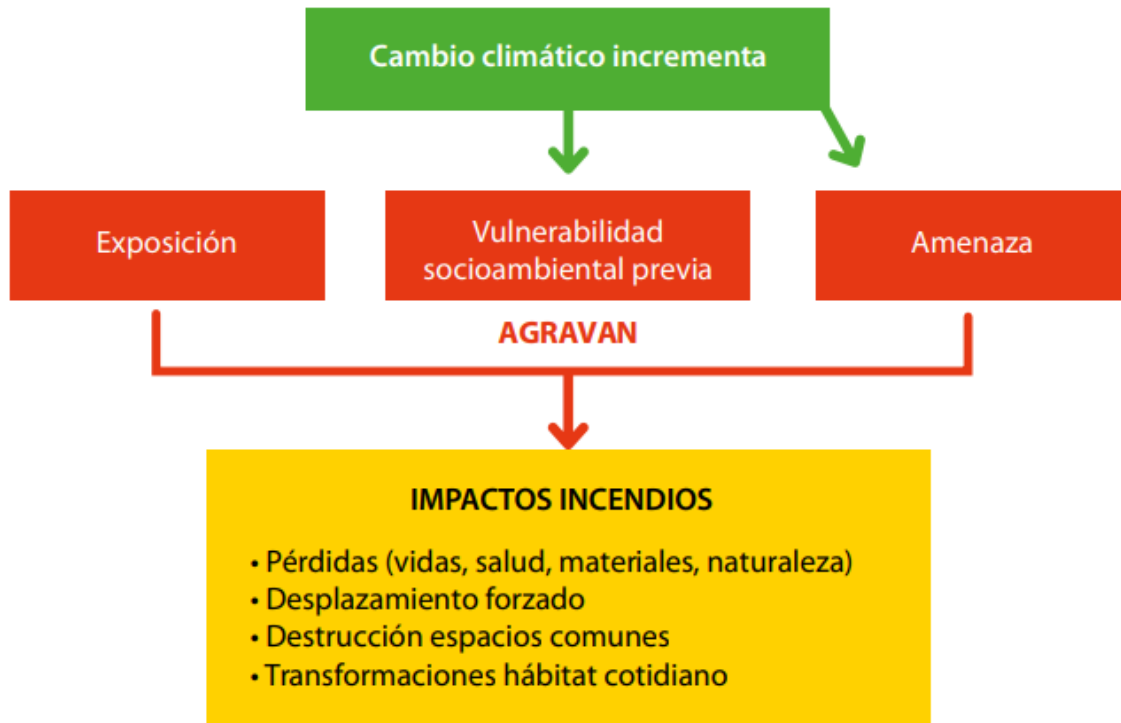
En su mayoría se producen por acción deliberada o accidental del ser humano y pueden causar millones en daños a propiedad pública y privada, causando tanto pérdidas de vida como daño ambiental, contaminación atmosférica, problemas respiratorios agudos, pérdida de hogares y destrucción de patrimonio arquitectónico, natural o cultural (Sarricolea et al., 2019).

El aumento de la frecuencia e intensidad de los incendios forestales en muchas regiones es en gran medida resultado del cambio climático, la acumulación de combustible y la expansión de la interfaz urbano-forestal (Pausas, 2019).

Según el Informe del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2, 2020), el cambio climático incrementa tanto la amenaza como la vulnerabilidad socioambiental previa ante los incendios forestales (Figura N°1), generando un escenario de riesgo agravado. En primer lugar, la amenaza aumenta debido a la mayor frecuencia de condiciones meteorológicas extremas, como olas de calor, prolongadas sequías, reducción de lluvias y mayor duración de las temporadas secas, lo que eleva significativamente la probabilidad de ocurrencia y propagación de incendios de alta severidad. Con respecto a la vulnerabilidad es una condición preexistente que puede agravarse cuando el cambio climático afecta negativamente los procesos ecológicos clave, como la regeneración natural de la vegetación, la disponibilidad hídrica y la estabilidad del paisaje.

En la actualidad, no se puede planificar ninguna actividad productiva sin tener en cuenta los efectos del tiempo, la variabilidad climática de origen natural y el cambio climático inducido por el ser humano. (Organización Meteorológica Mundial, 2024)

Figura 1. Incrementos del cambio climático.

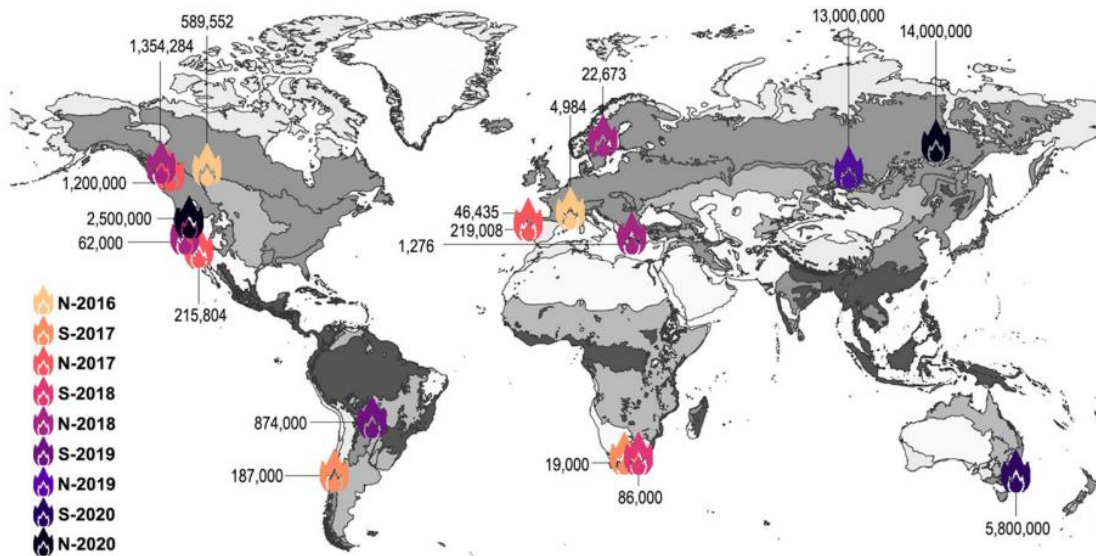


Fuente. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia.

Los incendios forestales son fenómenos que pueden manifestarse en distintos territorios del planeta, especialmente en aquellos con condiciones climáticas y vegetaciones propicias. Si bien el fuego ha formado parte de la dinámica de muchos ecosistemas a lo largo de la historia. Cada ecosistema responderá de manera diferente, ya que de hecho, muchos paisajes han sido modelados por el fuego (Úbeda & Francos, 2018).

Estos siempre han existido, pero a mediados del siglo XX las actividades humanas comenzaron a influir significativamente en la frecuencia, intensidad y agresividad de estos incendios (Figura N°2). La expansión de las tierras agrícolas, la urbanización y las actividades industriales aumentaron la probabilidad de incendios debido a la acumulación de materiales inflamables y la modificación de los paisajes naturales (García et al., 2020).

Figura 2. Ubicación de eventos o episodios ilustrativos de incendios forestales extremos



Fuente. Duane et al. 2021

El mundo ha vivido grandes catástrofes relacionadas a incendios forestales. En 2017, Portugal enfrentó eventos devastadores que destruyeron más de 500.000 hectáreas y causaron la muerte de al menos 112 personas. El país sufrió una sequía severa que aumentó el riesgo de incendios, y dos episodios de condiciones extremas en junio y octubre contribuyeron significativamente a los daños (Viegas, 2018).

Por otro lado, los incendios forestales de Texas de 2024 incluyen a varios incendios importantes que estallaron a finales de febrero de dicho año, incluyendo el incendio de Smokehouse Creek en el condado de Hutchinson, el más grande en la historia de Texas. Sólo durante este evento se quemaron aproximadamente 445.154 hectáreas, superando al masivo incendio del Complejo East Amarillo en 2006, convirtiéndose en el segundo incendio más grande y destructivo en la historia de Estados Unidos (Igini, 2024).

También en este mismo país, California presentó una serie de incendios forestales durante enero de 2025. Los siniestros más destacados fueron en la comunidad de Pacific Palisades, en el condado de Los Ángeles, que consumió 9.492 hectáreas y el de Altadena, que afectó una superficie estimada de 5.675 hectáreas

(Administración Nacional Oceánica y Atmosférica 2025). Si bien estos incendios no abarcaron una cantidad de hectáreas comparable con otros grandes incendios a nivel mundial, su impacto fue significativo, ya que se quemaron aproximadamente 13.000 estructuras entre hogares y negocios, generando pérdidas materiales de gran magnitud y afectando a miles de personas (El País, 2025).

Pese a la ocurrencia de estas catástrofes, los países no se han quedado inactivos con las respuestas post-evento. Por ejemplo, el gobierno de Portugal, posterior al incendio ocurrido en 2017, aprobó 130 millones de euros para ayudar a los familiares de las víctimas mortales y apoyar en las labores de reconstrucción de los lugares afectados (TELESUR, 2017). En el caso de Estados Unidos, en ambos eventos de incendios se implementaron medidas de asistencia económica directa para los damnificados, complementadas con la distribución de paquetes de ayuda humanitaria (The State of Texas, 2024).

En el contexto nacional, Chile también ha enfrentado grandes incendios forestales en su historia reciente, entre los cuales destaca el evento ocurrido en febrero de 2024 en la Región de Valparaíso. Este mega-incendio se originó en las cercanías del Lago Peñuelas y rápidamente se propagó hacia las zonas urbanas de Viña del Mar, Quilpué, Villa Alemana y Limache. El siniestro cobró la vida de 123 personas y provocó daños a alrededor de 6.000 viviendas, afectando también infraestructura de servicios e industrias. La superficie total afectada fue estimada en 9.429 hectáreas, de acuerdo con el análisis satelital realizado mediante imágenes Landsat posteriores al evento (PUCV, 2024).

Ante esta emergencia el gobierno decretó estado de excepción por catástrofe y toque de queda en las zonas afectadas (CIGIDEN, 2024). Además, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) a través del Plan de reconstrucción (2024) implementó una serie de acciones para recuperar las viviendas afectadas, rehabilitar plazas, juegos infantiles y áreas verdes, así como también poner en marcha la reposición y construcción de parques urbanos que fueron dañados por el fuego.

Volviendo a la línea del cambio climático, las alteraciones del paisaje chileno han influido significativamente en el comportamiento y la severidad de los incendios forestales. Desde el asentamiento europeo, los paisajes del centro-sur de Chile han sido transformados por el desarrollo agrícola, la instalación de asentamientos humanos y, especialmente, por la expansión de grandes plantaciones forestales de especies exóticas (Nahuelhual et al., 2012). Esta transformación del uso del suelo, junto con ciertos patrones recientes de urbanización de baja densidad y la proliferación de parcelaciones rurales, ha favorecido la configuración de zonas de interfaz urbano-rural altamente expuestas al fuego, donde la presencia de personas y bienes materiales incrementa el riesgo de afectación (González et al., 2025).

Este fenómeno se manifiesta con especial intensidad en la Zona Centro-Sur de Chile (ZCSCCh), entre los 32° y 39,5° de latitud sur, donde se concentran los efectos combinados del cambio climático y la presión antrópica sobre el territorio. En esta región se ha observado, durante la última década, un déficit de precipitaciones de entre un 20% y 30%, condición sin precedentes en el último milenio, que coincide con más de medio siglo de prácticas productivas intensivas. Como resultado, esta zona concentra el 88% de las plantaciones de especies pirolíticas, el 24% del bosque nativo remanente y el 91% de las tierras agrícolas del país. En efecto, en los últimos años se ha registrado un aumento significativo en la ocurrencia de incendios de gran magnitud (superiores a 200 hectáreas) al sur de los 30°S, lo que evidencia una intensificación del régimen de fuegos en esta parte del país (Ciocca et al., 2025).

En particular, la región del Bio Bío también ha sido afectada por estos incendios en el verano de 2017. Por ejemplo, en la comuna de Florida los incendios forestales consumieron aproximadamente 32 mil hectáreas, equivalente al 52% de su superficie total. Estos incendios provocaron daños económicos, sociales, ecológicos y ambientales de gran magnitud, afectando la infraestructura, la productividad del territorio y la calidad de vida de sus habitantes, exponiendo la urgente necesidad de implementar estrategias de restauración (INFOR, 2020).

Con el objetivo de recuperar las áreas afectadas, entre 2017 y 2020 se desarrolló el "Plan piloto de innovación territorial con miras a la reconstrucción productiva y restauración ecológica post incendios", impulsado por la Fundación para la Innovación Agraria (FIA) y ejecutado por el Instituto Forestal (INFOR). El proyecto, enfocado en la localidad de San Antonio de Cudá (comuna de Florida) implementó 16 innovaciones en 13 predios, incluyendo sistemas silvopastoriles con pino radiata, huertos melíferos, técnicas de conservación de agua, plantaciones de especies nativas y control de cárcavas a través de un proceso participativo con las comunidades locales, fortaleciendo así la recuperación del lugar.

Dentro de esta misma región, la comuna de Yumbel también destaca por haber sido recurrentemente afectada por incendios forestales. Durante el período 2017-2018 se registró la quema de aproximadamente 12.155 hectáreas. Posteriormente, en la temporada 2021-2022 se afectaron un aproximado de 4.442 hectáreas y en 2022-2023 más de 5.299 hectáreas fueron nuevamente consumidas por el fuego. En estos 3 eventos, la mayor afectación se concentró en las zonas rurales de la comuna, donde los incendios provocaron la pérdida de cobertura vegetal, afectaron medios de subsistencia locales como actividades agrícolas y forestales y deterioraron los ecosistemas (CONAF, 2024).

1.1 Planteamiento del problema

Los proyectos de recuperación de ecosistemas post-fuego implementados en Chile han sido escasos, los pocos de los que se tienen antecedentes se han abordado principalmente desde la perspectiva de la rehabilitación, y no de la restauración ecológica propiamente tal (Fernández et al., 2021).

Ante la situación expuesta en la sección anterior respecto al impacto de los incendios forestales en la comuna de Yumbel, cabe señalar que no existe un plan de acción ni un análisis concreto, como sí lo presenta la comuna de Florida tras los incendios de 2017. Esta ausencia de planificación deja en evidencia una brecha crítica en la gestión del riesgo y en la capacidad de recuperación territorial frente a este tipo de eventos extremos, por ejemplo. cómo ha sido abordado el proceso de recuperación de las áreas afectadas, ya sea en términos de vegetación o

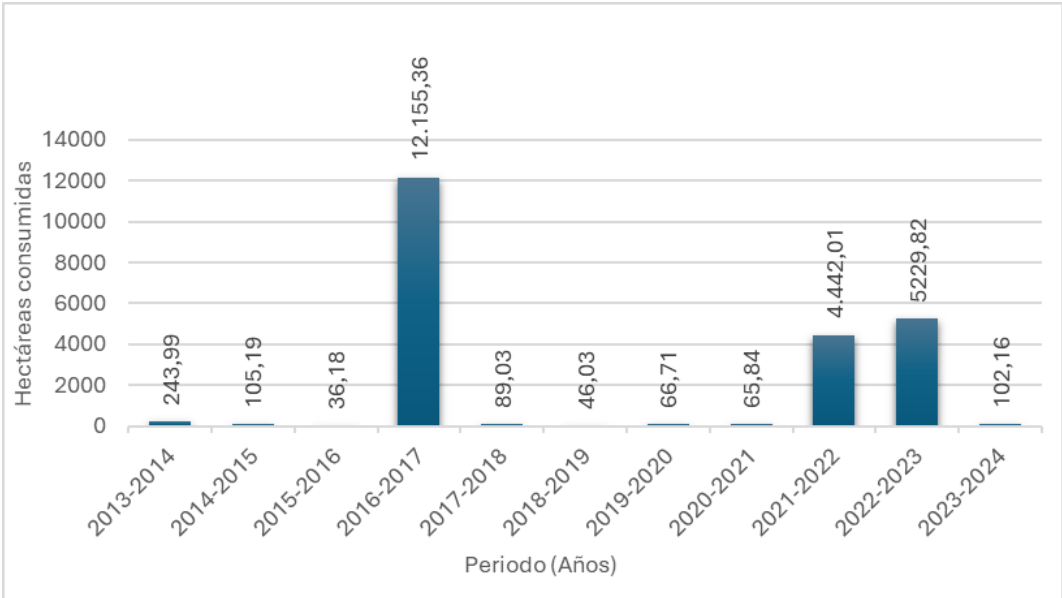
infraestructura habitacional. Uno de los aspectos más complejos en este escenario es la regeneración de la vegetación, que requiere no solo intervenciones técnicas, sino también una planificación territorial adecuada.

En muchos casos, los incendios forestales ocurridos en la comuna han destruido grandes extensiones de bosques, lo que implica no solo la pérdida de biodiversidad y a la afectación de viviendas sino también la alteración de los ciclos ecológicos.

La restauración de la vegetación puede implicar la reforestación con especies nativas u otras formas, pero también requiere la recuperación del suelo, que puede haber sido afectado por la erosión y la pérdida de nutrientes debido a las altas temperaturas del fuego.

Según ARClím (2025), la comuna de Yumbel presenta un índice de probabilidad de ocurrencia de incendios forestales clasificado como “muy alto” lo que la posiciona entre las comunas con mayor riesgo relativo en la región del Biobío. Esta situación contrasta con otras comunas aledañas que presentan niveles de riesgo moderado o alto, y evidencia la necesidad de priorizar intervenciones preventivas y de planificación territorial.

Gráfico 1. Superficie quemada por incendios forestales 2013-2024. Comuna de Yumbel.

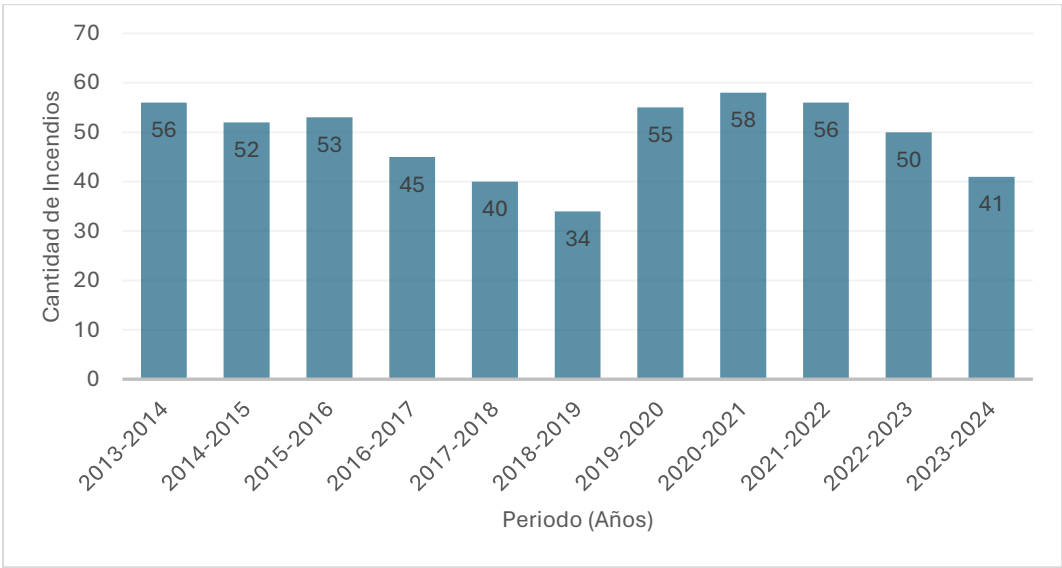


Fuente. Elaboración propia en base a datos de la CONAF.

Los incendios forestales ocurridos durante los últimos 11 años dentro de esta comuna afectaron 22.684 hectáreas. Sumado a esto, se observa lo siguiente: En el periodo 2021-2022 se registró un total de 4.442 hectáreas consumidas, en 2022-2023 la superficie afectada ascendió a 5.229 hectáreas y en el periodo 2016-2017 se reportó la mayor afectación con 12.155 hectáreas quemadas (CONAF, 2024) (Gráfico N°1). Según el informe de Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (2020), el estado no cuenta con la institucionalidad ni la adecuada integración entre organismos públicos para enfrentar eventos de esta magnitud.

Para la comuna de Yumbel durante el quinquenio 2013-2014 al 2017-2018, el 30% de los incendios forestales se debió a tránsito de personas y vehículos, mientras que el 16% tuvo carácter intencional (Corporación Nacional Forestal, 2024). En el período comprendido entre las temporadas 2013-2014 al 2023-2024 en Yumbel ocurrieron un total de 540 incendios presentando una superficie afectada acumulada de 23.000 ha aproximadamente, siendo la temporada 2016-2017 la que más hectáreas totales afectadas obtuvo, con 12.155,36 ha (Corporación Nacional Forestal, 2023) (gráfico 1 y 2).

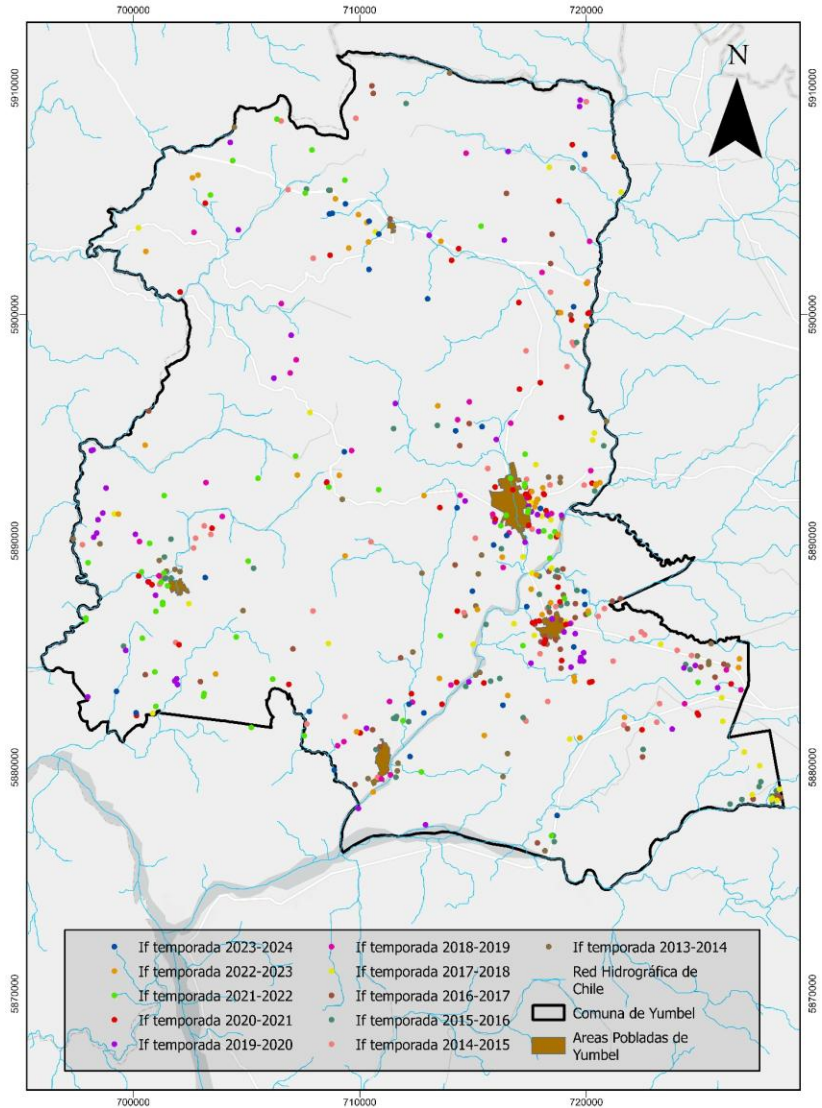
Gráfico 2. Número de Incendios Forestales en la Comuna de Yumbel. Periodo 2013-2024.



Fuente. Elaboración propia en base a datos de la CONAF

Por otro lado, con respecto a la cantidad de incendios forestales en la comuna de Yumbel, desde el 2013 al 2024 se registraron un total de 540 eventos, con un promedio de aproximadamente 49,18 incendios forestales por temporada (CONAF, 2024) (Figura N°3). Los focos de incendio se extienden por todo el territorio comunal, CONAF a través de la infraestructura de datos espaciales del ministerio de agricultura (IDE Minagri) entrega puntos de los incendios forestales con la ubicación de origen (Figura N°3).

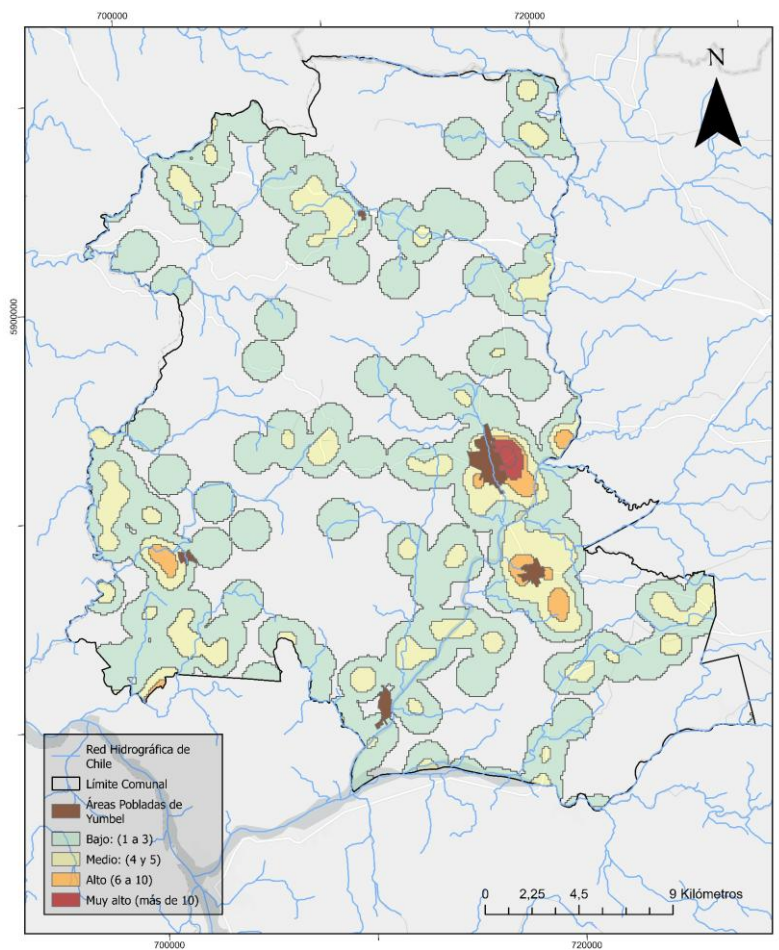
Figura 3. Localización de los focos de Incendios Forestales en la comuna de Yumbel 2013-2024.



Fuente. Elaboración propia en base a datos de CONAF.

Actualmente, SENAPRED, a través de su plataforma Visor Chile Preparado, presenta un análisis de densidad de incendios forestales correspondiente al período comprendido entre julio de 2018 y junio de 2023. Esta herramienta permite identificar las zonas del país con menor y mayor densidad de ocurrencia de incendios forestales, expresada en número de eventos por kilómetro cuadrado (inc./km²) en este contexto, la comuna de Yumbel exhibe variaciones significativas en la concentración de incendios forestales, registrando sectores con densidad baja y media, pero destacando especialmente la presencia de áreas con alta y muy alta densidad de incendios forestales, lo que evidencia una recurrencia significativa durante estos últimos años 2024 (Figura N°4).

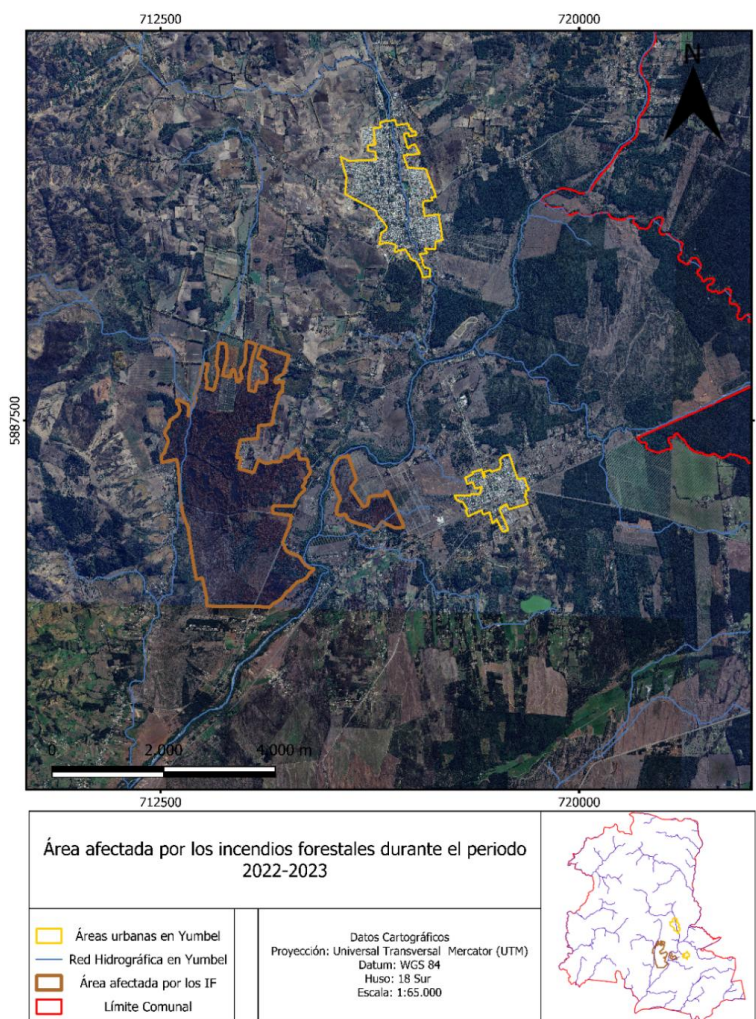
Figura 4. Densidad de incendios forestales por kilómetro cuadrado (2018–2023) en la comuna de Yumbel.



Fuente. Elaboración propia con datos entregados por el visor Chile Preparado SENAPRED.

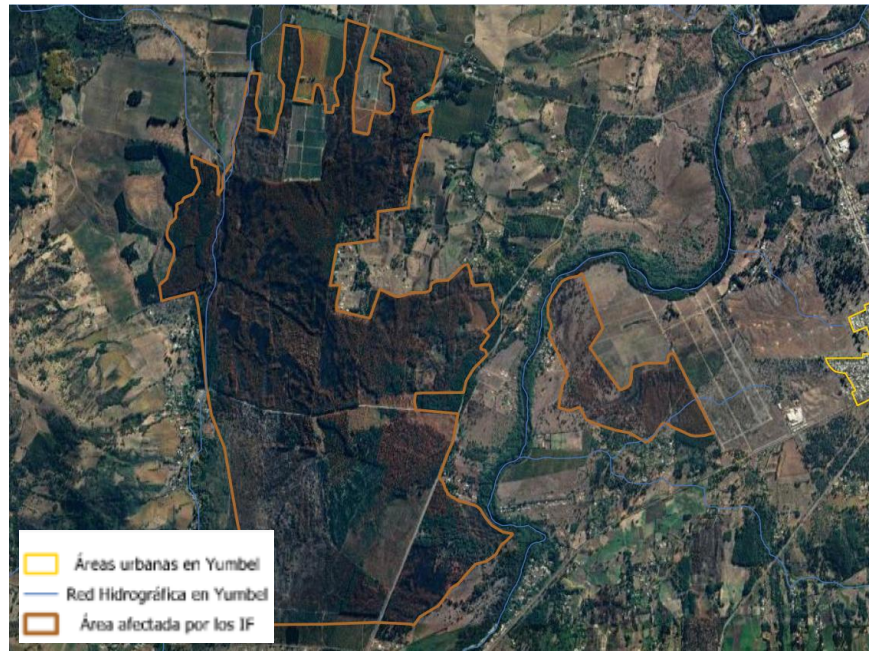
A través de plataformas de visualización satelital como Google Earth Pro, es posible identificar con claridad áreas que fueron afectadas por incendios forestales en la comuna de Yumbel (Figura N°5 y 6). Mediante fotointerpretación de imágenes correspondientes al año 2023 (última actualización disponible para la zona) se logró delimitar parte de la superficie quemada durante la temporada 2022-2023. Esta evidencia gráfica refuerza la necesidad de estudiar en profundidad los procesos de recuperación del paisaje posterior a estos eventos, considerando que tales impactos son visibles incluso a nivel espacial y territorial.

Figura 5. Área afectada por los incendios forestales en la comuna de Yumbel durante el periodo 2022-2023.



Fuente: Elaboración propia en base a fotointerpretación en Google Earth Pro.

Figura 6. Zoom al área afectada por los incendios forestales en la comuna de Yumbel durante el periodo 2022-2023.



Fuente. Elaboración propia en base a fotointerpretación en Google Earth Pro.

Anteriormente se mencionó que, pese a la magnitud de estos impactos, Yumbel no cuenta con un plan integral de recuperación post incendio. Si bien se dispone de información sobre la extensión y recurrencia de los incendios que han afectado a Yumbel en los últimos años, el trabajo posterior a estos eventos no se encuentra detallado. Tampoco se conocen con precisión las estrategias o metodologías utilizadas para la recuperación del paisaje, lo que impide evaluar su efectividad y limita la generación de aprendizajes aplicables a futuros escenarios de riesgo.

1.2 Preguntas de Investigación

- ¿Cuáles han sido los cambios y transformaciones en las áreas afectadas por incendios forestales en la comuna de Yumbel durante los últimos 11 años?
- ¿Cómo está abordado el proceso de recuperación de los ecosistemas o paisajes post incendios forestales considerando factores biofísicos, antrópicos e institucionales que inciden en la regeneración de los ecosistemas y en la restauración del paisaje?

- ¿Cuáles han sido las estrategias formales e informales implementadas para enfrentar dicha recuperación?

2 HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Analizar los procesos de recuperación del paisaje post incendios forestales en la comuna de Yumbel, entre los años 2013 y 2024.

2.2 Objetivos específicos

- a) Cartografiar las áreas quemadas por incendios forestales en la comuna de Yumbel, entre los años 2013 y 2024.
- b) Analizar la evolución de las áreas quemadas en la comuna de Yumbel en los periodos 2016-2017, 2021-2022 y 2022-2023.
- c) Evaluar la severidad de los incendios forestales en la comuna de Yumbel, entre los años 2013 y 2024.
- d) Discutir las políticas públicas orientadas a la recuperación de las zonas afectadas por incendios forestal

3 METODOLOGÍA

3.1 Enfoque Metodológico

Esta investigación tuvo como principal objetivo el analizar las formas de recuperación post incendios forestales y se desarrolló bajo un enfoque mixto.

Un enfoque cuantitativo con el objetivo de trabajar con los datos numéricos como, por ejemplo, la superficie afectada por el fuego. Para esto, se incorporó el análisis de imágenes satelitales multitemporales obtenidas desde plataformas como Google Earth Engine, utilizando satélites como Landsat 8 y Sentinel 2.



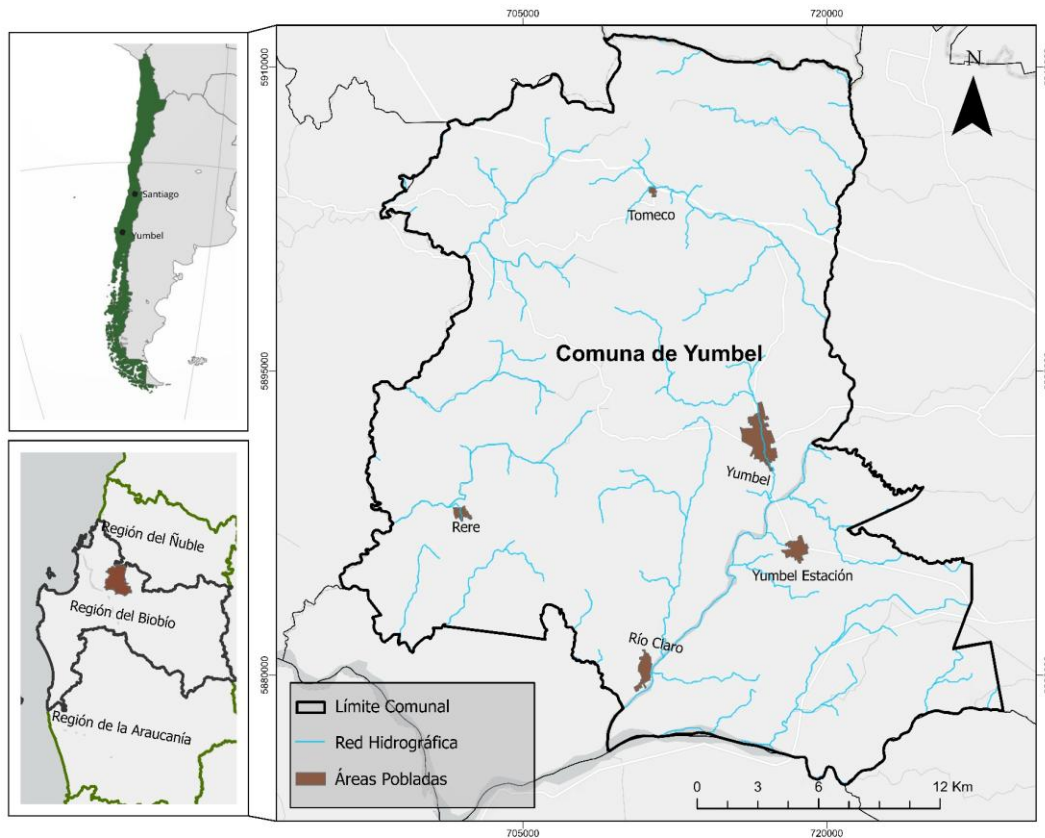
Y con el enfoque cualitativo se buscó comprender las formas en que la vegetación, las viviendas y otras infraestructuras se han recuperado tras los incendios forestales ocurridos en Yumbel. Para ello, se contempló la aplicación de entrevistas semiestructuradas y encuestas dirigidas a habitantes del territorio, así como a representantes de las forestales.

Esta complementariedad metodológica favorece la triangulación de datos, fortaleciendo la validez de los resultados y posibilitando un análisis integral del paisaje post incendio, tanto en sus dimensiones biofísicas como sociales ya que, por un lado, busca vincular la medición espacial del daño con las prácticas, políticas y percepciones locales que influyen en la regeneración del territorio.

3.2 Área de Estudio

La comuna de Yumbel se localiza aproximadamente entre las coordenadas 36° 55' y 37° 15' de latitud Sur y 72° 26' y 72° 34' longitud oeste, y su emplazamiento corresponde a un sector de transición o contacto entre la vertiente oriental de la Cordillera de la costa y la franja occidental de la depresión Intermedia, al norte del río Laja. La comuna de Yumbel tiene una superficie aproximada de 727,12 Km², lo que equivale al 2,1% de la superficie del territorio de la VIII región, y a un 0,1% del territorio nacional, está ubicada al sur de la capital regional, Concepción (Figura N°7), (Plan de Desarrollo Comunal, 2021).

Figura 7. Área de Estudio.



Fuente. Elaboración propia en base a Infraestructura de datos espaciales (IDE).

De acuerdo con los últimos datos del Censo 2024, la comuna cuenta con un total de 23.180 personas y un total de 14.112 viviendas (INE, 2025). Con respecto al Censo 2017 se evidenció un aumento de 1.982 habitantes y 3.864 viviendas, indicando que la comuna sigue con una tendencia positiva en términos demográficos (Tabla N°1).

En general, la Región del Biobío está dentro del bosque templado de Chile central, la que abarca aproximadamente 37.063 Km², entre los 36°00' y 38°30' latitud sur y desde los 71° de longitud oeste hasta el océano pacífico, siendo ésta un área transicional en cuanto a vegetación refiere, de manera que se compone por matorral, bosque esclerófilo (zona central septentrional) y caducifolio (templado sur). En el territorio comunal de Yumbel se despliega la formación denominada bosque caducifolio (47,1%) y bosque esclerófilo (52,9%).



Tabla 1. Evolución de la Población de Yumbel entre 1970 – 2024

Años	Población
1970	20.616
1982	21.548
1992	20.460
2002	20.498
2017	21.198
2024	23.170

Fuente. Elaboración Propia en base a datos del INE.

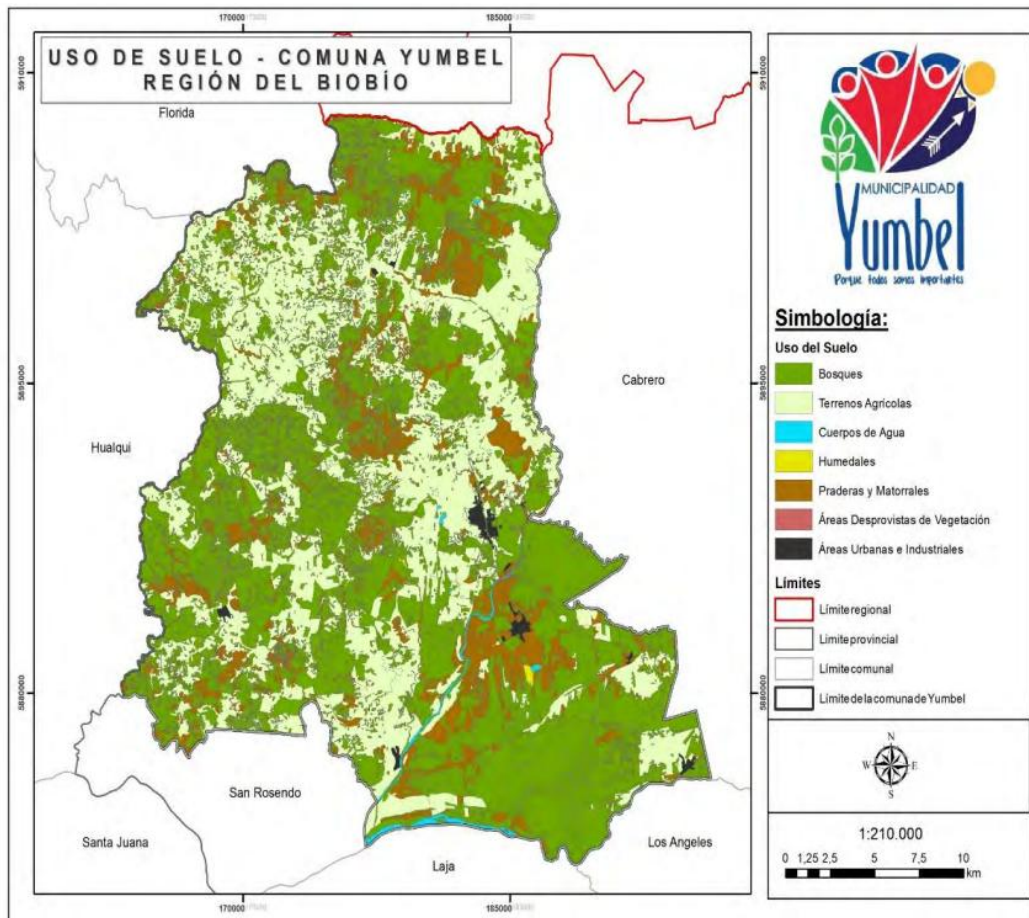
Según los datos de la CONAF (2015) se indica que el mayor uso actual corresponde a bosques con un 52,95% del territorio comunal, el cual se divide en plantaciones generales (35.094,3 ha), bosque nativo (1.130,5 ha) y bosque mixto (2.350,2 ha). Lo sigue la utilización agrícola emplazada en 23.952,8 ha (32,88%), y en tercer lugar las praderas y matorrales abarcando 9.183,4 ha, dicho de otro modo, el 12,6% del total del área. Con respecto a las plantaciones del tipo forestal cubren una superficie total de 1.130,5 hectáreas, de las cuales 807,5 ha (71,4%) son plantación esclerófila, 299,4 ha (26,48%) corresponden a Roble, Raulí y Coihue, y 23,6 a siempreverde (Tabla N°2 y Figura 8).

Tabla 2. categorías de usos de suelos en la comuna de Yumbel.

Uso Actual	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Áreas Desprovistas de Vegetación	122,4	0,17
Áreas Urbanas e Industriales	442,9	0,61
Bosques	38.575,0	52,95
Cuerpos de Agua	496,0	0,68
Humedales	78,6	0,11
Praderas y Matorrales	9.183,4	12,60
Terrenos Agrícolas	23.952,8	32,88
Nieves y Glaciares	0,0	0,00
Total	72.851,10*	100,00

Fuente. Plan de Desarrollo Comunal, 2020-2025.

Figura 8. Distribución de uso de suelo en la comuna de Yumbel

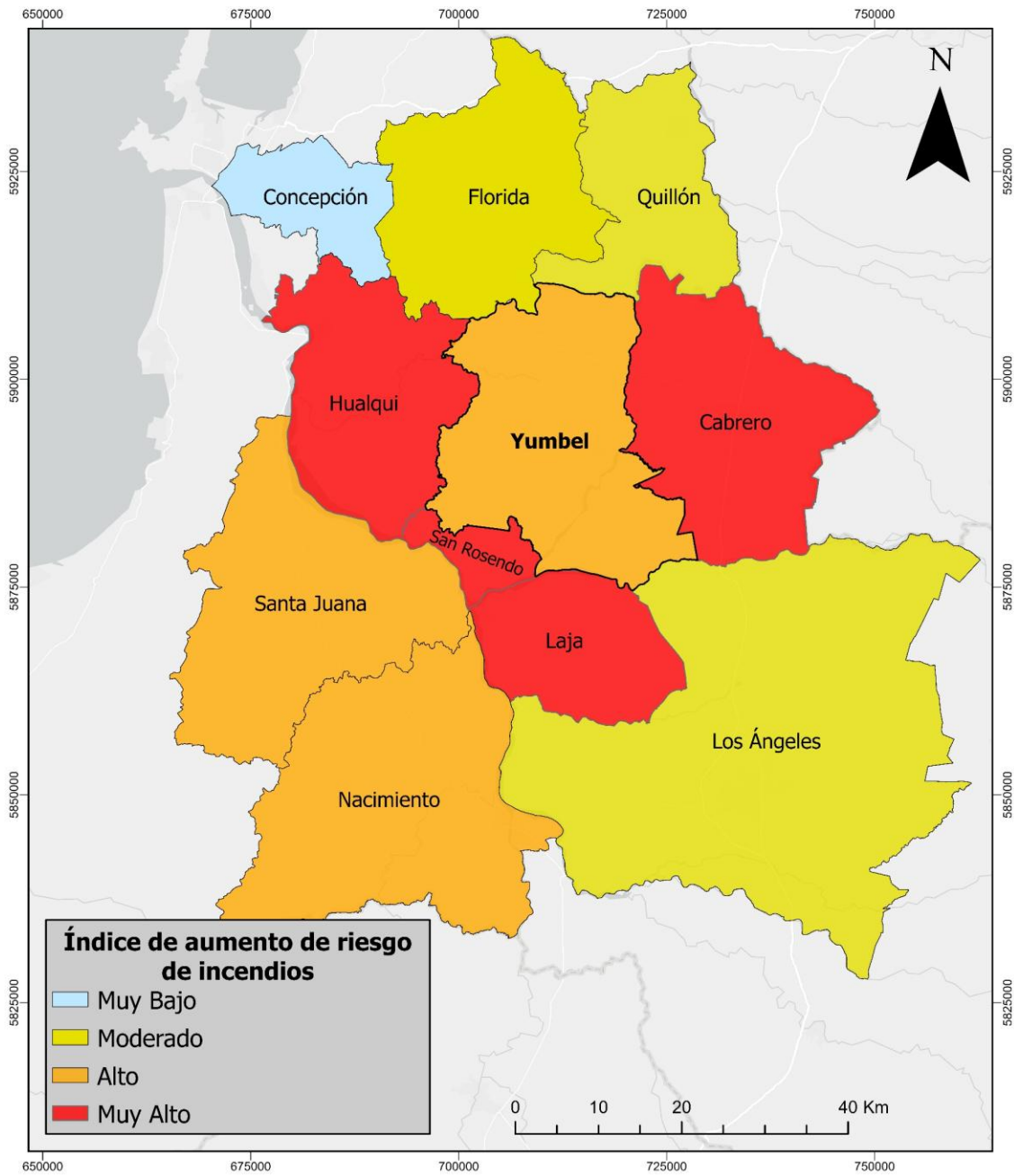


Fuente. Plan de Desarrollo Comunal, 2020-2025.

Según datos del Atlas de Riesgo Climático (ARClím, 2025), la comuna de Yumbel presenta un índice de aumento de riesgo de incendios forestales clasificado como “Alto”, en comparación con comunas aledañas como Florida y Quillón, que exhiben un nivel “Moderado”. En contraste, otras comunas del entorno como Cabrero, Hualqui y Laja presentan un nivel de riesgo “Muy Alto”, lo que posiciona a Yumbel dentro de una zona crítica con alta exposición acumulada al fuego, en el contexto de la región del Biobío (Figura N° 9).



Figura 9. Índice de aumento de riesgo de incendios



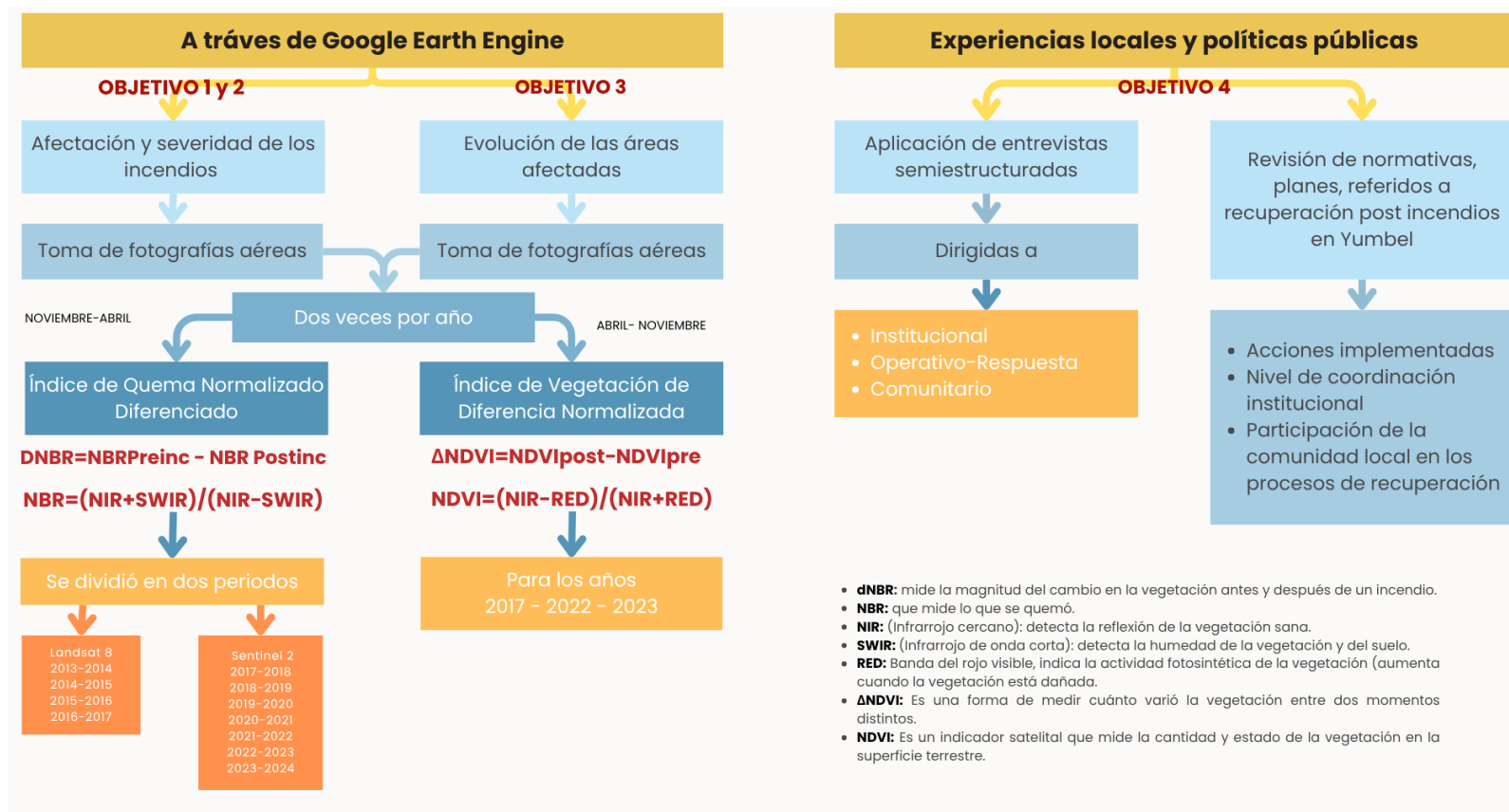
Fuente. Elaboración propia en base a datos de ARClím, 2025

3.3 Métodos y Técnicas

3.3.1 Esquema metodológico

El desarrollo de la investigación se estructuró en diversas etapas metodológicas, integrando procedimientos de carácter cuantitativo y cualitativo. Para una mejor comprensión, estas fases se sintetizan en el siguiente esquema metodológico (Ver Figura N°10).

Figura 10. Esquema metodológico de la investigación



Fuente: Elaboración propia



3.3.2 Identificar y cartografiar las áreas quemadas por incendios forestales en la comuna de Yumbel durante los últimos 11 años.

El uso de imágenes satelitales (como Landsat-8 y Sentinel-2) ha permitido identificar y cartografiar con alta precisión las áreas quemadas en incendios recientes, siendo herramientas clave para la gestión del riesgo y la planificación territorial post incendio (PUCV, 2024).

Para este estudio se recopilaron imágenes satelitales anualmente a través de la plataforma de Google Earth Engine, utilizando los satélites Landsat-8 y Sentinel-2, los cuales continúan entregando datos hasta la actualidad. La selección de imágenes se basó en los meses en que históricamente se registra la mayor ocurrencia de incendios forestales en la zona centro-sur de Chile (Díaz, 2016).

Para la identificación de las zonas afectadas por incendios en la comuna de Yumbel, se definió un área de estudio centrada en un punto específico de la comuna (plaza de Yumbel) y se generó un buffer de 30 km que posteriormente se recortó a la zona de estudio (área de Yumbel). Esto permitió delimitar la zona de análisis y trabajar únicamente con las imágenes satelitales que cubren el lugar de interés, optimizando el procesamiento de datos.

Se aplicó un procedimiento de enmascaramiento de nubes y píxeles no confiables. En el caso de Landsat 8, fue la banda de calidad QA_PIXEL para eliminar nubes y píxeles saturados y para Sentinel-2, la banda QA60 para enmascarar los píxeles nubosos. Estas etapas garantizaron que los cálculos a realizar solo consideren información válida.

Después se procedió con el cálculo de Índice de Quema Normalizado (NBR). En Landsat 8 fue con las bandas NIR (B5) y SWIR2 (B7), mientras que en Sentinel-2 con las bandas B8 (NIR) y B12 (SWIR2). Para mejorar la consistencia de los datos, se consideraron todas las imágenes disponibles de cada periodo y se combinaron mediante la mediana, reduciendo el ruido presente en escenas individuales y generando una representación más estable de la vegetación antes y después de los eventos.



Se le agregaron las propiedades con la fecha en formato legible (AAAA-MM-DD)(al código de Google Earth Engine), lo que permitió identificar con precisión si las imágenes seleccionadas corresponden al periodo de tiempo correcto.

Se construyeron colecciones de imágenes pre-incendio y post-incendio por separado. Para cada colección, se calculó el NBR y luego se obtuvo el índice de diferencia dNBR mediante la resta entre el NBR pre-incendio y el NBR post-incendio. Este índice permitió identificar las áreas afectadas por el fuego, diferenciando zonas quemadas de no quemadas.

Finalmente, las capas de zonas quemadas se exportaron en formato Geo TIFF. En el caso de Landsat 8, la resolución espacial fue de 30 m, mientras que para Sentinel-2 de 10 m.

En la Tabla 3 se presentan los conjuntos de datos utilizados para la identificación y cartografía de las áreas quemadas en la comuna de Yumbel.

Tabla 3. Fuente de datos

conjunto de datos	Resolución Espacial	Producto	Fechas	Rangos de Identificación (dNBR)	Software
Landsat 8	30 m	NDVI, NBR, dNBR	2013 – 2024	$dNBR < 0.25 \rightarrow$ No quemado $dNBR \geq 0.25 \rightarrow$ Área quemada	ArcGIS Pro
Sentinel-2	10 m	NDVI, NBR, dNBR	2015 – 2024	$dNBR < 0.25 \rightarrow$ No quemado $dNBR \geq 0.25 \rightarrow$ Área quemada	ArcGIS Pro
Imágenes Satelitales	Variable (alta resolución)	Apoyo cartográfico y validación visual	2022 – 2023	Validación visual de áreas quemadas (sin umbral numérico)	Google Earth Pro

Fuente. Elaboración propia.

Esta metodología ya ha sido aplicada con éxito en el análisis del mega incendio ocurrido en Valparaíso en febrero de 2024, donde el Instituto de Geografía de la PUCV utilizó imágenes Landsat y Sentinel posteriores al mega-incendio de Valparaíso (2024) para así estimar una superficie afectada de 9.429 hectáreas, (Figura N°11). Dicha información fue procesada y representada cartográficamente

para apoyar la toma de decisiones en la etapa de recuperación posterior al incendio (PUCV, 2024).

Para este estudio se le aplicó un umbral de 0.25 en el valor de dNBR. Este umbral es definido debido a que, en Yumbel durante la temporada de verano las altas temperaturas, la sequía pueden causar pérdida natural de cobertura vegetal, favorecer procesos de erosión y degradación superficial. Un umbral más bajo podría confundir estas condiciones naturales con áreas afectadas por incendios, aumentando el margen de error.

Figura 11. Imágenes Landsat mostrando una visualización SWIR-NIR-Red del 20-12-2023, previa al incendio (arriba), y del 5-2-2024, posterior al incendio (abajo).



Fuente. Extraída desde el informe del Mega-Incendio Valparaíso febrero 2024



3.3.3 Evaluar la severidad de los IF y sus efectos en la comuna de Yumbel durante los últimos 11 años.

Para esto se usaron imágenes satelitales provenientes de Landsat 8 y Sentinel-2, procesadas mediante la plataforma Google Earth Engine. En ambos casos, el área de estudio se definió a partir de un punto de referencia ubicado en la comuna (plaza de Yumbel), al cual se le aplicó un buffer de 30 km de radio que luego se recortó al área de estudio.

Se aplicó un procedimiento de enmascaramiento de nubes y píxeles no confiables. En el caso de Landsat 8, fue la banda de calidad QA_PIXEL para eliminar nubes y píxeles saturados, con respecto a Sentinel-2, la banda QA60 para enmascarar los píxeles nubosos. Estas etapas garantizaron que los cálculos a realizar solo consideren información válida.

El cálculo del Normalized Burn Ratio (NBR) se realizó a partir de las bandas infrarrojo cercano y de onda corta de cada sensor: SR_B5 (NIR) y SR_B7 (SWIR2) en Landsat 8, por otro lado, B8 (NIR) y B12 (SWIR2) en Sentinel-2. Dicho índice, que toma valores entre -1 y 1, se calcularon para cada imagen de las colecciones seleccionadas y se complementó con la incorporación de la fecha de adquisición como atributo, lo que permitió organizar la información.

Posteriormente, se establecieron dos ventanas temporales para cada incendio analizado: un periodo pre-incendio, correspondiente a los meses de noviembre previos a la temporada de incendios, y un periodo post-incendio, correspondiente a los meses de abril posteriores a la temporada.

Con el fin de reducir la variabilidad interna de cada colección y representar de manera más precisa las condiciones de cada periodo, se calculó la mediana del NBR en las colecciones pre y post-incendio. A partir de estas imágenes resultantes se obtuvo el índice de severidad dNBR (differenced Normalized Burn Ratio) mediante la resta entre el NBR pre-incendio y post-incendio.



Finalmente, el dNBR se clasificó en cuatro categorías de severidad los cuales quedaron definidos de la siguiente manera

- sin quemar (0.100 a 0.269)
- severidad baja (0.270 a 0.439)
- severidad moderada (0.440 a 0.659)
- severidad alta (0.660 a 1.300)

La clasificación de la severidad se basó en los umbrales establecidos por la “Office for Outer Space Affairs UN-SPIDER Knowledge Portal” (Tabla N°4). Sin embargo, estos valores fueron modificados de acuerdo con las condiciones locales, (mencionadas anteriormente en el punto 4.4.1) ya que, que pueden generar un margen de error en la identificación de la severidad de las áreas.

Tabla 4. Niveles de severidad.

Severity Level	dNBR Range (scaled by 10 ³)	dNBR Range (not scaled)
Enhanced Regrowth, high (post-fire)	-500 to -251	-0.500 to -0.251
Enhanced Regrowth, low (post-fire)	-250 to -101	-0.250 to -0.101
Unburned	-100 to +99	-0.100 to +0.99
Low Severity	+100 to +269	+0.100 to +0.269
Moderate-low Severity	+270 to +439	+0.270 to +0.439
Moderate-high Severity	+440 to +659	+0.440 to +0.659
High Severity	+660 to +1300	+0.660 to +1.300

Fuente. Office for Outer Space Affairs UN-SPIDER Knowledge Portal.

Esta metodología de identificación de la severidad también ha sido aplicada a nivel nacional. Un ejemplo de ello es el trabajo de SERNAGEOMIN, que en su informe “Determinación del índice de severidad de zonas quemadas en áreas afectadas por los incendios forestales de enero y febrero de 2017 en la zona centro-sur de Chile” utilizó los mismos criterios de clasificación (Tabla N°5).



Tabla 5. Clasificación de los niveles de severidad del incendio

Nivel de severidad	Rango de dNBR (divididos por 1.000)
Baja severidad	+100 to +269
Severidad baja a moderada	+270 to +439
Severidad moderada a alta	+440 to +659
Alta Severidad	+660 to +1300

Fuente. Servicio Nacional de Geología y minería.

En la Tabla 6 se detallan los conjuntos de datos empleados, su resolución espacial, productos derivados, rango temporal de análisis y los umbrales utilizados para la clasificación de la severidad de acuerdo con los valores de dNBR.

Tabla 6. Fuente de Datos.

conjunto de datos	Resolución espacial	Producto	Fechas	Rangos de Severidad (dNBR)	Software
Landsat 8	30 m	NBR, dNBR	2013 – 2024	0.100 – 0.269 → Sin quemar / Cambio mínimo 0.270 – 0.439 → Severidad baja 0.440 – 0.659 → Severidad moderada 0.660 – 1.300 → Severidad alta	ArcGIS
Sentinel-2	10 m	NBR, dNBR	2015 – 2024	(Mismos rangos aplicados que en Landsat 8)	ArcGIS

Fuente. Elaboración propia.

3.3.4 Analizar la evolución de las áreas quemadas en la comuna de Yumbel en los periodos 2016-2017; 2021-2022 y 2022-2023.

Se realizó un análisis multitemporal de la evolución de las zonas afectadas por incendios forestales en la comuna de Yumbel posterior a los periodos 2016-2017, 2021-2022 y 2022-2023, se desarrolló solo en estos periodos debido a que ya que corresponden a las temporadas con la mayor superficie afectada.

Para esto se usaron también imágenes satelitales provenientes de Landsat 8 y Sentinel-2, procesadas mediante la plataforma Google Earth Engine, seleccionando como área de estudio un buffer de 30 km de radio en torno a un punto de referencia ubicado en la comuna de Yumbel,

La selección de los periodos de análisis respondió a la dinámica estacional de los incendios forestales en Yumbel. La primera fecha que se utilizó fue desde marzo y la segunda fue del mes con de noviembre debido a que estos periodos representan



momentos clave en el ciclo anual de la vegetación y la ocurrencia de incendios. Marzo marca el final de la temporada de incendios forestales, cuando la vegetación presenta su mayor estrés hídrico y las condiciones post-incendio son más evidentes, mientras que noviembre representa el inicio de la nueva temporada de incendios, permitiendo evaluar la recuperación de la cobertura vegetal durante el periodo invernal.

La variabilidad en las fechas exactas utilizadas entre los diferentes años se debe principalmente a la presencia de nubosidad en las imágenes satelitales, lo que obligó a ajustar los rangos temporales para garantizar la disponibilidad de datos útiles, las fechas a utilizar para esto fueron las siguientes:

2017 (temporada 2016-2017):

- Abril 2017: 10 de marzo - 10 de abril de 2017
- Noviembre 2017: 1 - 30 de noviembre de 2017

2022 (temporada 2021-2022):

- Abril 2022: 15 de marzo - 15 de abril de 2022
- Noviembre 2022: 15 de noviembre - 15 de diciembre de 2022

2023 (temporada 2022-2023):

- Abril 2023: 15 de marzo - 15 de abril de 2023
- Noviembre 2023: 1 - 30 de noviembre de 2023

La elección de este intervalo intra-anual y no de una comparación interanual se debe a la recurrencia estival de incendios en la comuna de Yumbel. Analizar la recuperación a lo largo de varios años introduciría un factor de confusión crítico, ya que la vegetación en proceso de regeneración podría verse afectada nuevamente por incendios en los veranos siguientes, imposibilitando la distinción entre la recuperación de un periodo y el daño del siguiente.

Para el preprocesamiento de imágenes, se utilizó la banda de calidad QA_PIXEL en Landsat 8 para eliminar nubes y píxeles saturados, mientras que para Sentinel-2 se empleó la banda QA60 para enmascarar píxeles nubosos. Este procedimiento



permitió descartar áreas donde la señal espectral se ve comprometida por la presencia de nubes o saturaciones, las cuales generan valores anómalos de reflectancia y afectan directamente la precisión del cálculo del NDVI.

Para cuantificar la vegetación se utilizó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) definido como:

$$\Delta NDVI = NDVI_{nov} - NDVI_{abr}$$

Las bandas empleadas para el cálculo del NDVI variaron según el sensor utilizado. En el caso de Landsat 8, se usaron las bandas SR_B5 (infrarrojo cercano) y SR_B4 (rojo), aplicando previamente el factor de escala 0.0000275 y el offset -0.2 propios del producto de reflectancia de nivel L2. Para Sentinel-2, se utilizaron las bandas B8 (infrarrojo cercano) y B4 (rojo), sin necesidad de aplicar correcciones adicionales, dado que los valores ya se encuentran expresados en reflectancia BOA (Bottom of Atmosphere).

Para cada período analizado (abril y noviembre), se generaron composiciones de mediana del NDVI, lo que permitió reducir la influencia de valores atípicos (píxeles contaminados o ruido atmosférico). Posteriormente, la recuperación de la vegetación se estimó a partir de la diferencia de NDVI ($\Delta NDVI$), categorizada mediante un gradiente continuo de colores: rojo \rightarrow blanco \rightarrow verde, donde los valores negativos indican pérdida o disminución de vegetación, los cercanos a cero representan estabilidad, y los positivos muestran recuperación o aumento de vegetación.

Los umbrales utilizados para la clasificación del cambio fueron:

- $\Delta NDVI < -0.05 \rightarrow$ Pérdida de vegetación (rojo)
- $-0.05 \leq \Delta NDVI \leq +0.05 \rightarrow$ Estabilidad (blanco)
- $\Delta NDVI > +0.05 \rightarrow$ Recuperación (verde)



Si bien el rango de valor del NDVI es -1 a 1, donde “los valores negativos de NDVI (valores que se acercan -1) corresponden al agua, los valores cercanos a cero (-0.1 a 0.1) generalmente corresponden a áreas estériles de roca, arena o nieve. Los valores positivos bajos representan arbustos y pastizales (aproximadamente 0.2 a 0.4), mientras que los valores altos indican las selvas tropicales templadas y tropicales (valores que se acercan 1)” (Sentinel Hub, 2019), en este estudio se adaptó el rango de visualización de 0 a 0.8. Esto se hizo para resaltar diferencias reales en la vegetación del área de estudio, evitando que los valores extremos aplanen la visualización y facilitando la interpretación de la densidad vegetal.

Para la recuperación de vegetación (NDVI) se utilizó un rango simétrico -0.5 a 0.5, ya que la mayoría de los cambios reales en la vegetación caen dentro de estos límites, permitiendo visualizar claramente las pérdidas (rojo), estabilidad (blanco) y recuperación (verde) de manera proporcional y fácil de interpretar.

Finalmente, los resultados fueron exportados en formato Geo TIFF para su posterior análisis en ArcGIS Pro, utilizando una resolución espacial de 30 m en Landsat 8 y 10 m en Sentinel-2.

En la Tabla 7 se detallan los conjuntos de datos empleados, su resolución espacial, productos derivados, rango temporal de análisis y los umbrales definidos para estimar los cambios en la cobertura vegetal a partir de los valores de Δ NDVI

Tabla 7. Fuente de datos

Conjunto de datos	Resolución espacial	Producto	Fechas de análisis	Umbrales de cambio (Δ NDVI)	Interpretación
Landsat 8	30 m	NDVI, Δ NDVI	2016 – 2017	Δ NDVI < -0.05 $-0.05 \leq \Delta$ NDVI $\leq +0.05$ Δ NDVI > +0.05	<ul style="list-style-type: none"> - Pérdida de vegetación (rojo) - Estabilidad o sin cambio significativo (blanco) - Recuperación o aumento de vegetación (verde)
Sentinel-2	10 m	NDVI, Δ NDVI	2016 – 2017 / 2022 – 2023	(Mismos umbrales aplicados que en Landsat 8)	Interpretación idéntica según gradiente de color

Fuente. Elaboración Propia.



3.3.5 Discutir las políticas públicas orientadas a la recuperación de las zonas afectadas por incendios forestales

Como punto de partida, se realizó una revisión de literatura que aborde el análisis de políticas públicas asociadas a procesos de recuperación post incendios forestales. Esta revisión permitió construir una base teórica y metodológica para identificar los componentes clave. Además, Se recopilaron y analizaron documentos oficiales y técnicos emitidos entre 2013 y 2024 por las instituciones comunales, este análisis buscó identificar:

- la existencia o ausencia de planes post incendio en Yumbel.
- Acciones implementadas o no implementadas.
- Nivel de coordinación interinstitucional.
- Participación de la comunidad local en los procesos de recuperación.

Por último, se aplicaron entrevistas semiestructuradas (Anexo 1) como técnica cualitativa complementaria al análisis documental. Estas entrevistas estuvieron dirigidas a un número representativo de actores locales de la comunidad y de instituciones clave vinculadas a la gestión de las emergencias y la recuperación post-incendios en Yumbel.

Se utilizó un muestreo intencional estratificado por rol (institucional, operativo y comunitario), buscando máxima variación territorial (urbano, periurbano-WUI y rural) y sociodemográfica. Se planificó un rango objetivo de 10–20 entrevistas semiestructuradas, con un arranque de 13 entrevistas, ajustable según saturación temática.

El criterio de saturación estableció que cada estrato se consideró cerrado cuando la tasa de códigos nuevos era inferior al 5% y no surgieran temas adicionales en dos entrevistas consecutivas. Se incluyó una entrevista de confirmación posterior al cierre de cada estrato para validar que realmente se alcanzó la saturación en ese estrato. Se definieron 3 estratos, ajustables en terreno según la saturación (Tabla N°8).



Tabla 8. Distribución de la muestra por estrato y perfil de informantes

Estrato	Perfil de informantes	Cuota inicial
Institucional	Municipio (SECPLAN/DIDECO, entre otros)	3 personas
Operativo-respuesta	Cuerpo de Bomberos de Yumbel, Brigadistas de CONAF	4 personas
Comunitario	Dirigentes JJVV, Vecinos, adultos mayores, jóvenes; selección en sectores urbano, periurbano-WUI y rural	6 personas
Total		13

Fuente. Elaboración propia.

Para garantizar una cobertura representativa de la localidad y sus distintos contextos territoriales, se definieron sectores de interés en las siguientes tres categorías:

- Urbano: Yumbel, Río Claro.
- WUI (Interfaz urbano-forestal): Las Nieves, , Las Vegas.
- Rural: Santa Rosa de Choigue, El Arenal, San Cristóbal.

Las entrevistas tuvieron una duración estimada de 15 a 40 minutos, fueron grabadas previo consentimiento informado y posteriormente transcritas, el análisis se realizó triangulando los hallazgos con documentos oficiales, registros operativos y literatura científica, con el fin de contrastar la información institucional con las percepciones y prácticas locales.

4. MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO

4.1 Incendios Forestales

Estos son una de las múltiples amenazas climáticas que han aumentado su frecuencia, intensidad, alcance e impacto a nivel mundial. Debido, principalmente, a los cambios en el clima derivados de la crisis climática global, las zonas boscosas en regiones boreales y de latitud intermedia muestran incrementos especialmente



pronunciados en el número de incendios forestales, con temporadas cada vez más extensas (León et al., 2023).

Un incendio forestal es un fuego que, cualquiera sea su origen, se propaga sin control en terrenos rurales o cercano a viviendas, a través de árboles, matorrales y pastizales, verdes o secos. Estos se incrementan y propagan con mayor facilidad cuando hay altas temperaturas, fuertes vientos, sequedad de la vegetación y del ambiente (SENAPRED, 2023).

En nuestro país los incendios son causados, principalmente por las personas, ya sea de forma accidental o por una acción deliberada e intencional. De hecho, la ocurrencia de incendios se relaciona estrechamente con la distancia y ubicación de centros urbanos e infraestructuras como caminos, líneas férreas y sitios recreacionales, siendo las zonas de interfaz urbano-rural especialmente relevantes, pues aumentan el riesgo de incendios (González et al., 2020).

Para que ocurra un incendio se necesitan básicamente tres elementos: una chispa o fuente de calor, material combustible y las condiciones climáticas adecuadas para la combustión y propagación del fuego. Respecto al primer elemento, CONAF señala que en Chile el 99,7% de los incendios se inician por acción humana, ya sea por descuidos o negligencias en la manipulación de fuentes de calor, por prácticas agrícolas o industriales inadecuadas a la nueva realidad climática, líneas eléctricas, o por intencionalidad originada en motivaciones de distinto tipo, desde la piromanía a la delictiva (León et al., 2023).

4.1.1 Condiciones necesarias para que se origine fuego

Según el Centro de Inteligencia Territorial de la Universidad Adolfo Ibáñez (2024), las principales causas y condiciones ideales para incendios forestales suelen incluir una combinación de factores que aumentan la probabilidad de que un fuego se propague rápidamente. Estos pueden incluir.

1. Sequedad y baja humedad: Los bosques secos son más propensos a arder. La falta de humedad en la vegetación facilita la ignición y la propagación del fuego.



2. Viento fuerte: El viento puede avivar las llamas y llevar el fuego a nuevas áreas, aumentando su velocidad y alcance.
3. Temperaturas elevadas: El calor intenso puede secar la vegetación y hacer que sea más inflamable, aumentando así el riesgo de incendios forestales.
4. Presencia de material inflamable: La acumulación de materia orgánica seca, como hojas caídas, ramas secas y matorrales densos, proporciona combustible para el fuego.
5. Topografía: La pendiente del terreno puede influir en la velocidad y dirección en la que se propaga el fuego. Las pendientes empinadas pueden hacer que el fuego se propague más rápidamente.
6. Acceso limitado para la extinción: La presencia de áreas remotas o de difícil acceso puede dificultar la llegada rápida de equipos de extinción de incendios, lo que permite que el fuego se propague sin control.

4.1.2 Intensidad del Fuego

Esta es una medida de la cantidad de calor liberado por un fuego. Existen diversas definiciones y formas de medir la intensidad del fuego. La más común de ellas, para nuestro caso, es la denominada intensidad de fuego de línea. Otras medidas, más complejas, incluyen en el cálculo de la intensidad total valores de intensidad radiante, intensidad de convección, intensidad de reacción, etc. Esta es directamente proporcional al calor de combustión de los combustibles, la cantidad de combustibles existentes en un área determinada y a la velocidad de propagación del fuego. Por esto, el conocimiento de los combustibles, la topografía y el clima son muy importantes para la determinación de la tasa de calor liberada por un fuego o un incendio (Moscovich et al., 2014).

4.1.3 Severidad del Fuego

Se refiere al grado de cambios ecológicos provocados por los incendios en el medio, siendo este un factor clave para estimar el impacto del fuego en el paisaje, la evaluación de la severidad del fuego se puede medir por índice capaz de estimar múltiples valores de gravedad en la capa de la vegetación (Benavides, 2021).



4.2 Evaluación de la severidad por incendios forestales

La severidad del fuego puede ser evaluada a partir de la observación directa de los niveles de daño esta evalúa el grado de pérdida o descomposición de materia orgánica contenida en la vegetación y suelo, y a partir de técnicas de teledetección basadas en el espectro óptico ya que el proceso de combustión supone cambios en la reflectividad superficial asociados a la eliminación de la vegetación, la exposición del suelo, los cambios en el contenido de humedad y la aparición de nuevas cubiertas (Montorio et al., 2014).

4.3 Tipos de incendios forestales

Según Santos (2024), los diferentes tipos de incendios se caracterizan por los distintos estratos de vegetación que son afectados por el fuego, cada uno de ellos es adaptativa a cada tipo de ecosistema en la cual se desarrolla. Por ello de acuerdo con muchos autores hemos podido determinar una clasificación de los siguientes tipos de incendios forestales.

Cuando el fuego se propaga en forma horizontal sobre la superficie del terreno y alcanza hasta metro y medio de altura, se denominan incendios superficiales. Éstos afectan combustibles vivos y muertos como pastizales, hojas, ramas, ramillas, arbustos o pequeños árboles de regeneración natural o plantación, troncos, humus, entre otros (Comisión Nacional Forestal, 2010).

Este además afecta gravemente la fertilidad del suelo, provocando desertificación y una recuperación del bosque muy compleja, ya que los ecosistemas mediterráneos, áridos y semiáridos, al perder su cubierta vegetal, reducen los nutrientes y materia orgánica del suelo, comprometiendo su funcionalidad (Tabla N°9) (Caamaño, 2021).



Tabla 9. Alteraciones en el suelo dependiendo de la temperatura alcanzada.

Temperatura °C	Alteración
40-70	Degradación de proteínas y muerte de tejidos biológicos
48-54	Deshidratación de determinadas raíces o muerte
70-90	Muerte de determinadas semillas
50-121	Muerte de microorganismos edáficos
180-300	Destilación destructiva y combustión de alrededor del 85% del horizonte orgánico
200-250	Incremento de la hidrofobicidad del suelo mineral
200-315	Comienza la destilación de la materia orgánica del suelo
270-300	Destrucción de la hidrofobicidad del suelo
200-400	Comienza la destilación de nutrientes (particularmente N)
>300	Los horizontes orgánicos superficiales del suelo son enteramente consumidos
>420	Pérdidas de agua en los minerales de la fracción de arcilla
450-500	Completo consumo de la materia orgánica
>600	Máxima pérdida de fósforo y potasio, oxidación de enlaces metálicos
>800	Oxidación de azufre
>980	Cambios irreversibles en los minerales de la arcilla
>1240	Volatilización del calcio

Fuente. Caamaño, 2021.

Cuando un incendio superficial se propaga bajo el suelo, se convierte en un incendio subterráneo. En este caso llega a quemarse la materia orgánica acumulada y las raíces, e incluso puede alcanzar los afloramientos rocosos. Generalmente éstos no producen llamas y emiten poco humo.

Pero los más destructivos, peligrosos y difíciles de controlar son los incendios de copa o aéreos, debido a que el fuego consume toda la vegetación. También comienzan en forma superficial, pero en este caso, las llamas avanzan primero sobre el nivel del suelo y se propagan por continuidad vertical, es decir, escalan la vegetación dispuesta hacia arriba que sirve de combustible en escalera hacia las copas de los árboles.

4.4 Cambio climático

Se refiere a los cambios a largo plazo de las temperaturas y los patrones climáticos. Estos cambios pueden ser naturales, debido a variaciones en la actividad solar o erupciones volcánicas grandes. Pero desde el siglo XIX, las actividades humanas

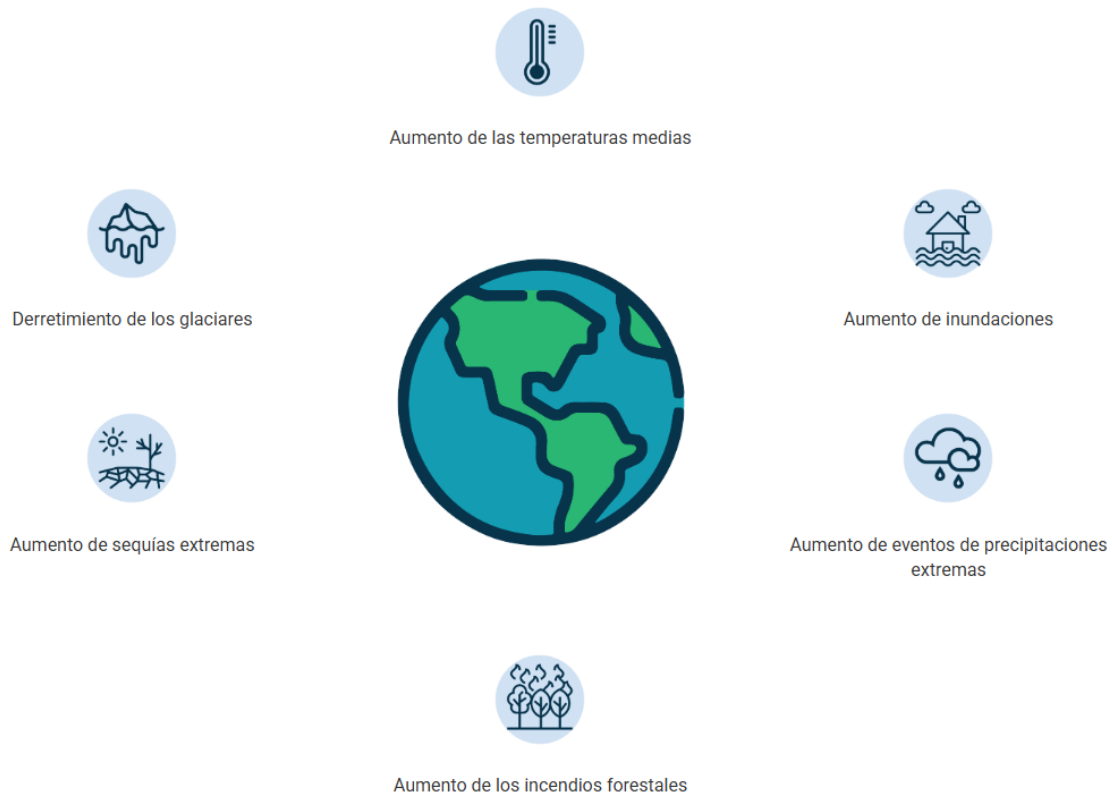


han sido el principal motor del cambio climático, debido principalmente a la quema de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas. Las emisiones principales de gases de efecto invernadero que provocan el cambio climático son el dióxido de carbono y el metano. Estos proceden del uso de la gasolina para conducir un coche o del carbón para calentar un edificio, por ejemplo. El desmonte de tierras y bosques también puede liberar dióxido de carbono, la agricultura y las actividades relacionadas con el petróleo y el gas son fuentes importantes de emisiones de metano. La energía, la industria, el transporte, los edificios, la agricultura y el uso del suelo se encuentran entre los principales emisores. (Naciones Unidas, s.f.).

Este también evidencia las desigualdades económicas y sociales que existen en el mundo, potencializa dichas diferencias e inequidades. Los tratados del clima reconocen los diferentes niveles de responsabilidades y atribuyen a los países que más contaminan (países industrializados) la mayor cuota de responsabilidades para la resolución del problema, puesto que históricamente ya consumieron y emitieron más gases que los países en desarrollo, usufructuando, como consecuencia de estas emisiones, de los beneficios económicos, sociales y políticos. Entre algunas cifras que provocan susto, se encuentra la estimación de que un solo ciudadano norteamericano produce gases efecto invernadero equivalente al que producen 19 hindúes, 30 paquistanís o 269 nepaleses, ya que sus padrones de consumo implican gran consumo de combustibles fósiles y padrones del uso del suelo que generan grandes emisiones de gases efecto invernadero (Feldmann et al., 2001).

El cambio climático es una variación que se está registrando en el clima del planeta, atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, y que altera la composición de la atmósfera. Se manifiesta en un aumento de las temperaturas medias y una alteración del clima a escala mundial, haciendo más común eventos climáticos extremos (NASA, 2023). Los efectos del cambio climático según la MMA (s/f) se evidencian en la figura N°12.

Figura 12. Efectos del cambio climático



Fuente. Ministerio del Medio Ambiente (MMA)

4.4.1 Cambio climático e incendios forestales

La actividad humana reciente se superpone con los efectos del cambio climático, lo que induce rápidos cambios en los regímenes de incendios a nivel mundial. Esto genera diversos impactos en los ecosistemas y aumenta las amenazas para las sociedades humanas, incluyendo bienes y vidas, pero también para las inversiones, la planificación y las actividades económicas futuras apuntan al surgimiento de nuevos eventos de incendios forestales extremos no informados previamente y asociados, en muchas áreas, a una mayor frecuencia de eventos de lo esperado (Duane et al., 2021).

La ocurrencia de estos eventos se ve favorecida por el cambio climático y, a su vez, contribuyen al calentamiento del planeta mediante emisiones masivas de CO₂ a la atmósfera (CR2, 2020).



El cambio climático en Chile no es teórico y sus efectos comienzan a advertirse. El escenario climático proyectado para las próximas décadas de disminución pronunciada de las precipitaciones y el aumento de la recurrencia de sequías resultaría en un incremento en la ocurrencia (número) y el área afectada por incendios. Particularmente vulnerables a estos cambios en el régimen de incendios estarían aquellas regiones dominadas por extensas plantaciones y ecosistemas remanentes altamente fragmentados e invadidos por especies exóticas, derivado principalmente del tipo, homogeneidad y continuidad del combustible (González et al., 2011).

4.5 Riesgo por incendios forestales

El concepto ha sido abordado desde diversas perspectivas, lo que evidencia una pluralidad de enfoques y la ausencia de consenso respecto a su definición entre distintos autores.

Según Barraza (2023), el riesgo es la probabilidad de ocurrencia de un evento que puede generar potenciales daños. Esto se debe a una combinación de tres factores: a) la amenaza (probabilidad e intensidad esperada del incendio), b) la exposición (presencia de ecosistemas, personas, bienes o servicios en la zona potencialmente afectada por el incendio) y c) vulnerabilidad (predisposición a sufrir daños o pérdidas graves por culpa del incendio). En el caso de los incendios forestales el riesgo más marcado suele producirse en los entornos ecológicos y comunitarios que configuran las zonas de interfaz urbano-forestal. En estas áreas interactúan una serie de variables geográficas, topográficas, climáticas, de cobertura de suelo y sociales, determinando la probabilidad y magnitud de posibles daños generados por el fuego.

4.6 Factores de vulnerabilidad

El impacto de los incendios forestales depende de diversos factores, y las áreas de interfaz urbano-rural implican un mayor riesgo al haber más vidas humanas y bienes materiales expuestos. Además, estos riesgos se acrecientan por una urbanización que va en aumento y por el cambio climático, que ha provocado un cambio en las condiciones meteorológicas, afectando a la probabilidad, intensidad y velocidad de



propagación de incendios forestales. Algunos de los factores identificados que inciden en la probabilidad de daños a causa del incendio son: la proximidad de la vivienda a los vecinos, la distancia a la vegetación, la proximidad al límite de los grupos de viviendas y la distancia desde el origen del incendio. (Aguirre et al., 2024).

4.7 Impacto de los Incendios Forestales

La Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (2017) menciona que los incendios forestales tienen impactos complejos sobre los procesos ecológicos, debido a la variabilidad del paisaje, como las diferentes respuestas de la vegetación. En el caso del recurso forestal, la frecuencia de los incendios forestales puede ocasionar cambios en la dinámica de cultivo como el bosque, ya que muchas especies no alcancen su etapa de madurez, causando disminución en la distribución espacial o incluso la extinción de la especie. Además, el aumento de la frecuencia de incendios junto con periodos de sequía puede generar impactos ambientales a largo plazo tales como disminución de la productividad de los ecosistemas, desertificación, entre otros.

Los incendios forestales provocan una degradación del suelo, sobre todo después del evento. El nivel de degradación del suelo va a depender de la topografía del lugar, intensidad del proceso de erosión, tasa de regeneración de la cubierta vegetal post incendio, recurrencia, intensidad y duración del fuego. Los principales impactos de los incendios forestales son a nivel de las propiedades (físico, químico y biológica) y productividad del suelo. Estos impactos se traducen en: generación de erosión, pérdida de nutrientes, disminución de la materia orgánica, alteración de la vegetación.

El suelo después de un incendio es susceptible a sufrir de erosión, debido a lo expuesto que queda al viento y agua. La erosión genera: pérdida del material, problemas con la infiltración del agua, aumento del flujo superficial del agua e hidrofobicidad. Por otro lado, la cosecha post incendios de la madera quemada, también puede aumentar la vulnerabilidad a la erosión y degradación del suelo, debido al uso maquinaria pesada y arrastre de los troncos.



4.8 Plantación/Reforestación

Estos términos no son sinónimos de restauración ecológica, pero se usan para describir actividades específicas que podrían ser parte de un programa de restauración ecológica. Las plantaciones y la reforestación son formas de reponer la cobertura vegetal en un área donde la vegetación original ha sido removida, considerando sólo determinadas especies y no el ecosistema con toda su diversidad y complejidad (Jaksic et al., 2015).

4.9 Política Forestal

Mediante Decreto N.º 08 de marzo de 2015, el Ministerio de Agricultura, crea el Consejo de Política Forestal, con la misión explícita e inmediata de diseñar y estructurar una Política Forestal para el Chile del futuro. En este contexto, se diseñó la Política Forestal Chilena 2015-2035, la cual constituye una ruta común para el desarrollo del sector forestal, destinada a orientar y conducir los procesos y el accionar de los actores públicos y privados del sector durante las próximas décadas. (Plan Nacional de Restauración de Paisajes, 2021).

CONAF (2015) establece a través de la política Forestal 2015-2035 que la finalidad que persigue una política sectorial de largo aliento como esta es delinear los ejes estratégicos, definir objetivos generales y específicos, elaborar planes y programas, identificar instrumentos y precisar mecanismos para alcanzar un Desarrollo Forestal Sustentable, entendido éste, en términos de desafíos y visión, como la contribución del sector forestal chileno al desarrollo económico-productivo, ecológico y social-cultural del país, mediante la conservación, el manejo integral, el aprovechamiento y uso racional de los recursos, de las cuencas y los ecosistemas forestales.

Asimismo, el Plan Nacional de Restauración de Paisajes 2021–2030 menciona la importancia del eje estratégico N°4 de la Política Forestal Chilena 2015–2035 ya que se relacionan de manera directa con el presente plan, y tiene(n) como propósito conservar e incrementar el patrimonio forestal del estado, desarrollar los bienes y servicios ambientales, y restaurar y proteger la biodiversidad que brindan los



recursos y ecosistemas forestales. este eje estratégico posee cuatro objetivos de impacto.

4.1 “Restaurar el patrimonio forestal afectado por diversos tipos de catástrofes naturales e intervenciones antrópicas, especialmente aquellas áreas que han sufrido los efectos de incendios forestales, erupciones volcánicas o aluviones, y que tienen consecuencias negativas sobre el suelo, el agua y la biodiversidad.”

4.2 “Orientar el manejo del patrimonio forestal nativo con fines de protección y conservación particularmente aquel que ha sido intervenido y en las áreas de interés ecológico y cultural de acuerdo con criterios que emanan de la mantención de la biodiversidad, regulación del ciclo hidrológico, ciclo de carbono, ciclo de nutrientes y control de los procesos de erosión y sedimentación”.

4.3 “Prevenir y controlar los problemas fitosanitarios y de especies invasoras en el patrimonio forestal, minimizando su impacto negativo sobre los recursos y sus productos materiales o intangibles, mediante estrategias ambiental y socialmente aceptadas, económicamente eficientes, dando cumplimiento a los tratados internacionales suscritos por el país y a los requerimientos del sector forestal nacional. 27 plan Nacional de Restauración de Paisajes 2021-2030”.

4.4 “Reducir la ocurrencia y minimizar los impactos generados por los incendios forestales, mediante acciones de prevención y control”.

4.10 Paisaje

Según Pinto (2009) el paisaje en primera instancia se corresponde entonces con el conjunto de formas, con el mosaico, con la morfología que presenta cada espacio geográfico. Podría ser definido por tanto como la faz del territorio, su aspecto.

Pero el paisaje designa dos tipos de realidades: unas realidades materiales constituidas por los elementos tangibles, tanto de tipo natural como antrópico, y una



dimensión que procede de la percepción humana subjetiva. Una percepción que da lugar a la imagen del paisaje que cada individuo construye en función de sus experiencias vitales ambientales, de los lazos afectivos que establece con los lugares y su carga de significados tanto de tipo individual como colectivo. También el autor agrega que este, además, no es estático, es el reflejo del sistema territorial vigente en cada período histórico. El paisaje cambia porque cambia el sistema territorial que lo genera. Este responde por lo tanto a una determinada función y, si un espacio pierde su función, su paisaje también sucumbe.

4.10.1 Recuperación o restauración del paisaje

Es el conjunto de acciones destinadas a restablecer las propiedades básicas del hábitat, teniendo en cuenta la trayectoria histórica del ecosistema. Incluye la gestión de suelos erosionados, la reforestación de áreas quemadas, la recuperación de la biodiversidad y el restablecimiento de servicios ecosistémicos perdidos. Igualmente, y sin perjuicio de que debido a la extensión del trabajo este aspecto no será objeto de análisis, dentro de esta noción podría agregarse la reconstrucción, referida al proceso de volver a construir, reparar y rehabilitar infraestructuras, edificaciones u otros elementos materiales que han sido dañados o destruidos por causa del incendio, con el objeto de que recuperen su funcionalidad y habitabilidad (Álvarez, 2024).

Esto se complementa con lo mencionado en el Plan Nacional de Restauración de Paisajes (2021) que lo define como un proceso continuo de mejoramiento del bienestar humano y recuperación de la funcionalidad ecológica de paisajes de gran extensión y diversidad de usos, actores y ecosistemas, tanto terrestres como de aguas continentales y marino-costeros, enfatizando que se trata de un proceso de largo plazo con el objetivo de restituir la funcionalidad ecológica y la calidad de vida y bienestar de las comunidades. Donde incluye, en términos generales, procesos de rehabilitación de suelos erosionados; rehabilitación de ciclos hidrológicos; recuperación de paisajes y ecosistemas afectados por incendios forestales,



catástrofes u otros factores de degradación; conservación y protección de áreas naturales o de valor ecológico, restauración ecológica; entre otros.

Según Fernández (2021), con la promulgación en el año 1994 de la Ley de Bases del Medio Ambiente, y la posterior publicación en el año 1998 de la Política Ambiental para el Desarrollo Sustentable, se ha puesto de manifiesto la necesidad que tiene el país de conservar los ecosistemas nativos y recuperar aquellos que han sido degradados, de manera de asegurar su permanencia para las futuras generaciones. Es así como actualmente existen cuerpos legales que obligan a los particulares que generan impactos sobre ecosistemas nativos a repararlos y/o restaurarlos.

4.11 La Teledetección como herramienta para el análisis de incendios forestales

4.11.1 Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2021) establece que el NDVI es una de las primeras propuestas de análisis de percepción remota multiespectral y actualmente es uno de los más populares. Dada la simpleza en la definición del NDVI y su capacidad para distinguir la presencia de vegetación, así como la salud de esta. El NDVI ha sido utilizado en una gran cantidad de investigaciones científicas. La utilidad del índice ha propiciado que desde la década de 1970 diversos satélites y otros vehículos estén equipados con sensores adecuados para captar la información que requiere su cálculo.

El Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada (NDVI) utiliza las bandas espectrales roja y cercana al infrarrojo (Figura N°13). Este se utiliza para observar los cambios de cobertura vegetal y analizar su calidad. Esta se establece de acuerdo con los valores obtenidos del NDVI: los comprendidos entre 0,01 y 0,1 se clasifican en vegetación escasa o suelo desnudo, lo cual indica una baja reflectancia de la banda infrarrojo cercano (NIR). El NDVI entre 0,2 y 0,4 se cataloga como vegetación moderada y el NDVI >0,5 se atribuye a la vegetación alta y vigorosa. Además, este permite monitorear la recuperación de la vegetación después de que haya ocurrido un incendio. Para el cálculo se utiliza el espectro de la luz visible e



NIR; por tanto, analizar la vegetación sana se hace teniendo en cuenta la absorbancia de la luz visible que se refleja en el NIR. Por otro lado, la vegetación afectada por incendios forestales refleja menos luz en el NIR (González, 2021).

Figura 13. Formula de NDVI

Formula	Bandas en Sentinel 2
$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$	$NDVI = \frac{B8 - B4}{B8 + B4}$

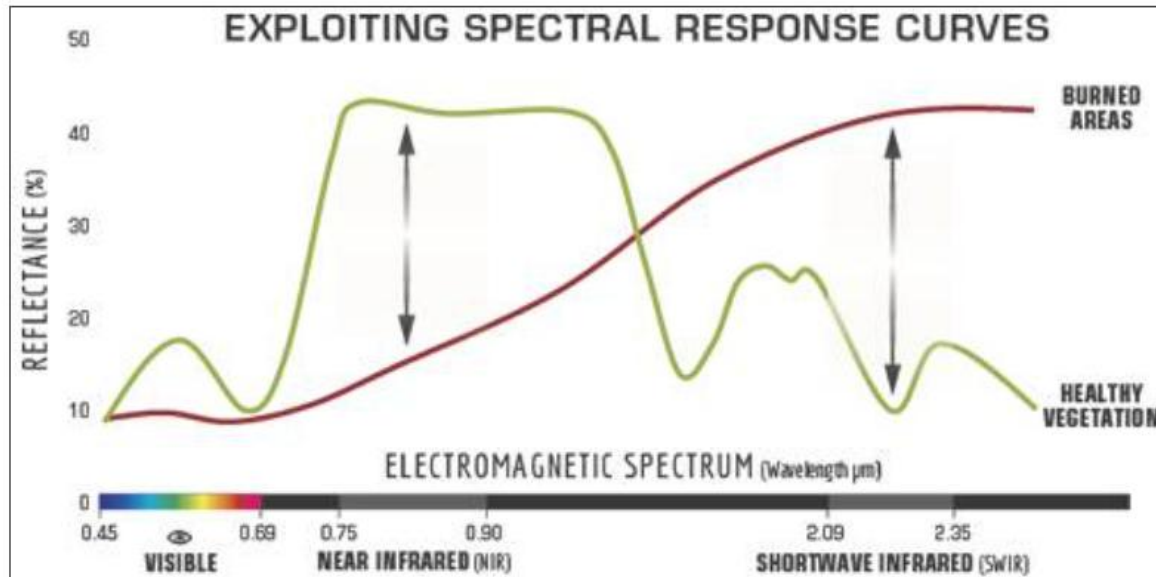
Fuente. DalpGis.com

4.11.2 Índice Normalizado de Área Quemada (NBR)

Según Oficina de las Naciones Unidas para los Asuntos del Espacio Ultraterrestre, (s/f). La relación de quemadura normalizada (NBR) es un índice diseñado para resaltar áreas quemadas en grandes zonas de fuego. La fórmula combina el uso de longitudes de onda infrarroja cercana (NIR) e infrarroja de onda corta (SWIR).

La vegetación sana presenta una reflectancia muy alta en el infrarrojo cercano (NIR) y baja en el infrarrojo de onda corta (SWIR) (Figura N°14), lo contrario de lo observado en zonas devastadas por incendios. Las zonas recientemente quemadas presentan una reflectancia baja en el NIR y alta en el SWIR; es decir, la diferencia entre las respuestas espectrales de la vegetación sana y las zonas quemadas alcanza su máximo en las regiones NIR y SWIR del espectro.

Figura 14. Comparación de la respuesta espectral de la vegetación saludable y las áreas quemadas.



Fuente. Oficina de las Naciones Unidas para los Asuntos del Espacio Ultraterrestre.

Para aprovechar la magnitud de la diferencia espectral, el NBR utiliza la relación entre las bandas NIR y SWIR, (Figura N°15). Un valor alto de NBR indica vegetación sana, mientras que un valor bajo indica suelo desnudo y áreas recientemente quemadas. Las áreas no quemadas se suelen atribuir a valores cercanos a cero.

Figura 15. Formula del NBR.

$$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

Fuente: Oficina de las Naciones Unidas para los Asuntos del Espacio Ultraterrestre



4.11.3 Índice de quema normalizado delta (dNBR)

La severidad de los incendios se estima a partir de la diferencia del coeficiente normalizado de quemados o dNBR, el cual considera el NBR pre-incendio menos el NBR post incendio (Figura N°16) Los valores resultantes tienen un rango de -1 a +1. La clasificación de los valores del dNBR se relaciona con los niveles de severidad, los valores negativos están asociados a la repoblación de la vegetación después del incendio, los píxeles que no están quemados presentan valores cercanos a cero (-0.1 y 0.1), los valores positivos máximos (> 0.66) están relacionados con una mayor severidad (Valdez et al., 2019).

Figura 16. Formula Dnbr.

$$dNBR = NBR_{pre-incendio} - NBR_{post-incendio}$$

Fuente: Valencia et al., 2018)

4.11.4 Google Earth Engine

(Perilla & Mas, 2024) Google Earth Engine (GEE), nació a finales del 2010 como una forma para eliminar esa limitante computacional y permitir a los usuarios realizar análisis complejos, involucrando grandes cantidades de datos y expandiendo la frontera de la ciencia en percepción remota.

GEE está compuesto por cuatro elementos principales. El primero es la infraestructura de Google, la cual pone a disposición del usuario sus servidores, permitiendo así hacer análisis en paralelo con cerca de 10 000 CPUs. Esto agiliza la velocidad de procesamiento, en comparación con una computadora individual. El segundo elemento es el acervo de datos (datasets). Google tiene almacenado todas las imágenes de varios sensores (Landsat, Sentinel, MODIS, entre otros). Estas bases de datos se actualizan a medida que se toman nuevas imágenes, creando así un enorme catálogo de datos geospaciales. El tercer elemento es la API (Application Program Interface), la cual consiste en una serie de comandos y



funciones preestablecidas, escritos en lenguaje JAVA, que permite una programación sencilla al desarrollar algoritmos para las investigaciones. el cuarto elemento es el Code Editor, el cual es un entorno de desarrollo integrado en línea, donde se juntan todos los elementos. Aquí es donde el usuario puede, a través de código de trabajo (“scripts”), llamar a los datos, procesar y visualizarlos de manera virtual con los servidores de Google, teniendo así sus resultados e información en la nube.

4.11.5 Landsat-8

Según Eos Data Analytics, 2025) Landsat-8 es un satélite de observación de la Tierra construido, lanzado y operado en la colaboración de la NASA con el USGS. El estudio de los datos se realiza mediante dos sensores principales. El satélite opera en luz visible, infrarrojo cercano, infrarrojo de onda corta e infrarrojo térmico (de onda larga). Las bandas de Landsat 8 están configuradas en 11 diferentes en base a la longitud de onda de su visión.

Este ha observado la Tierra continuamente desde 1972 hasta la actualidad. Actualmente, los satélites Landsat capturan imágenes de toda la superficie terrestre con una resolución de 30 metros aproximadamente cada dos semanas, incluyendo datos multiespectrales y térmicos (Google for Developers, s. f.).

4.11.6 Sentinel-2

Sentinel-2 (S2) es una misión de imágenes multiespectrales de alta resolución y ancho de franja con una frecuencia de revisita global de 5 días. El instrumento multiespectral (MSI) del S2 toma muestras de 13 bandas espectrales: visible y NIR a 10 metros, borde rojo y SWIR a 20 metros, y bandas atmosféricas a 60 metros de resolución espacial. Proporciona datos adecuados para evaluar el estado y el cambio de la vegetación, el suelo y la cobertura de agua. (Google for Developers, s. f.)



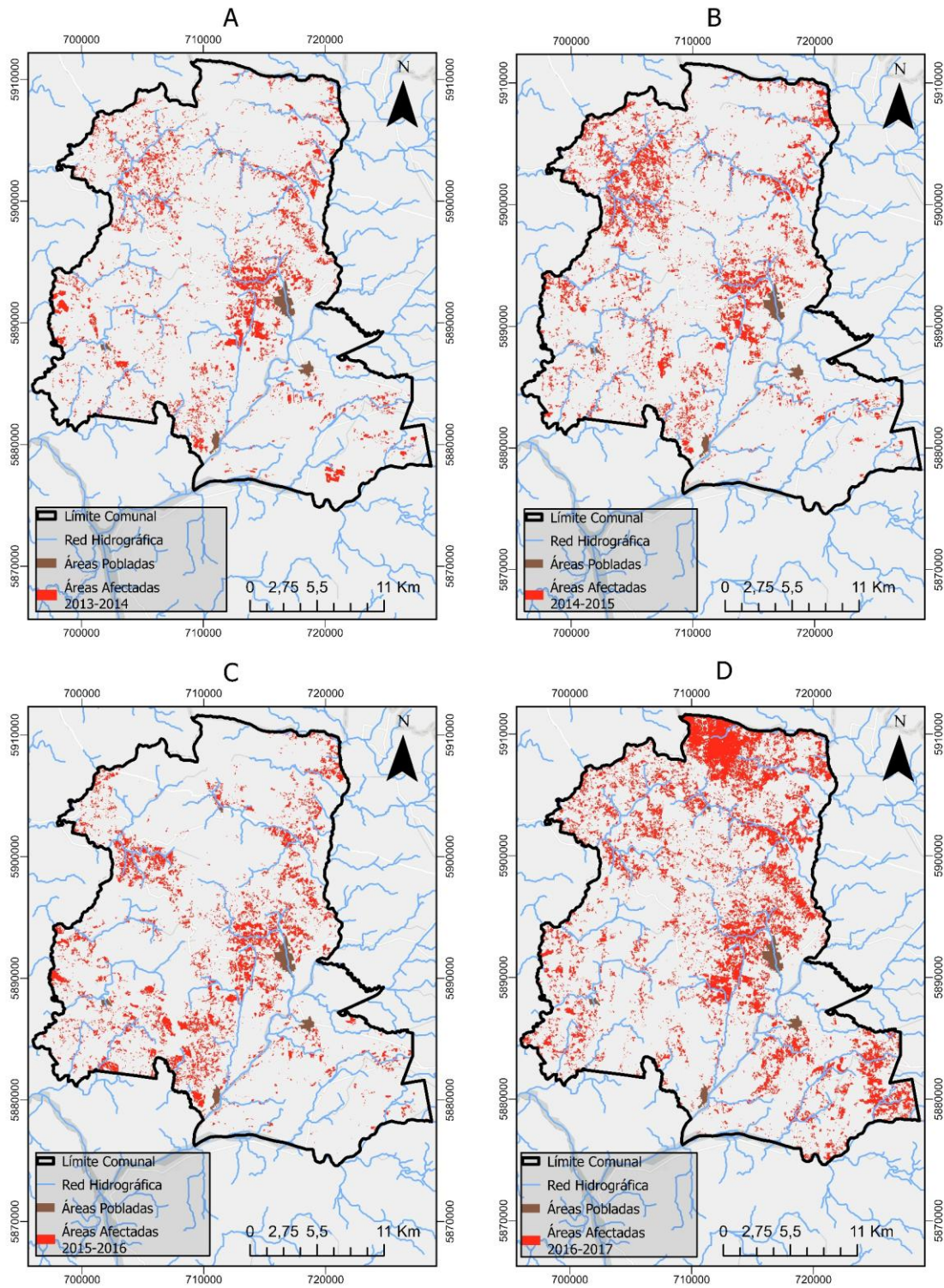
5. RESULTADOS

5.1 Áreas Afectadas por Incendios Forestales en la Comuna de Yumbel (2013-2024)

El análisis multitemporal evidencia que la comuna de Yumbel ha experimentado una dinámica de incendios forestales marcada por ciclos de baja y alta intensidad, con una clara tendencia a la recurrencia espacial. Como se muestra en las figuras N° 17, 18 y 19. Entre 2013 y 2015 (Figura N° 17 A y B) predominan eventos de menor magnitud y distribución dispersa, principalmente en el norte y centro del territorio. A partir de 2015–2016 (Figura N° 17 C) se observa un aumento progresivo de la superficie afectada, consolidándose un corredor de propagación hacia el poniente.

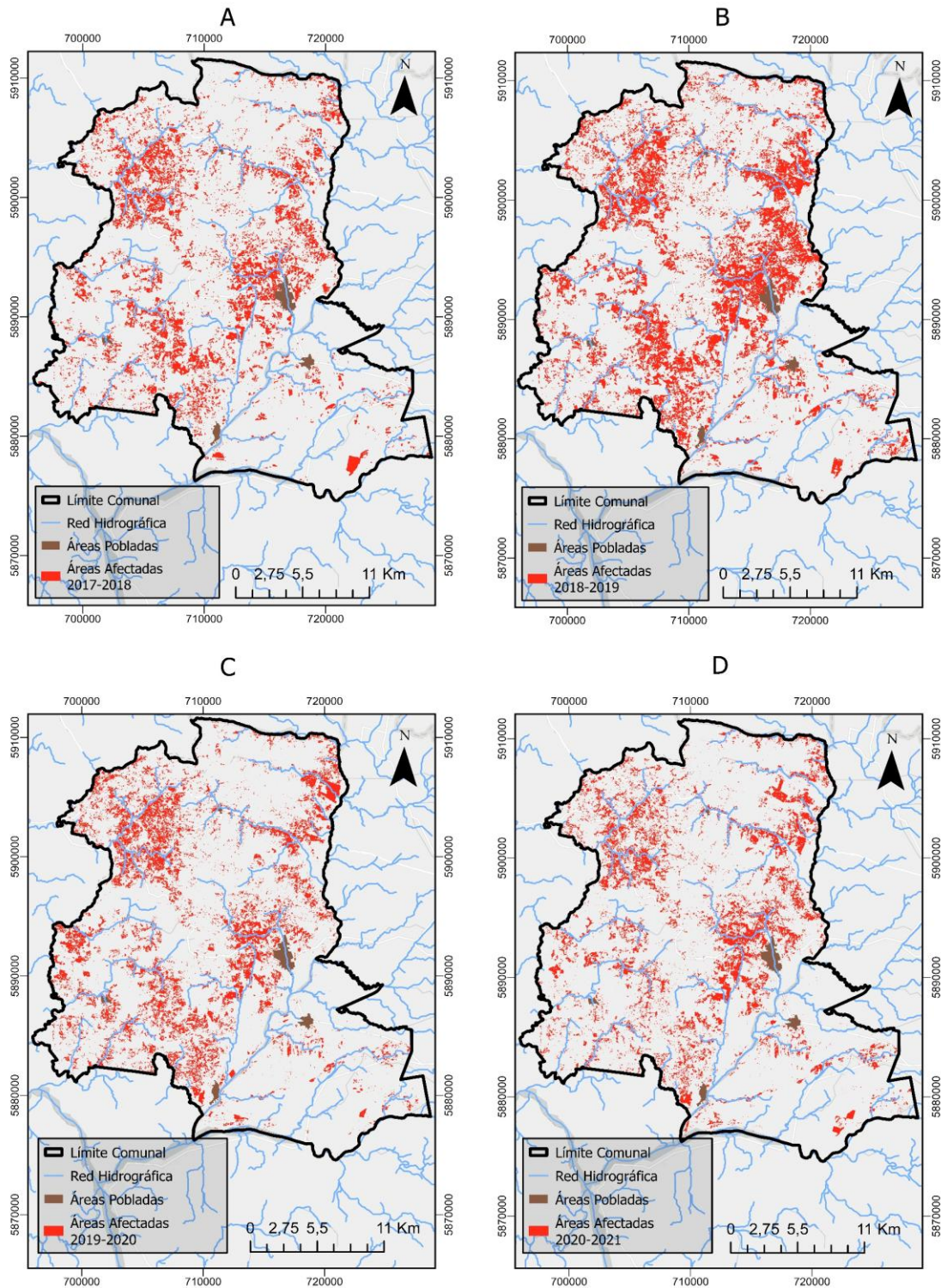
El periodo 2016–2017 (Figura N° 17 D) constituye el primer punto crítico, con una gran cicatriz continua en el límite norte y propagación hacia sectores cercanos al área urbana. Tras una disminución relativa en 2017–2020 (Figura N° 18 A, B y C), los incendios vuelven a intensificarse desde 2020–2021 (Figura N° 18 D), alcanzando un segundo máximo en 2021–2022 (Figura N° 19 A), con un incendio longitudinal que atraviesa el centro comunal de norte a sur. Aunque en los años 2022–2024 (Figura N° 19 B y C) la superficie quemada disminuye parcialmente, los focos persisten en torno a las localidades de Tomeco, Río Claro, Rere y Yumbel Estación, confirmando que ciertas zonas actúan como territorios históricamente reincidentes. En conjunto, los resultados revelan patrones espaciales reiterativos y la existencia de dos periodos críticos 2016–2017 y 2021–2022.

Figura 17. Áreas afectadas por incendios forestales periodos 2013-2014 a 2016-2017.



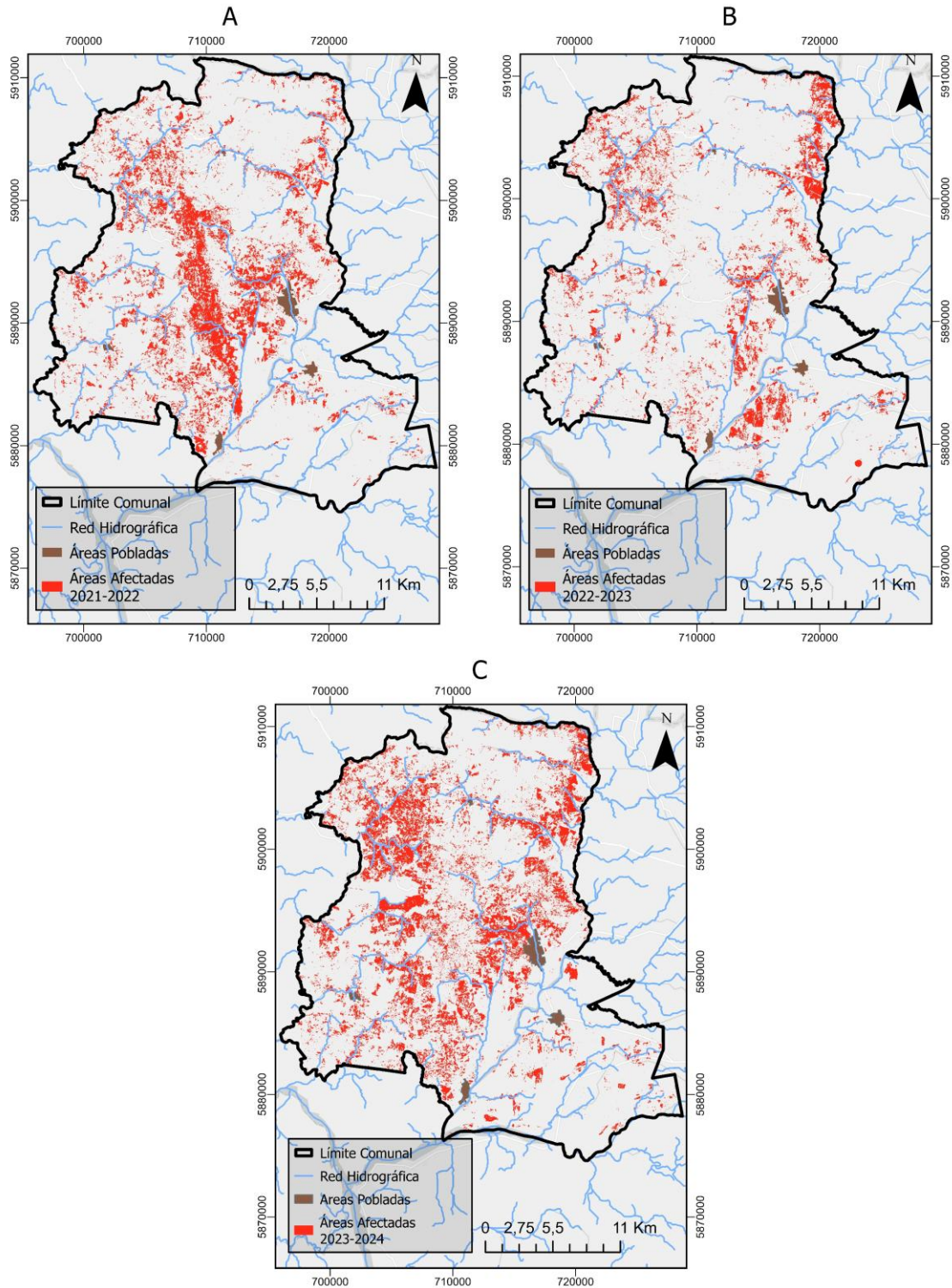
Fuente. Elaboración propia

Figura 18. Áreas afectadas por incendios forestales periodos 2017-2018 a 2021-2022.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 19. Áreas afectadas por incendios forestales periodos 2021-2022 a 2023-2024.



Fuente: Elaboración propia.



5.1.1 Análisis temporal de las áreas afectadas año a año **2013-2014 (Figura N°17 A).**

Durante esta temporada se observa una afectación dispersa y de baja magnitud, principalmente en el sector norte de la comuna y en pequeños focos cercanos a la zona centro y poniente de la comuna. Los incendios se concentraron en parches aislados, lo que indica que los eventos fueron de menor extensión y sin continuidad espacial significativa.

2014–2015 (Figura N°17 B).

El patrón se intensifica levemente en comparación con el periodo anterior, destacando un aumento de áreas quemadas hacia el noreste y en sectores de transición hacia la depresión intermedia. Los incendios aún se mantienen en parches medianos, aunque se empieza a configurar un corredor de afectación en la parte central de la comuna.

2015-2016 (Figura N°17 C).

La distribución de las áreas afectadas muestra un crecimiento en la zona sur y poniente de la comuna. En comparación con los años previos, la afectación se hace más visible, se distinguen pequeños focos de incendio que, pese a su menor número, consumieron superficies extensas, lo que en otras palabras quiere decir que, aunque no hubo tantos incendios, los pocos que ocurrieron alcanzaron a quemar grandes áreas. En este periodo, los incendios se concentran con mayor fuerza hacia el sector poniente del territorio comunal, consolidando un patrón espacial más definido en esa área.

2016–2017 (Figura N°17 D).

Este periodo constituye el evento más crítico de toda la serie temporal. La cartografía evidencia una gran cicatriz de fuego en el límite norte de la comuna de Yumbel, conformando una mancha continua de gran extensión. Además, se observan focos de menor magnitud en sectores cercanos al radio urbano comunal



y en el área central, lo que revela una afectación tanto en zonas periféricas como en áreas pobladas.

2017-2018 (Figura N°18 A).

En contraste con el año anterior, la superficie afectada disminuye, aunque persisten focos relevantes en el norte y centro de la comuna. Los incendios se manifiestan en parches de menor tamaño, distribuidos alrededor del radio urbano comunal, lo que muestra que, pese a la menor magnitud, se mantiene la recurrencia en áreas ya impactadas previamente.

2018-2019 (Figura N°18 B).

En contraste con el año anterior, la superficie afectada disminuye, aunque persisten focos relevantes en el norte, cercanos al área poblada de Tomeco; en el centro de la comuna; y en el suroeste, próximo a la localidad de Río Claro, lo que muestra que, pese a la menor magnitud, se mantiene la recurrencia en áreas ya impactadas previamente. En comparación con el año anterior, la cartografía muestra una mayor extensión de áreas quemadas, lo que indica que este periodo estuvo marcado por un nuevo aumento de Incendios forestales.

2019-2020 (Figura N°18 C).

La superficie afectada disminuye, predominando focos pequeños y dispersos, especialmente en el norte y suroeste de la comuna. A pesar de la menor magnitud de los incendios, se mantiene el patrón de recurrencia en áreas ya impactadas en temporadas anteriores. Siguen registrándose incendios cercanos al área urbana de Tomeco, Río Claro y en sectores alrededor de la comuna de, aunque con menor intensidad y extensión en comparación con los periodos previos.

2020-2021(Figura N°18 D).

Los incendios de este periodo se expanden de manera más visible, con mayor concentración en el norte, noroeste donde se encuentra el área urbana de Tomeco y oeste de la comuna. El patrón espacial confirma que la recurrencia de los



incendios se mantiene, afectando nuevamente zonas que ya habían presentado eventos en temporadas anteriores.

2021-2022 (Figura N°19 A).

Aquí se inicia el segundo periodo crítico para la comuna. Se aprecia una gran cicatriz longitudinal en el centro de Yumbel, que cruza de norte a sur y constituye una de las áreas más extensas de toda la serie, comparable con el evento de 2016–2017 por su magnitud. Este incendio se presentó muy cercano al área urbana de la comuna

2022-2023 (Figura N°19 B).

Los incendios se mantienen en alta magnitud, concentrándose en el sector sur y centro de la comuna. En comparación con 2021–2022, la superficie afectada es menor, pero aún significativa, se observan focos relevantes al norte de la comuna, casi en el límite comunal, y hacia el sur, en las cercanías del sector de Yumbel Estación.

2023-2024 (Figura N°19 C).

Para esta última temporada analizada se observa una disminución relativa en la superficie afectada, aunque persisten focos relevantes en el noroeste, en torno al sector poblado de Tomeco, y hacia el oeste, en las cercanías de la localidad de Rere, también se registran focos cercanos al radio urbano comunal, en sectores que ya habían sido impactados en temporadas anteriores, lo que refleja la recurrencia de los sectores.



5.2 Severidad de las áreas afectadas por los incendios forestales (2013-2024).

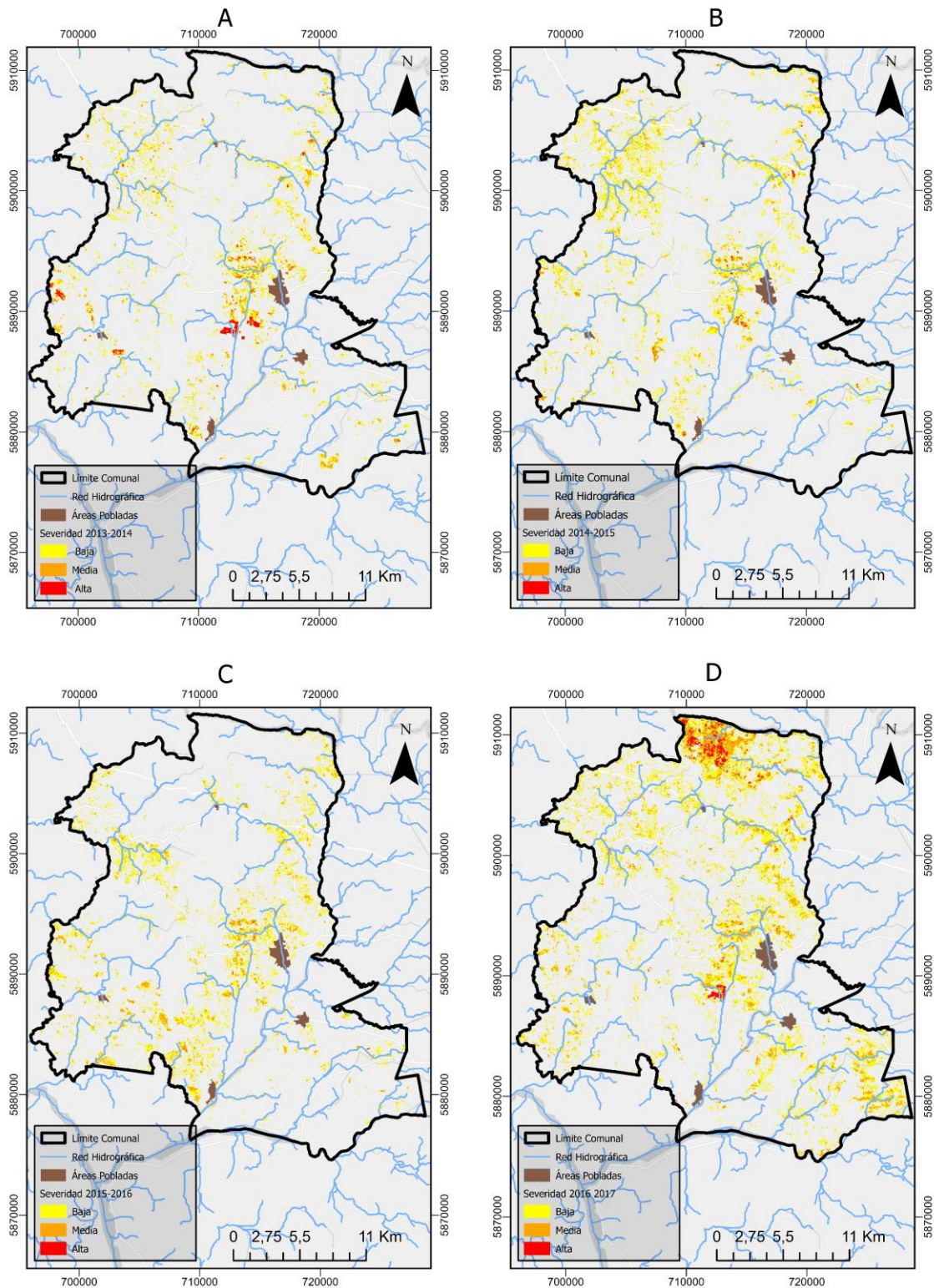
El análisis de severidad evidencia una dinámica marcada por la alternancia entre periodos de afectación moderada y episodios de alta intensidad concentrada en sectores específicos. Entre 2013 y 2015 predominan incendios de severidad baja y media, con focos aislados de alta severidad localizados principalmente en el sur y poniente del territorio. Estos primeros eventos presentan un comportamiento fragmentado, sin grandes superficies continuas afectadas.

A partir de 2015–2016 se observa una disminución general en la superficie quemada, pero con la aparición de pequeñas áreas de severidad media en torno a Río Claro. El escenario cambia drásticamente en 2016–2017, cuando se registra el primer gran evento crítico: emergen extensas cicatrices de severidad alta en el límite norte (colindante con Quillón) y en el sector sur poniente, aunque la mayor parte del territorio afectado corresponde a severidad baja y moderada. Este patrón evidencia incendios de gran potencia en áreas puntuales dentro de un contexto de propagación más extensa pero menos intensa.

Durante 2017–2020 la severidad disminuye nuevamente, predominando valores bajos, con focos medios y altos localizados cerca de zonas pobladas como Yumbel, Río Claro y Rere. Sin embargo, desde 2020–2021 reaparecen focos de alta severidad en el norte y poniente comunal, anticipando el segundo evento mayor registrado en 2021–2022. En este periodo se configura un corredor continuo de severidad media y alta que atraviesa el área urbana principal, convirtiéndolo en uno de los incendios más impactantes de la década.

En los últimos dos años (2022–2024), si bien la severidad vuelve a disminuir en términos generales, persisten focos de intensidad alta en el nororiente (límite con Cabrero y Quillón) y en el suroeste (Río Claro y Tomeco), confirmando que ciertos sectores de la comuna actúan como zonas históricamente reincidentes

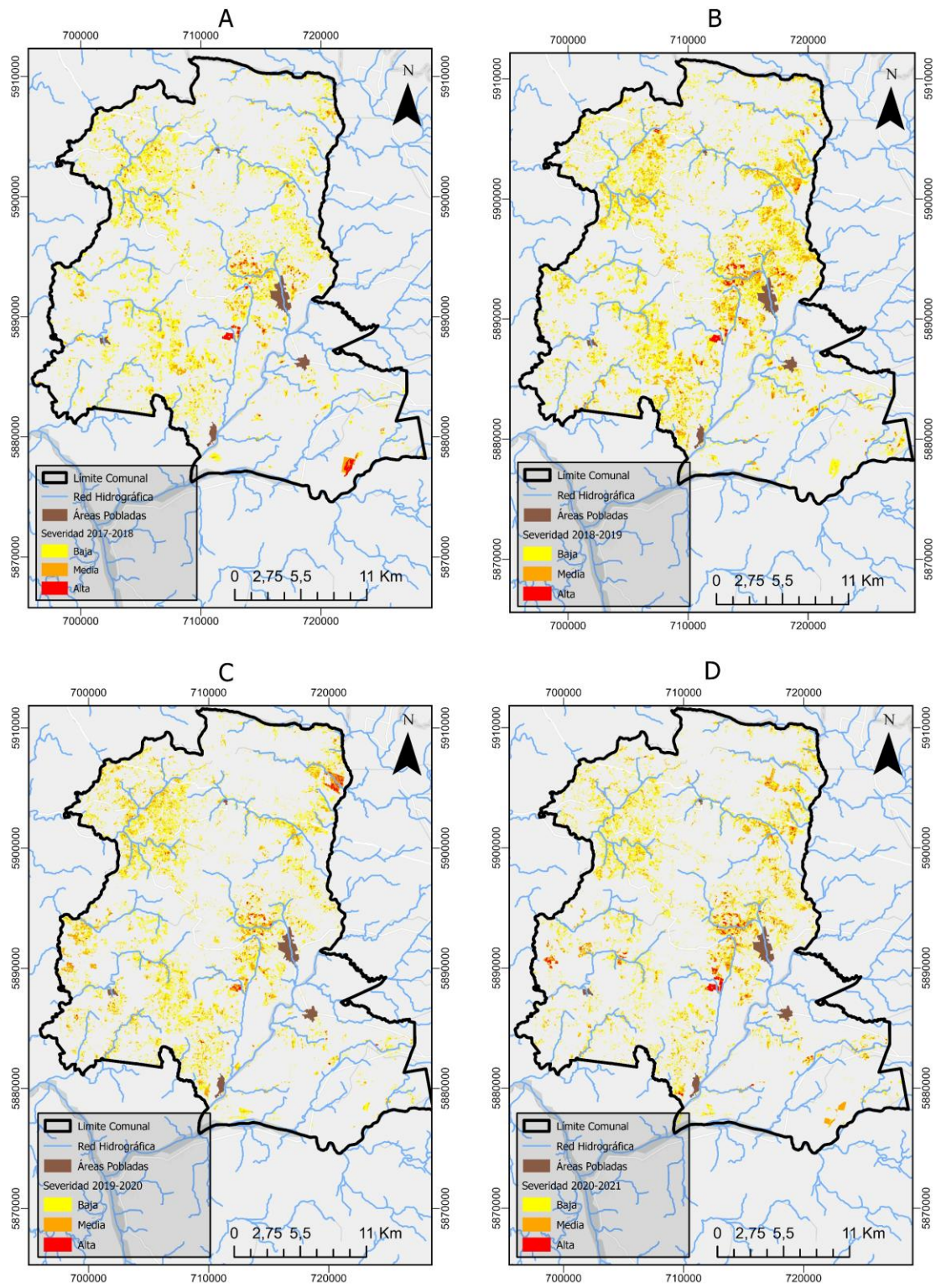
Figura 20. Severidad de los incendios forestales periodos 2013-2014 a 2016-2017.



Fuente: Elaboración propia.

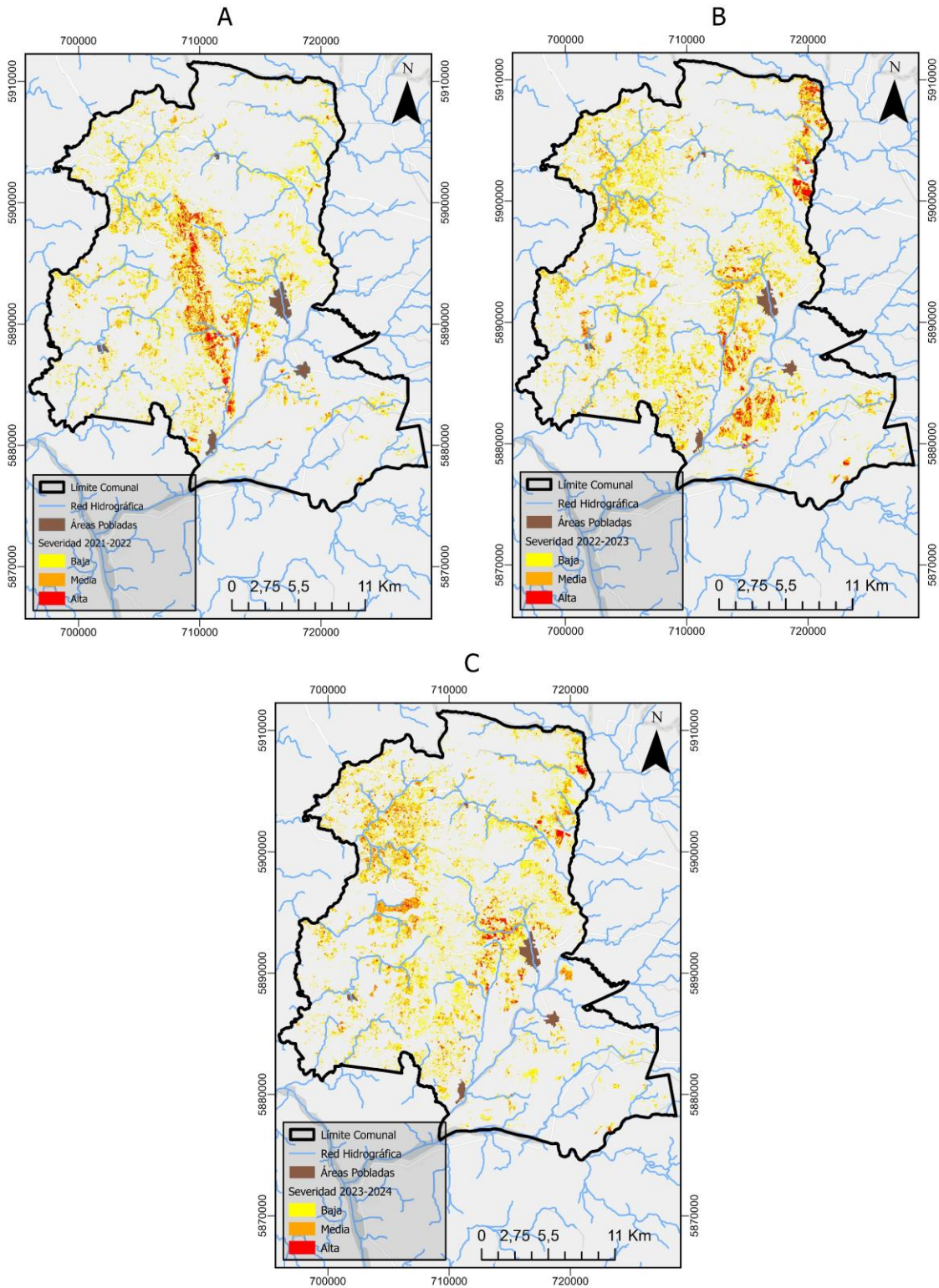


Figura 21. Severidad de los incendios forestales periodos 2017-2018 a 2020-2021.



Fuente: Elaboración propia

Figura 22. Severidad de los incendios forestales periodos 2021-2022 a 2023-2024.



Fuente. Elaboración propia.



5.2.1 Análisis temporal de la severidad de las áreas afectadas año a año

2013–2014 (Figura N°20 A).

En este periodo se observa la ocurrencia de focos de severidad alta principalmente en el sector sur y poniente de la comuna. El resto del territorio afectado presenta severidad baja y media, reflejando incendios localizados y de una menor magnitud espacial.

2014-2015 (Figura N°20 B).

Los eventos se concentraron en la zona centro y sur poniente de la comuna , con un patrón de severidad mayormente baja y moderada. Se identifican áreas aisladas de severidad alta, aunque de extensión acotada, lo que puede indicar impactos puntuales en sectores de plantaciones forestales.

2015-2016 (Figura N°20 C).

Durante esta temporada se evidencia una menor superficie afectada en comparación con los años anteriores. Predomina la severidad baja, distribuida de forma dispersa a lo largo del territorio comunal, lo que indica que los incendios registrados tuvieron un alcance más limitado, de igual manera se identifican algunos núcleos de severidad media cercanos al área poblada de Río Claro, por último, no se identifican áreas extensas de severidad alta, sugiriendo incendios de menor intensidad y cobertura.

2016-2017 (Figura N°20 D).

En este periodo se registra un aumento de incendios, con la presencia de áreas de severidad alta concentradas principalmente en dos sectores, por un lado, en el norte de la comuna, en el límite con Quillón y en la zona sur poniente de Yumbel, donde se identifican focos aislados, pero de intensidad significativa. A pesar de estos focos la mayor parte de la superficie impactada de la comuna corresponde a severidad baja y media, Este patrón evidencia que, aunque el daño más severo se concentró



en áreas específicas, los incendios mantuvieron una recurrencia en distintos puntos del territorio, afectando principalmente cobertura forestal.

2017–2018 (Figura N°21 A).

Durante esta temporada se observa la aparición de focos de severidad alta en sectores específicos del suroriente de la comuna, asociados principalmente a áreas de plantaciones forestales. En contraste, la superficie restante se caracteriza por una predominancia de severidad baja y moderada, distribuida de forma fragmentada en distintos puntos de Yumbel.

2018-2019 (Figura N°21 B).

En esta temporada predomina la severidad baja, distribuida de manera general en gran parte del territorio. Se identifican algunos sectores con severidad media en áreas cercanas a la zona poblada comunal, aunque de extensión acotada. No obstante, destacan dos focos de severidad alta, uno localizado en el sector norte, próximo al área urbana de Yumbel, y otro en el sector surponiente. Estos puntos reflejan incendios más intensos en áreas específicas, aunque en términos generales la magnitud de la afectación fue menor en comparación con temporadas críticas previas.

2019-2020 (Figura N°21 C).

Para este periodo existió una disminución de severidades altas, dejando principalmente superficies con severidad baja. De igual forma se observan superficies con severidad media, al norte del área poblada comunal y en las cercanías de Rere, con respecto a las áreas de severidad alta estas se presentan de manera muy puntual.

2020-2021(Figura N°21 D).

En este periodo los incendios se concentran principalmente en severidad baja y media, distribuidas en el territorio comunal. No obstante, se identifican nuevamente áreas de severidad alta en el sector norte y en la zona poniente de Yumbel (a las



afueras de la zona urbana de la comuna y en las cercanías de Río Claro), lo que refleja la persistencia de focos de mayor intensidad en puntos específicos.

2021-2022 (Figura N°22 A).

Este periodo se caracteriza por la ocurrencia de incendios de gran magnitud, destacando una extensa cicatriz de severidad media y alta que comenzó en las cercanías de Río Claro y atravesó longitudinalmente el área urbana principal de la comuna. Este patrón evidencia la magnitud del evento, conformando un corredor continuo que afectó tanto a plantaciones forestales, como sectores agrícolas. La intensidad y localización de este incendio lo convierten en uno de los más relevantes de la última década para Yumbel.

2022-2023 (Figura N°22 B).

En esta temporada los incendios se concentran principalmente en el sector nororiente de la comuna, donde se identifican áreas de severidad media y alta en el límite con las comunas de Cabrero y Quillón. Estas zonas representan los focos de mayor impacto del periodo. En contraste, la zona central y sur presentan incendios más acotados, con predominio de severidad baja y algunos sectores de media severidad.

2023-2024 (Figura N°22 C).

En esta última temporada estudiada los incendios presentan una distribución más dispersa en la comuna, predominando la severidad baja en gran parte del territorio. No obstante, se identifican focos de severidad media y alta que marcan puntos de mayor impacto, hacia el norte, próximo al límite con Quillón, se concentra una de las áreas más relevantes. Además, por el suroeste se registran focos cercanos al área poblada de Río Claro y otro en la zona noroeste, en las cercanías de Tomeco.



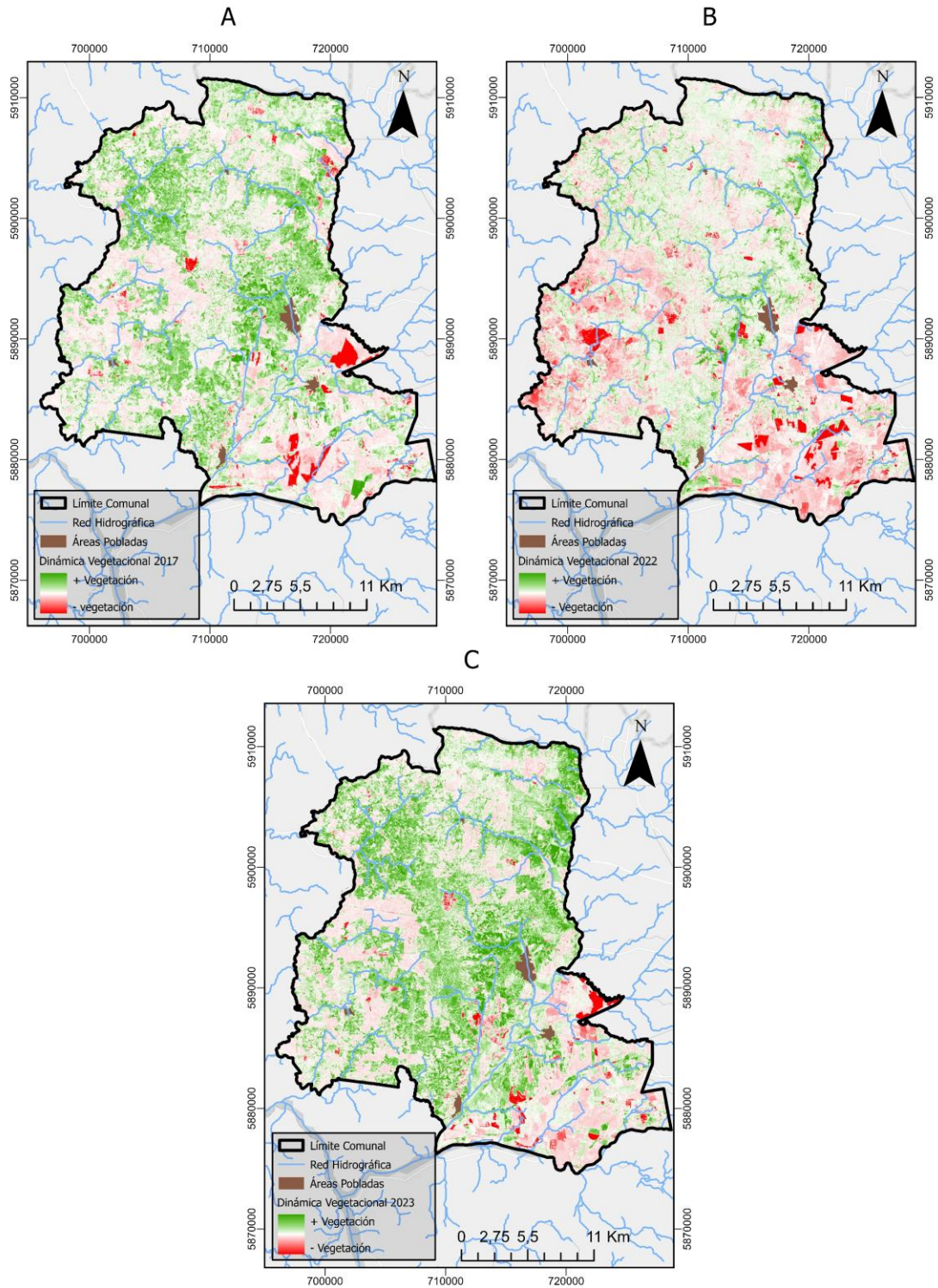
5.3 Evolución de las áreas quemadas en la comuna de Yumbel en los años 2017, 2022 y 2023

El análisis multitemporal de las áreas quemadas en la comuna de Yumbel revela una dinámica compleja de transformación del paisaje, caracterizada por la alternancia entre fases de alta afectación y procesos de regeneración parcial.

Las cartografías elaboradas para los tres periodos permiten reconocer la persistencia de focos críticos en sectores como Río Claro, Tomeco y en el límite con la comuna de Quillón, donde la recurrencia de incendios ha limitado la recuperación de la cobertura vegetal.

En el primer ciclo (2016-2017) se observa una pérdida de vegetación concentrada en el sector sur y poniente comunal, donde los incendios de alta magnitud dejaron extensas áreas con baja cobertura vegetal y recuperación limitada. Hacia el segundo periodo (2021-2022), la cartografía muestra un patrón de afectación más disperso, con nuevas zonas de pérdida en el entorno urbano-rural de Yumbel y Río Claro, así como en el límite suroriente, evidenciando la reactivación del fuego sobre sectores previamente regenerados. Finalmente, durante la temporada 2022-2023, se aprecia una mejora relativa en la cobertura vegetal, con predominio de tonalidades verdes que reflejan procesos de regeneración activa, aunque persisten focos de degradación en el nororiente y suroeste comunal.

Figura 23. Mapas de Salud de la Vegetación – post incendios forestales para los años 2017, 2022 y 2023.



Fuente. Elaboración Propia.



5.3.1 Análisis anual de las Áreas Recuperadas

2017 (Figura N°23 A).

Se observa una pérdida de vegetación concentrada en el sector sur y sureste de la comuna, donde los incendios de alta magnitud dejaron extensas áreas con baja cobertura vegetal y recuperación limitada. Este periodo marca uno de los eventos más significativos de la década, con amplias superficies afectadas que evidencian la intensidad del fuego y su impacto prolongado sobre la estructura del paisaje, con zonas que para noviembre no poseían nada de vegetación (zonas de color rojo).

2022: (Figura N°23 B).

La cartografía muestra un patrón de afectación más disperso, con nuevas zonas de pérdida en el entorno urbano-rural de Yumbel y Río Claro, así como para el sureste de la comuna. Este escenario da cuenta de la reactivación del fuego en sectores previamente regenerados, configurando un patrón espacial heterogéneo donde conviven áreas de recuperación moderada con otras de deterioro reciente, Si bien durante este periodo se evidencian cambios positivos en la vegetación, con sectores que muestran claros signos de regeneración, persisten múltiples manchas rojas que representan áreas sin cobertura vegetal o con pérdida significativa de vegetación.

2023: (Figura N°23 C).

Para esta fecha se aprecia una mejora relativa en la cobertura vegetal, con predominio de tonalidades verdes que reflejan procesos de regeneración activa. No obstante, persisten focos de degradación en el suroeste comunal, lo que confirma la existencia de sectores recurrentemente afectados por incendios y una recuperación desigual del paisaje a escala local.



5.4 Experiencias locales y políticas públicas en la recuperación de las zonas afectadas por incendios forestales de la comuna de Yumbel

El análisis de las entrevistas realizadas a actores clave de la comuna de Yumbel permite identificar percepciones, experiencias y evaluaciones sobre las acciones de recuperación post incendio, así como el rol de las políticas públicas y la comunidad en estos procesos. A continuación, se presenta una síntesis de los hallazgos realizados mediante las entrevistas semiestructuradas.

5.4.1 Percepción Comunitaria

Los residentes de Yumbel presentan una percepción mayoritariamente crítica respecto a la existencia de planes formales de recuperación post-incendio. De las 7 personas entrevistadas, 5 (71%) desconocen o no identifican programas específicos. Por ejemplo, Juan Cabezas señala:

“Cada uno arregla su cerco... no es que haya una reunión para ver cómo podemos abordar el tema”. Solo los vecinos Cecilia Cárdenas y Pablo Cifuentes mencionan ayudas puntuales, como la entrega de casas o canastas familiares, pero sin una planificación visible a largo plazo.

Respecto a la coordinación interinstitucional, si bien se valora la respuesta inmediata durante las emergencias de bomberos y CONAF, existe consenso en que la fase de recuperación carece de articulación. El vecino Vicente Carmona comenta:

“En la respuesta existe buena coordinación, pero en la recuperación desconozco”.

Esta percepción se repite en 6 de los 7 entrevistados (86%), quienes enfatizan la falta de una estrategia integrada post-evento.

El rol de la comunidad es descrito como reactivo y fragmentado. Aunque se reconoce la solidaridad vecinal durante las emergencias, la participación en la planificación y recuperación es limitada. Diego Taiba lo resume así:



“Es un apoyo del momento, no consistente en el tiempo”. La falta de organización comunitaria post-incendio es una constante en los relatos a este punto también agregaron que llegan familiares a ayudar en las emergencias pero que al fin y al cabo terminan estorbando.”

En cuanto a medidas para evitar las emergencias , los vecinos coinciden en la importancia de la limpieza de terrenos, la poda de vegetación y la creación de cortafuegos todo esto ligado a la materia de prevención. Bárbara Contreras afirma:

“Los cortafuegos y una limpieza de los sitios de cada uno ayudan bastante a prevenir grandes incendios ”

Sin embargo, critican la falta de educación y fiscalización para implementar estas medidas de manera sistemática.

Finalmente, los sectores identificados como recurrentes coinciden con los hallazgos del análisis satelital: Río Claro, Tomeco, Cerro San Cristóbal, La Chicharra y Las Nieves son mencionados reiteradamente como zonas de alta recurrencia de incendios.

5.4.2 Operativo-respuesta

Los entrevistados del ámbito operativo (bomberos y CONAF) coinciden en que no existen planes formales de recuperación post-incendio desde el ámbito público. Patricio Sepúlveda (Bombero) afirma:

“No tengo conocimiento de ningún tipo de programa y que cuando un bosque se quema, lo dejan 3 meses y después vuelven a plantar pino o eucaliptus”.

La excepción la menciona Robinson Cuevas quien señala que CONAF realiza reforestación en zonas de valor forestal, pero no así en áreas de pequeños propietarios.



La coordinación interinstitucional es evaluada como mejorable. Si bien se reconoce un avance en los últimos años, persisten descoordinaciones en terreno. Nicolás Quijón (Bombero) indica:

“Bomberos como institución estamos un poquito desconectados con CONAF”.

Maximiliano Quijón (CONAF), en cambio, valora la mejora en la coordinación, aunque destaca que el trabajo conjunto se da principalmente en la respuesta y no en la recuperación.

El rol de la comunidad es visto como fundamental en la emergencia, pero con potencial de mejora en la prevención. Los bomberos destacan el apoyo logístico y la disposición de los vecinos durante los incendios, pero critican la falta de prevención en sus propios terrenos. Robinson Cuevas señala:

“La gente espera hasta el último momento... no toman conciencia”.

Entre las medidas más mencionadas para evitar los incendios destacan la educación, las charlas comunitarias y la creación de cortafuegos (prevención). Maximiliano Quijón (CONAF) es enfático:

“Cortafuego, cortafuego, cortafuego... te puede salvar un pueblo entero”.

Los sectores recurrentes identificados por ellos son similares a los mencionados en el punto anterior: Río Claro, Tomeco, Paso Hondo, Nahuelcura y Vega Blanca.

5.4.3 Institucional

Desde el ámbito municipal, se reconoce la existencia de acciones específicas post-incendio, aunque se admite que no forman parte de un plan integral. Mabel (jefa del SECPLAN) menciona la compra de maquinaria para despejar caminos, pero esto fue posterior al gran incendio que hubo en 2023 (Figura 24), entrega de estanques y proyectos de infraestructura, pero aclara:

“Ha sido una acción correctiva, no preventiva”.



Oscar Melo (jefe de DIDECO) destaca la ayuda a agricultores a través de INDAP y PRODESAL, aunque aclara que son fondos ministeriales y no municipales.

La coordinación interinstitucional es valorada positivamente, especialmente a través de los COGRID (Comités de Gestión de Riesgo y Desastres). Oscar Melo explica:

“El COGRID es una institucionalización de una reunión ante una emergencia”.

No obstante, se reconoce que esta coordinación es más efectiva en la respuesta que en la recuperación. El rol de la comunidad es descrito como demandante pero poco colaborativo. Mabel señala:

“Tenemos una comunidad un tanto demandante que poco colabora”.

Se critica la expectativa de que la municipalidad resuelva todos los problemas, sin una corresponsabilidad en la prevención.

Figura 24. Solicitud de transparencia.

- Con relación a lo solicitado se informa que a través de la Secretaría Comunal de Planificación se tramitaron los siguientes proyectos relacionados con la materia:
 - (febrero 2023) HABILITACIÓN CAMINOS Y LIMPIEZA ESPACIOS PÚBLICOS LOCALIDADES RURALES CANCHILLAS Y OTROS, COMUNA DE YUMBEL (\$67.379.442)
 - (febrero 2023) HABILITACIÓN CAMINOS Y LIMPIEZA ESPACIOS PÚBLICOS LOCALIDADES RURALES LA CHICHARRA Y OTROS, COMUNA DE YUMBEL (\$62.790.231)
 - (febrero 2023) HABILITACIÓN CAMINOS Y LIMPIEZA ESPACIOS PÚBLICOS LOCALIDADES RURALES SAN CRISTÓBAL Y OTROS, COMUNA DE YUMBEL (\$57.641.839)

Fuente. Elaboración propia en base a datos solicitados en el portal transparencia.

Entre las medidas de prevención el personal municipal enfatiza la gestión comunitaria y la autoprotección. Mabel Méndez (SECPLAN) no habla de limpieza de terrenos en general, sino de una estrategia más focalizada: "La comunidad...

debería tener un rol más activo y ahí es labor de nosotros también incorporarlo". Propone replicar las experiencias exitosas de algunos sectores, como la entrega de herramientas y la formación de brigadas vecinales, aunque reconoce la limitante de los recursos. La idea central es empoderar a las juntas de vecinos para que sean el primer eslabón en la prevención.

Respecto a los sectores recurrentes, la información municipal no añade localidades nuevas de manera consistente. Mabel, de hecho, expresa cierto desconocimiento operativo detallado, mencionando de manera genérica: "el último fue en Río Claro... en la zona de San Cristóbal, en Canchilla", pero sin proporcionar un análisis territorial específico de patrones de recurrencia, lo que refuerza la impresión de una falta de sistematización de esta data a nivel local.

Para complementar el análisis cualitativo, se construyó una nube de palabras que sintetiza visualmente los términos más recurrentes utilizados por los actores locales durante las entrevistas semiestructuradas (Figura 25).

Figura 25. Nube de palabras.



Fuente. Elaboración propia.



El análisis de las entrevistas revela una coincidencia generalizada en la percepción de que no existe un plan integral de recuperación post-incendio en Yumbel. Si bien se reconocen acciones puntuales de ayuda, ya sea social, reforestación y reparación de infraestructura, estas son vistas como fragmentadas y reactivas. La coordinación interinstitucional es valorada en la fase de emergencia, pero débil en la recuperación. El rol de la comunidad es fundamental en la respuesta inmediata, pero con escasa participación en la planificación y prevención. Finalmente, la identificación de sectores recurrentes es consistente entre todos los actores, Río Claro, Tomeco y el Cerro San Cristóbal.

6 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

6.1 Síntesis de los hallazgos principales

El análisis multitemporal permitió identificar dos periodos críticos en la dinámica incendiaria de la comuna de Yumbel (2016–2017 y 2021–2022). Ambos episodios se caracterizan por incendios de gran magnitud que marcaron cambios sustantivos en la cobertura vegetal y en la estructura del paisaje. En ambos casos, la extensión de las áreas afectadas no se tradujo necesariamente en una mayor severidad ecológica, lo que confirma que la magnitud superficial del fuego no siempre refleja la intensidad de sus impactos. Esto es debido a que la severidad del fuego depende no solo del tamaño del área quemada, sino también de factores como la intensidad térmica del evento, el tipo de combustible vegetal, la humedad del suelo y la duración de la combustión.

Explicado de otra forma, algunos incendios de gran extensión en Yumbel presentaron valores de dNBR moderados o bajos, lo que indica una afectación superficial sin pérdida total de cobertura vegetal. En cambio, se registraron focos de menor tamaño con severidad alta, especialmente en sectores como Tomeco o Río Claro donde el fuego penetró con mayor profundidad y generó una alteración significativa en la estructura del ecosistema.



Los resultados confirman la recurrencia espacial de los incendios en sectores como Tomeco, Río Claro, Rere y Yumbel Estación, configurando zonas históricamente vulnerables. Este patrón persistente evidencia la existencia de condiciones que favorecen la propagación del fuego como los son los cerros, cárcavas, zonas con muy poco acceso, sumadas a una limitada capacidad de gestión preventiva y restauradora a nivel local.

Las cartografías de NBR, dNBR y NDVI revelan una alta concentración de cicatrices en ciertos periodos (2016–2017 y 2021–2022), seguidas de fases de menor afectación, pero con persistencia de focos pequeños y dispersos. Este comportamiento evidencia que el paisaje de Yumbel presenta un patrón heterogéneo de regeneración y degradación, donde las áreas de severidad alta tienden a coincidir con plantaciones forestales de pino y eucalipto, mientras que los focos más dispersos se localizan en zonas de interfaz urbano-rural o de pastizal bajo.

6.2 Factores explicativos

En el plano climático, la recurrencia de sequías prolongadas, el aumento de las olas de calor y la alta variabilidad del clima mediterráneo semiárido constituyen condiciones propicias para la propagación del fuego. Estos factores, asociados al cambio climático, amplifican los efectos de los periodos secos y reducen la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas.

Desde la dimensión antrópica, el modelo forestal predominante basado en monocultivos de especies exóticas genera un paisaje homogéneo, inflamable y con escasa capacidad de retención hídrica y una degradación constante del suelo. La expansión agrícola y el crecimiento urbano-rural sin planificación han incrementado las superficies expuestas al riesgo, intensificando la interacción entre comunidades y áreas forestales.

En el plano institucional, los resultados evidencian debilidades estructurales en la prevención, coordinación interinstitucional y restauración post incendio. La falta de un ordenamiento territorial actualizado y programas de restauración de vegetación



limita la recuperación del paisaje y perpetúa prácticas de corto plazo centradas en la reforestación con monocultivos.

6.3 Análisis de políticas públicas y gestión local

El rol de CONAF en la gestión post incendio ha estado mayormente orientado a la reposición productiva, más que a la restauración ecológica. Si bien existen marcos normativos y organismos dedicados a la gestión del riesgo, su implementación regional y local presenta brechas, coordinación interinstitucional y financiamiento.

En este contexto, la Ley N°21.364 (2021), que crea el Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres (SENAPRED) y este establece un sistema nacional de gestión del riesgo de desastres, constituye un avance importante al integrar la prevención, respuesta y recuperación frente a eventos extremos, incluyendo los incendios forestales. No obstante, su aplicación efectiva en la escala comunal es limitada.

En la práctica, la ley promueve un enfoque de gestión integral del riesgo, pero no se ha traducido en una planificación territorial coherente con la dinámica de incendios forestales, especialmente en comunas con una recurrencia constante como Yumbel. La falta de conexión entre el marco nacional y los instrumentos locales de ordenamiento territorial como los Planes Reguladores y los Planes de Desarrollo Comunal (PLADECO) impide anticipar escenarios de riesgo definir zonas de interfaz urbano-forestal y establecer medidas preventivas efectivas. Así, los incendios forestales continúan siendo abordados principalmente como emergencias de respuesta inmediata, más que como un fenómeno estructural vinculado al modelo de uso del suelo, cambio climático y la acción humana directa, ya sea por negligencia, quema de desechos o intencionalidad delictiva

Por otro lado, la capacidad municipal continúa siendo limitada, tanto en recursos humanos como financieros, lo que restringe su rol en prevención, manejo de emergencias y procesos de restauración post incendio. A la vez, se observan iniciativas locales informales brigadas comunitarias, juntas de vecinos y prácticas de autoprotección y de prevención fortalecidas por bomberos y carabineros que



constituyen un capital social relevante y podrían potenciarse como complemento de la acción estatal.

7. CONCLUSIONES

El análisis de los procesos de recuperación del paisaje post incendios forestales en la comuna de Yumbel permitió evidenciar la complejidad ambiental, social e institucional que caracteriza este fenómeno, así como la necesidad de abordarlo desde una perspectiva que supere la lógica reactiva existente. La integración de herramientas de teledetección con información cualitativa proveniente de las entrevistas posibilitó una comprensión más amplia de la dinámica territorial posterior al fuego, reconociendo tanto los avances como las persistentes brechas en la gestión locales.

En primer lugar, la cartografía de las áreas afectadas entre 2013 y 2024 mostró una alta recurrencia espacial de los incendios, con focos concentrados en torno a las zonas rurales y de interfaz urbano-forestal. Este patrón de reiteración evidencia la existencia de territorios muy expuestos, donde la presión de uso del suelo y la expansión de las plantaciones forestales constituyen factores estructurales de riesgo. El registro acumulado de más de 23 mil hectáreas afectadas en la última década confirma que los incendios no son eventos aislados, sino parte de un régimen de fuego que se ha consolidado en el paisaje comunal.

En segundo término, la evaluación de la severidad a través del índice dNBR reveló una alta diversidad en la magnitud del daño, destacando zonas con impactos severos donde la regeneración natural resulta limitada. La persistencia de sectores con severidad media a alta coincide con áreas de uso forestal intensivo y suelos degradados. Estos hallazgos confirman la utilidad de la teledetección como herramienta de monitoreo territorial, aportando información objetiva para la planificación ambiental y la gestión del riesgo.

En cuanto a la evolución temporal de la vegetación, los análisis multitemporales de NDVI demostraron que, si bien existen sectores donde la cobertura vegetal ha



mostrado signos de recuperación positiva, esta no es estable. Los periodos 2016–2017, 2021–2022 y 2022–2023 evidenciaron que la recuperación se ve interrumpida por nuevos eventos de fuego, configurando una imagen dinámica de pérdida y regeneración. Ello sugiere que, en el contexto de Yumbel, el paisaje depende tanto de las condiciones biofísicas como de la frecuencia de recurrencia del fuego y las prácticas de manejo post-incendio.

Desde el ámbito social e institucional, los resultados de las entrevistas y encuestas mostraron que la recuperación del territorio ha carecido de una coordinación sostenida entre actores públicos, privados y comunitarios. La respuesta institucional se ha centrado principalmente en la emergencia y no en la planificación a largo plazo, limitando la efectividad de las acciones posteriores al fuego. Asimismo, las comunidades locales manifiestan una sensación de desprotección y escasa participación en las decisiones sobre restauración, lo que revela una débil articulación entre las políticas nacionales y las realidades locales.

Por último, experiencias locales recopiladas evidencian prácticas espontáneas de recuperación como la reforestación, la regeneración natural asistida o el manejo de residuos forestales que surgen ante la falta de apoyo institucional. Estas iniciativas, aunque de pequeña escala, reflejan la capacidad adaptativa y el conocimiento territorial de las personas, y destacan el potencial de integrar estos saberes en estrategias formales de restauración. La incorporación de la dimensión social en la gestión post-incendio emerge, por tanto, como un requisito esencial para avanzar hacia modelos de recuperación.

En términos de políticas públicas, el estudio permitió constatar una brecha significativa entre los lineamientos nacionales de restauración del paisaje y su aplicación efectiva en el nivel comunal. Si bien existen instrumentos como la Política Forestal 2015–2035 o el Plan Nacional de Restauración de Paisajes, estos no se han traducido en acciones concretas ni en mecanismos de financiamiento estables para municipios con alta recurrencia de incendios como Yumbel.



Para finalizar, el estudio constata que en Yumbel la recuperación post-incendio ha operado de manera fragmentada y reactiva, sin lograr revertir la degradación paisajística ni reducir la exposición al riesgo. La evidencia cartográfica y las voces locales convergen en un diagnóstico claro, La inexistencia de una planificación estratégica y articulada consolida un paisaje frágil y propenso a nuevos eventos.

7.1 Limitaciones del estudio

La investigación presenta una serie de limitaciones que deben ser consideradas al momento de interpretar sus resultados y conclusiones. En primer lugar, la resolución espacial de los satélites utilizados constituye un factor relevante. Landsat 8, con 30 metros, y Sentinel-2, con 10 metros, permiten realizar un análisis multiescalar adecuado, pero no alcanzan la precisión necesaria para detectar afectaciones en superficies reducidas, áreas de borde o sectores de alta fragmentación, como la interfaz urbano-rural. En este mismo punto, las condiciones atmosféricas y la calidad de las imágenes influyeron en el procesamiento. Si bien se aplicaron máscaras para eliminar nubes y píxeles “no confiables”, la presencia de humo o nubosidad pudo alterar la reflectancia y, en consecuencia, introducir variaciones en los valores de los índices espectrales calculados (NDVI, NBR y dNBR).

Otra limitación corresponde a la temporalidad de las imágenes. El análisis se estructuró en ventanas pre y post incendio (noviembre y abril), pero la disponibilidad de imágenes libres de nubes no siempre coincidió exactamente con la ocurrencia de los eventos, lo que puede haber generado desfases temporales en la caracterización de la severidad y la recuperación del paisaje.

Asimismo, la clasificación de severidad del dNBR se realizó con base en umbrales internacionales aceptados, pero adaptados a las condiciones locales de Yumbel. Este ajuste, aunque necesario para mejorar la precisión del análisis, introduce cierto grado de subjetividad y limita la comparación directa con estudios de otras regiones.

En relación con la información complementaria, se debe señalar que los datos oficiales sobre daños en viviendas, infraestructura y acciones de recuperación no



se encuentran sistematizados a escala comunal. Esto restringió la posibilidad de integrar plenamente la dimensión socio-institucional con los resultados del análisis satelital.

En el análisis de la evolución de las áreas quemadas (2017, 2022 y 2023), se identificó una limitación relacionada con la interpretación de los polígonos clasificados como zonas de pérdida de vegetación. Si bien el color rojo en la cartografía representa disminución de cobertura vegetal, no todas estas áreas corresponden necesariamente a daño por incendios forestales. En varios sectores, especialmente dentro de zonas de manejo forestal, la pérdida detectada se asocia a procesos de tala o de plantaciones, lo que puede generar una sobreestimación parcial de la superficie afectada por fuego.

La implementación de las entrevistas semiestructuradas presentó varias limitaciones que afectan la representatividad y solidez de los hallazgos. En primer lugar, el tamaño muestral fue reducido, si bien se concentró en los lugares de mayor afectación, la participación estuvo condicionada por la disponibilidad y disposición de los encuestados, lo que pudo generar diferencias en la percepción, especialmente en la evaluación de la respuesta institucional o la valoración de la restauración de la vegetación. A este punto se suma la posible falta de conocimiento técnico de algunos participantes, lo que pudo afectar la interpretación de sus respuestas.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Álvarez Huerta, V., & Frêne Conget, C. (2024). Regulación de incendios forestales en Chile: Críticas y propuestas desde la perspectiva comparada y la ecología forestal. *Revista de Derecho Ambiental*, 2(22), 19–60. <https://doi.org/10.5354/0719-4633.2024.74750>
2. Astola, H., Häme, T., Sirro, L., Molinier, M., & Kilpi, J. (2019). Comparison of Sentinel-2 and Landsat 8 imagery for forest variable prediction in boreal region. *Remote Sensing of Environment*, *223*, 257–273. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.01.019>



3. Atlas de riesgos climáticos (2025 Incendios en Plantaciones Forestales de https://arclim.mma.gob.cl/atlas/view/incendios_plantaciones_forestales/
4. Barraza, J. (2023, enero 30). Análisis (CR)2 | Riesgo de incendios forestales: factores asociados. <https://www.cr2.cl/analisis-cr2-riesgo-de-incendios-forestales-factores-asociados/>
5. Benavides, N. (2021). *Análisis de la severidad del incendio forestal suscitado en la Granja Porcón, a través de imágenes Sentinel-2–periodo 2019 2021*. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/91567/Benavides_ANM-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
6. Capador Aguilar, Y. E. ., González Angarita , G. P., & Suarez Daza, P. A. (2021). Análisis de la cobertura vegetal en incendios forestales mediante índices espectrales: caso de estudio Cerros Orientales (Bogotá, Colombia). <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.6931>
7. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2). (2020). Incendios forestales en Chile: Causas, impactos y resiliencia. Universidad de Chile. <https://www.cr2.cl/wp-content/uploads/2020/01/Informe-CR2IncendiosforestalesenChile.pdf>
8. CIT-UAI. (2024, febrero 3). Condiciones para incendios forestales. CIT UAI; Centro de Inteligencia Territorial CIT - UAI / Design.Lab Universidad Adolfo Ibáñez. <https://cit.uai.cl/condiciones-para-incendios-forestales/>
9. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (s.f.). Guía práctica para comunicadores: Incendios forestales. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/10/236Guía%20práctica%20para%20comunicadores%20-%20Incendios%20Forestales.pdf>
10. Corporación Nacional Forestal (CONAF). (2015). Política Forestal 2015–2035. https://oficinavirtual.conaf.cl/recursos/videos/Politica_Forestal_2015-2035.pdf
11. Corporación Nacional Forestal (CONAF). (s.f.). Estadísticas históricas. <https://www.conaf.cl/centro-documentals/estadisticas-historicas/>
12. Díaz-Hormazábal, Ignacio, & González, Mauro E. (2016). Análisis espacio-temporal de incendios forestales en la región del Maule, Chile. Bosque



- (Valdivia), 37(1), 147-158. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002016000100014>
13. Duane, A., Castellnou, M. y Brotons, L. (2021). Hacia una visión integral de los factores globales que impulsan nuevos incendios forestales extremos. *Cambio Climático* 165, 43. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03066-4>
14. EOS Data Analytics. (2025). Bandas Landsat 8: Combinaciones en color, resolución y usos. <https://eos.com/es/blog/bandas-landsat-8/>
15. El País. (2025, enero 12). Sunset Boulevard: la gran arteria de Los Ángeles que ardió hasta sus cimientos. <https://elpais.com/us/2025-01-12/sunset-boulevard-la-gran-arteria-de-los-angeles-que-ardio-hasta-sus-cimientos.html>
16. Fernández, I. C., Becerra, P. I., Arellano, E. C., & Morales, N. S. (2021). Gestión para restauración de ecosistemas nativos afectados por incendios forestales: Una tarea pendiente. En A. Camaño (Ed.), *Restauración de bosques: Lecciones y desafíos en un mundo cambiante* (pp. 17–28). Editorial Universitaria. <https://www.researchgate.net/publication/357634107>
17. Feldmann, Fabio José, & Biderman Furriela, Rachel. (2001). LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS GLOBALES Y EL DESAFÍO DE LA CIUDADANÍA PLANETARIA. *Acta bioethica*, 7(2), 287-292. <https://dx.doi.org/10.4067/S1726-569X2001000200010>
18. Forestales, I. (s/f). PREPÁRATE CON SENAPRED. Gob.cl. (2023) https://bibliogrd.senapred.gob.cl/bitstream/handle/2012/1712/07_diptico_Incendio_forestal_2023_SENAPRED.pdf?sequence=3
19. García Rivas, E., Morales Calderón, C., & Benedetti Ruiz, S. (2020). Sistematización de una experiencia participativa de recuperación y restauración de territorios afectados por incendios forestales: Localidad de San Antonio de Cuda, comuna de Florida, Región del Biobío. <https://agroforesteria.infor.cl/index.php/documentacion/publicaciones/125-sistematizacion-de-una-experiencia-participativa-de-recuperacion-y-restauracion-de-territorios-afectados-por-incendios-forestales-localidad-de-san-antonio-de-cuda-comuna-de-florida-region-del-biobio>
20. Generalitat Valenciana. (s.f.). *Sentinel-2*. Institut Cartogràfic Valencià. <https://icv.gva.es/es/sentinel-2>



21. Gobernador Abbott Proporciona Actualización Sobre Los Recursos Estatales Y La Respuesta Continua A Los Incendios Forestales De Texas. (s/f). Texas.gov. de <https://gov.texas.gov/es/news/post/governor-abbott-provides-update-on-state-resources-ongoing-response-to-texas-wildfires>
22. Gobierno de Chile. (2024, febrero 4). Presidente Boric anuncia plan de recuperación y ayudas tempranas: Bonos para familias afectadas. <https://www.gob.cl/noticias/presidente-boric-anuncia-plan-recuperacion-ayudas-tempranas-bonos-familias-afectadas/#:~:text=Ampliación%20del%20período%20para%20declarar,de%20donaciones%20en%20zonas%20afectadas>
23. Gobierno Regional del Biobío. (2024). Recursos naturales y paisaje: Comuna de Yumbel. https://www.sitrural.cl/wp-content/uploads/2024/09/Yumbel_rec_nat.pdf
24. Gob.cl (2024). Plan de Reconstrucción Incendios. https://www.desarrollosocialyfamilia.gob.cl/storage/docs/Plan_Reconstruccion_030424.pdf
25. Gómez-González, S., Torres-Díaz, C., Valencia, G., Torres-Mellado, G., Cavieres, L. A., & Pausas, J. G. (2011). Diferencias en la respuesta a fuego de plántulas de especies chilenas entre condiciones de sol y sombra. Bosque, 32(3), 219–225. <https://www.scielo.cl/pdf/bosque/v32n3/art02.pdf>
26. Gonzalez-Mathiesen, C., March, A., & Yunis-Richter, F. (2024). Integrando la gestión del riesgo de los incendios forestales y la planificación territorial: Una Reseña del contexto histórico de Chile. Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres REDER, 8(2), 68. <https://doi.org/10.55467/reder.v8i2.158>
27. Google for Developers. (s. f.). Landsat 8 datasets in earth engine. Google Earth Engine. <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/landsat-8>
28. Igini, M. (2024, julio 31). Top 13 largest wildfires in history. Earth.org. https://earth.org/largest-wildfires-in-history/?utm_source



29. Ilustre Municipalidad de Yumbel. (2021). Plan de Desarrollo Comunal (PLADECO) Yumbel 2021–2028. <https://yumbel.cl/wp-content/uploads/2024/03/PLADECO-2021.pdf>
30. Índice Normalizado de Área Quemada (NBR). (s/f). Un-spider.org. <https://un-spider.org/es/node/10959>
31. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021). Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463908272>
32. Instituto Nacional de Estadísticas (INE). (s/f). Resultados Censo 2002. Recuperado de <https://regiones.ine.cl/biobio/estadisticas-regionales/sociales/censos-de-poblacion-y-vivienda/censo-de-poblacion-y-vivienda>
33. Instituto Nacional de Estadísticas (INE). (s.f.). Censo de Población y Vivienda: Región del Biobío. <https://regiones.ine.cl/biobio/estadisticas-regionales/sociales/censos-de-poblacion-y-vivienda/censo-de-poblacion-y-vivienda>
34. Instituto Nacional de Estadísticas (INE). (s.f.). Resultados Censo 2017: Región del Biobío. <http://resultados.censo2017.cl/Region?R=R08>
35. Instituto Nacional de Estadísticas (INE). (2024). Resultados Censo de Población y Vivienda 2024. <https://censo2024.ine.gob.cl/resultados/>
36. Jaksic, Fabian M, & Fariña, José M. (2015). Incendios, sucesión y restauración ecológica en contexto. Anales del Instituto de la Patagonia, 43(1), 23-34. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-686X2015000100003>
37. León, Vicuña, Gil, González-Mathiesen (2023), espúes de la emergencia: claves para una recuperación sostenible en zonas afectadas por incendios en la interfaz urbano-forestal, <https://www.cigiden.cl/despues-de-la-emergencia-claves-para-una-recuperacion-sostenible-en-zonas-afectadas-por-incendios-en-la-interfaz-urbano-forestal/>
38. Martínez, Bonet, Inzunza, Guerrero, Román, Acevedo, Araya. (2024). Incendios 02 y 03 de febrero De 2024, Viña Del Mar (Región de Valparaíso). En (pp. 79): CIGIDEN. <https://wildfirex.cl/wp->



- content/uploads/2024/02/Reporte-incendios-Vina-del-Mar-2024_version-1_14.02.2024_compressed.pdf
39. Ministerio de Desarrollo Social y Familia. (2024). Plan de Reconstrucción. https://www.desarrollosocialyfamilia.gob.cl/storage/docs/Plan_reconstruccion.pdf
40. Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2021). Plan Nacional de Restauración de Paisajes 2021–2030. <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/11/Plan-Nacional-de-Restauracion-de-Paisajes-2021-2030.pdf>
41. Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (s.f.). ¿Qué es el cambio climático? Gobierno de Chile. <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/que-es-el-cambio-climatico/>
42. Morawitz, D. F., Blewett, T. M., Cohen, A., & Alberti, M. (2006). Using NDVI to assess vegetative land cover change in central Puget Sound. *Environmental Monitoring and Assessment*, *114*(1-3), 85–106. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-1679-z>
43. Moscovich, F. A., Ivandic, F., & Besold, L. (2014). Manual de combate de incendios forestales y manejo de fuego. https://www.produccion-animal.com.ar/incendios_y_uso_del_fuego/65-Manual.pdf
44. Municipalidad de Yumbel. (2024). Plan de Desarrollo Comunal PLADECO 2020–2025. https://yumbel.cl/wp-content/uploads/2024/04/PLADECO-2020-2025_web.pdf
45. Naciones Unidas. (s.f.). ¿Qué es el cambio climático? <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change>
46. NASA. (2023). Los efectos del cambio climático. NASA Ciencia. <https://ciencia.nasa.gov/cambio-climatico/los-efectos-del-cambio-climatico/>
47. Navarrete, C., Cid, B., Henríquez, J. C., & Valenzuela, R. (2024). Riesgo de incendios forestales y planificación territorial: Lecciones desde Chile. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 24(6), 1521–1537. <https://doi.org/10.5194/nhess-24-1521-2024>
48. Olea E., P. (2017). Determinación del índice de severidad de zonas quemadas en áreas afectadas por los incendios forestales de enero y febrero



- de 2017 en la zona centro-sur de Chile [Informe interno]. Servicio Nacional de Geología y Minería. <https://catalogobiblioteca.sernageomin.cl/Archivos/15310.pdf>
49. Organización Meteorológica Mundial. (2024, marzo 12). Adaptación al cambio climático. <https://wmo.int/es/site/frontline-of-climate-action/climate-change-adaptation> Perilla Gabriel Alejandro, & Mas Jean-François. (2020). Google Earth Engine (GEE): una poderosa herramienta que vincula el potencial de los datos masivos y la eficacia del procesamiento en la nube. <https://doi.org/10.14350/rig.59929>
50. Pino, F. (2014). Desastres naturales, cambio climático y resiliencia: Hacia una redefinición del derecho a la ciudad. *Revista de Derecho Administrativo*, (63), 189–214. <https://www.scielo.cl/pdf/rda/n63/0719-2681-rda-63-189.pdf>
51. Pinto, C. (2009). El concepto de paisaje y su aplicación en el planeamiento territorial y ambiental. *Biblio3W. Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, 14(855). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4854191>
52. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV). (2024). *Mega-Incendio Valparaíso Febrero 2024: Informe técnico para tomadores de decisiones*. Instituto de Geografía – Laboratorio de Geoinformación y Percepción: https://www.pucv.cl/uuaa/site/docs/20240209/20240209151003/incendio_valpo_2024_v01.pdf
53. ¿Por qué se producen los incendios forestales? (2024, diciembre 5). Euroinnova International Online Education. <https://www.euroinnova.com/blog/por-que-se-producen-los-incendios-forestales>
54. Resiliencia territorial: restauran bosques de Biobío dañados por la tormenta de fuego en 2017 (2020). <https://www.infor.cl/index.php/noticias/652-resiliencia-territorial-restauran-bosques-de-biobio-danados-por-la-tormenta-de-fuego-en-2017>
55. Riquelme Peña, M. C. (2023). Propuesta metodológica para la identificación de servicios ecosistémicos desde una perspectiva sociocultural en el Parque Nacional Nonguén [Tesis de pregrado, Universidad de Concepción]. Repositorio UdeC. <https://repositorio.udec.cl/server/api/core/bitstreams/02c36235-557b-4aff-9b31-2e9eecfbbeb5e/content>



56. Resumen de ocurrencia y daño por comuna, 1985 - 2024*. (2024, mayo 28). CONAF. <https://www.conaf.cl/centro-documental/resumen-de-ocurrencia-y-dano-por-comuna-1985-2023/>
57. Saavedra, J. (2024). Presentación CONAF sobre restauración y cooperación internacional [Presentación en PowerPoint]. Ministerio del Medio Ambiente. <https://acuerdochilecanada.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2024/12/2.-PPT-Jorge-Saavedra-CONAF.pdf>
58. Sarricolea, P., Serrano-Notivoli, R., Fuentealba, M., Hernández-Mora, M., de la Barrera, F., Smith, P., & Meseguer-Ruiz, Ó. (2020). Recent wildfires in Central Chile: Detecting links between burned areas and population exposure in the wildland urban interface. *The Science of the Total Environment*, *706*(135894), 135894. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135894>
59. Sentinel-2 datasets in earth engine*. (s/f). Google for Developers. <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/sentinel-2>
60. Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres (SENAPRED). (s.f.). Incendios forestales. <https://web.senapred.cl/incendios-forestales/>
61. Servicio Nacional de Satélites, Datos e Información Ambiental. (enero 2025). NOAA satellites monitor raging wildfires in California. <https://www.nesdis.noaa.gov/news/noaa-satellites-monitor-raging-wildfires-california>
62. TELESUR (2017). <https://www.el19digital.com/articulos/ver/titulo:62762-gobierno-de-portugal-brindara-ayuda-a-victimas-de-incendios>
63. Úbeda, X., & Francos, M. (2018). Incendios forestales, un fenómeno global. *Biblio3W Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*. <https://doi.org/10.1344/b3w.0.2018.26826>
64. Valdez-Zavala, K. M., Bravo Peña, L. C., & Manzo Delgado, L. L. (2019). Áreas quemadas y cambio de uso del suelo en el suroeste de Chihuahua (México) durante el periodo 2013-2017: Identificación con el índice Normalized Burn Ratio (NBR). *Acta universitaria*, 29, 1–15. <https://doi.org/10.15174/au.2019.2418>



65. Viegas, D. X. (2018). Wildfires in Portugal. Fire research
<https://doi.org/10.4081/fire.2018.52>

9 Anexos

Anexo 9.1 Preguntas de las entrevistas

1. ¿conoce si existen planes o programas formales de recuperación post-incendios implementados en la comuna de Yumbel, en los últimos años, Si su respuesta es sí, ¿cuáles?).
2. ¿Cómo evalúa el nivel de coordinación entre las distintas instituciones (municipio, ¿Bomberos, CONAF, SENAPRED, etc.) en la respuesta y recuperación post-incendios?
3. ¿Qué rol ha tenido la comunidad local en los procesos de las emergencias, planificación y recuperación?
4. Conoce si la comuna ha ejecutado acciones específicas tras los incendios (infraestructura, reforestación, apoyo social, etc. Si su respuesta es sí, ¿cuáles?).
5. En base a su experiencia, ¿qué medida simple y concreta (que no dependa de grandes recursos) cree que sería más efectiva para prevenir daños graves por un futuro incendio en su comunidad o terreno.
6. Desde su experiencia en el combate directo de incendios O su vivir con las emergencias, ¿podrías identificar patrones de comportamiento del fuego o zonas dentro de la comuna que considere recurrente a estos incendios?

Anexo 9.2 Entrevistas Transcritas

- [https://drive.google.com/drive/folders/1sZrONQ3YrWnJA1DJl-CGv9QLBJ7YyG0d?usp=drive link](https://drive.google.com/drive/folders/1sZrONQ3YrWnJA1DJl-CGv9QLBJ7YyG0d?usp=drive_link)