



Universidad de Concepción
Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía
Departamento de Geografía

**ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SOCIOAMBIENTAL
FRENTE A INCENDIOS FORESTALES EN LA SUBCUENCA DEL
ESTERO BELLAVISTA. REGIÓN DEL BIOBÍO. CHILE**

Trabajo final para optar al grado de
Magíster en Análisis Geográfico

Por: Juan Fuentealba Zúñiga
Profesora Guía: Dra. Edilia Jaque Castillo

Concepción, junio 2024

AGRADECIMIENTOS

A través de este espacio, quiero agradecer a quienes de distintas maneras contribuyeron a finalizar esta etapa. A la Dra. Edilia Jaque, por su confianza, apoyo y guía en el desarrollo de este trabajo. A mi familia, lugar donde la palabra incondicional cobra sentido. A Yenifer, mi compañera y apoyo en este viaje.

ÍNDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN	11
1.1	Planteamiento del problema	13
1.2	Objetivos.....	16
1.2.1	Objetivo general	16
1.2.2	Objetivos específicos	16
2	MARCO DE REFERENCIA.....	17
2.1	Riesgos socionaturales.....	17
2.2	Vulnerabilidad	22
2.3	Incendios forestales.....	27
2.4	Cambio climático	30
3	METODOLOGÍA.....	32
3.1	Área de estudio.....	33
3.2	Índice de Amenaza a Incendios Forestales (IAIF)	36
3.3	Índice de Vulnerabilidad Social (IVS).....	40
3.4	Índice de Vulnerabilidad Socioambiental (IVSA).....	44
4	RESULTADOS	46
4.1	Variables del Índice de Amenaza a Incendios Forestales (IAIF).....	46
4.2	Variables del Índice de Vulnerabilidad Social (IVS)	56

4.3	Índice de Amenaza a Incendios Forestales (IAIF) de la subcuenca del estero Bellavista	66
4.4	Índice de Vulnerabilidad Social (IVS) de la subcuenca del estero Bellavista	67
4.5	Índice de vulnerabilidad socioambiental (IVSA) de la subcuenca del estero Bellavista	69
5	DISCUSIÓN	72
6	ALCANCES Y LIMITACIONES	75
7	CONCLUSIONES.....	77
8	REFERENCIAS.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Modelo de presión y liberación	24
Figura 2: Modelo de vulnerabilidad de lugar, modificado de Cutter, 1996.	26
Figura 3: Incendios por temporada 1985 - 2022	29
Figura 4: Superficie afectada por incendios forestales 1985 - 2022	29
Figura 5: Número de temperaturas extrema y tendencia futura.....	31
Figura 6: Área de estudio, subcuenca del Estero Bellavista	34
Figura 7: Mapa de Distritos censales, subcuenca del Estero Bellavista.	35
Figura 8: Mapa de factor de insolación reclasificado	47
Figura 9: Mapa de factor de altitud reclasificado.....	48
Figura 10: Índice de Vegetación Normalizada (NDVI) e Índice de Infrarrojo Normalizado (NDII) reclasificados.....	49
Figura 11: Mapa de factor de inflamabilidad reclasificado	50
Figura 12: Mapa de coberturas de suelo año 2023.....	52
Figura 13: Mapa de coberturas de suelo reclasificado.....	53
Figura 14: Renoval de eucalipto afectado por incendios de febrero 2023	54
Figura 15: Mapa de Redes de transporte e infraestructura eléctrica	55
Figura 16: Mapa de Factor antrópico reclasificado	56
Figura 17: Mapa de Nivel socioeconómico	57
Figura 18: Mapa de Población por grupo de edad	58
Figura 19: Mapa de población en Registro Nacional de Discapacidad (RND) .	59
Figura 20: Mapa de escolaridad de la población.....	60

Figura 21: Mapa de niveles de Población indígena	62
Figura 22: Mapa de zonificación urbana - rural.....	63
Figura 23: Mapa de materialidad de la vivienda.....	64
Figura 24: Mapa de zonas con Planes de prevención	65
Figura 25: Mapa del Índice Amenaza de Incendios Forestales - IAIF.....	67
Figura 26: Mapa del Índice de Vulnerabilidad Social - IVS	68
Figura 27: Mapa del Índice de vulnerabilidad socioambiental - IVSA	69
Figura 28: IVSA por distrito censal.....	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Población y superficie por distrito censal	36
Tabla 2: Variables utilizadas para medir la amenaza a incendios forestales	37
Tabla 3: Clasificación de variable Redes	38
Tabla 4: Clasificación de coberturas de suelo.....	39
Tabla 5: Reclasificación de variables utilizadas para medir la amenaza a incendios forestales	39
Tabla 6: Variables utilizadas para medir la vulnerabilidad social	41
Tabla 7: Reclasificación de variables utilizadas para medir la vulnerabilidad social	42
Tabla 8: Valor de reclasificación de coberturas de suelo	51
Tabla 9: Superficie de IVSA por distrito censal	71

RESUMEN

En la última década, Chile se ha visto afectado por una serie de eventos de incendios forestales, que han impactado particularmente a las regiones entre Valparaíso y Araucanía. Estos incendios afectan una superficie promedio por temporada de 52.000 ha, generando desastres de altas proporciones en las zonas de interfaces urbanas, como fue el caso de mega incendio de Santa Ana en 2023 y el incendio de Viña del mar en febrero de 2024.

Esta situación deja en evidencia una alta necesidad de estudiar las zonas de interfaces urbana forestal desde la dimensión del riesgo frente a incendios forestales. Por ello, este trabajo, destaca un enfoque socioambiental del riesgo de incendio forestal, enfocándose en el análisis de la vulnerabilidad socioambiental por medio de los Índices de Amenaza Física (IAIF) y el Índice de Vulnerabilidad Social (IVS) en la subcuenca del estero Bellavista, región del Biobío, Chile.

Los resultados para la subcuenca del estero Bellavista muestran que el índice de Vulnerabilidad Socioambiental (IVSA) es bajo en un 20,8%, medio en un 50,1% y alto en un 29,1% de su superficie. Se identificó que los distritos Chamizales, Coroney y Los Varones corresponden a los distritos con mayor superficie de espacios susceptibles a incendios forestales y los niveles más altos de vulnerabilidad social. Por último, se concluye que por medio del IVSA fue posible operativizar el concepto de vulnerabilidad socioambiental. A su vez, el uso de indicadores espaciales, permite el monitoreo y seguimiento de las condiciones de vulnerabilidad socioambiental en un entorno dinámico, tanto en condiciones de amenaza como de vulnerabilidad, y la relevancia de su comprensión en zonas propensas a incendios forestales.

Palabras claves: Incendios Forestales, Amenaza, Vulnerabilidad socioambiental, Subcuenca del estero Bellavista.

ABSTRACT

In the last decade, Chile has been affected by a series of forest fire events, which have particularly impacted the regions between Valparaíso and Araucanía. These fires affect an average area per season of 52,000 ha, generating disasters of high proportions in urban interface areas, as was the case of the Santa Ana mega fire in 2023 and the Viña del Mar fire in February 2024.

This situation reveals a high need to study the forest-urban interface zones from the dimension of risk against forest fires. Therefore, this work highlights a socio-environmental approach to forest fire risk, focusing on the analysis of socio-environmental vulnerability through the Physical Threat Indices (IAIF) and the Social Vulnerability Index (IVS) in the Bellavista estuary sub-basin, Biobío region, Chile.

The results for the Bellavista estuary subbasin show that the IVSA is low in 20.8%, medium in 50.1% and high in 29.1% of its surface. It was identified that the Chamizales, Coroney and Los Varones districts correspond to the districts with the largest area of spaces susceptible to forest fires and the highest levels of social vulnerability. Finally, it is concluded that through the IVSA it was possible to operationalize the concept of socio-environmental vulnerability. In turn, the use of spatial indicators allows the monitoring and tracking of socio-environmental vulnerability conditions in a dynamic environment, both in conditions of threat and

vulnerability, and the relevance of their understanding in areas prone to forest fires.

Keywords: Wildfires, Socio-Environmental Vulnerability, Threat, Bellavista estuary sub-basin.

1 INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales representan una amenaza significativa para el medio ambiente y las comunidades cercanas a las plantaciones forestales (Garay Moena, R. et al. 2021). Los impactos de los incendios pueden ser devastadores en la biodiversidad, los ecosistemas, la calidad del aire y salud de las personas que vivan en el área afectada. Durante las últimas dos décadas, se observa una tendencia al aumento de incendios forestales (CONAF, 2022), impulsada por el cambio climático.

En este escenario, Chile es un país altamente vulnerable, donde estudios recientes muestran una tendencia a la disminución de las precipitaciones y aumento de la temperatura para zona centro sur del país, así como un aumento en la frecuencia de eventos extremos como sequías y olas de calor que propician incendios en plantaciones forestales (MMA, 2022).

En la actualidad, se advierte un aumento en frecuencia y superficie de los denominados incendios de gran magnitud, lo que trae como resultados importante daños y pérdidas a la infraestructura, el medio ambiente y la vida humana, además de implicar importantes costos para extinguirlos (González et al., 2020; Ciocca et al., 2023).

El presente trabajo, tiene por objetivo aportar a la comprensión riesgo de incendios forestales considerando, tanto la dimensión física y como la dimensión

social del riesgo, mediante un enfoque de vulnerabilidad para el análisis de la vulnerabilidad socioambiental frente a incendios forestales en la subcuenca del estero Bellavista, Región del Biobío, Chile.

Para alcanzar el objetivo de este estudio, se calculó el índice de vulnerabilidad socioambiental, de acuerdo a la propuesta metodológica desarrollada por Almeida (2010), que integra las dimensiones de amenaza de incendios forestales y de la vulnerabilidad social.

El análisis de la amenaza consideró factores biofísicos: insolación, altitud, vegetación, cobertura de suelo y variables antrópicas que influyen en la ocurrencia de incendios forestales (Chuvieco *et al.*, 2004). El análisis de la vulnerabilidad consideró los factores: nivel socioeconómico, grupo de edad, persona con algún grado de discapacidad, educación, raza-etnia, zonificación urbana/rural, materialidad de la vivienda, planes de prevención (adaptado de Almeida, 2010).

De esta forma, este trabajo busca aportar al conocimiento, categorización y jerarquización de la vulnerabilidad socioambiental, generando insumos para la gestión del riesgo de desastre y disminución de la vulnerabilidad frente a incendios forestales en la subcuenca del estero Bellavista.

1.1 Planteamiento del problema

Chile es un país que cada año se ve fuertemente afectado por incendios forestales. De acuerdo a CONAF¹ desde 1985 a la temporada estival 2021 - 2022 han ocurrido 225.360 incendios forestales de diversas magnitudes, que van desde incendios pequeños a mega incendios, como los que afectaron a Valparaíso en abril de 2014 y a 5 regiones en 2017, afectando una superficie aproximada de 5,299.74 km² (De la Barrera *et al.*, 2018). Las estadísticas de CONAF, indican que la concentración de eventos ocurre principalmente de octubre a marzo, y alcanza la mayor concentración de eventos en los meses de enero y febrero.

Los incendios de gran dimensión tienen importantes efectos, tanto sociales como ambientales, pudiendo provocar importantes pérdidas de fauna y flora silvestre como ocurrió con el incendio ocurrido en el Parque Nacional Torres del Paine (2011 - 2012) o los incendios ocurridos en la reserva nacional Malleco y Tolhuaca en los años 2002 y 2015. Por su parte, el área Metropolitana de Concepción, es un claro ejemplo de los efectos adversos de los incendios forestales producto de los patrones de reemplazo de cobertura natural por plantaciones forestales, la expansión urbana, así como también los conflictos socioambientales asociados a la propiedad forestal (Jaque *et al.*, 2021).

¹ Corporación Nacional Forestal. Ministerio de Agricultura. Gobierno de Chile.

Por otra parte, los incendios representan una fuerte amenaza para la seguridad de las personas y la infraestructura necesaria para el bienestar social (Alfaro, 2021). Se estimó que para la temporada 2018 - 2019, se utilizaron cerca de USD 80 millones (González *et al.*, 2020) sólo en combate contra el fuego, generando con ello, además, un impacto económico a gran escala. Recientemente, el mega incendio que afectó a la región de Valparaíso en febrero de 2024 afectó una superficie de 8.651 Ha. y dejó más de 5.300 damnificados (SENAPRED², 2024), que debido a sus características geográficas y la vulnerabilidad asociada a las formas de ocupación, en especial el fuerte incremento de las formas de ocupación irregulares, la precariedad de las viviendas así como la falta de vías de evacuación configuraron la tragedia que ha sido categorizado como uno de los desastres más grandes del país en los últimos 30 años (CIGIDEN, 2024³).

La amenaza de incendios se puede definir como el resultado de los factores y variables que condicionan la ignición, la propagación y la dificultad de respuesta para controlar el fuego y los daños asociados (Chuvieco *et al.*, 2014). En este sentido, diversos estudios han utilizado técnicas asociadas a la teledetección y geoprocesamiento para aproximarse a la comprensión y modelación de variables que influyen en el comportamiento de los incendios forestales y que permiten

² <https://web.senapred.cl/resumen-nacional-de-incendios-forestales-70/>

³ Centro de Investigación para la Gestión Integrada del Riesgo de Desastres. <https://www.cigiden.cl/informe-de-danos-evento-incendios-02-y-03-de-febrero-de-2024-vina-del-mar-region-de-valparaiso/>

apoyar el manejo y prevención de las catástrofes asociadas a estos eventos (Martel, 2015).

Por lo tanto, este estudio busca aportar a la comprensión de la vulnerabilidad socioambiental a incendios forestales en la subcuenca del estero Bellavista, la cual se caracteriza por un importante desarrollo urbano en su curso inferior y la mantención de un uso predominantemente forestal en su zona media y alta. (Figura 12). En los últimos años esta subcuenca, se ha visto afectada por eventos de incendios forestales, incluyendo los incendios forestales del verano 2023 que afectaron más de un tercio de la superficie de la subcuenca del estero Bellavista⁴, afectando principalmente a la población vulnerable del sector rural de la comuna de Tomé (Municipalidad de Tomé, 2023).

⁴ De acuerdo a análisis desarrollado por Oficina Urbano Social de la Dirección de Obras Municipales (DOM), Municipalidad de Tomé, 2023.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Analizar la vulnerabilidad socioambiental (IVSA) frente a incendios forestales en la subcuenca del estero Bellavista. Región del Biobío. Chile.

1.2.2 Objetivos específicos

- Cartografiar la amenaza de incendios forestales en la subcuenca del estero Bellavista.
- Evaluar la vulnerabilidad social a incendios forestales en la subcuenca del estero Bellavista.

2 MARCO DE REFERENCIA

El presente trabajo de investigación analiza la vulnerabilidad socioambiental frente a incendios forestales en subcuenca del estero Bellavista. En primer lugar, es necesario indicar que el concepto de vulnerabilidad se ha definido desde perspectivas diversas como la antropología, la sociología, la ecología política, las geociencias y la ingeniería partir de diversos elementos, por lo que, para efectos de este trabajo, se desarrolló un marco teórico basado en la vulnerabilidad y su aplicación en el análisis de riesgos naturales.

Para abordar el análisis de caso de estudio en la subcuenca del Estero Bellavista, se utilizará el denominado “enfoque de la vulnerabilidad” o enfoque alternativo, que considera en su conceptualización la construcción social de los riesgos, entendida como el resultado de los modelos de desarrollo y los procesos de transformación económica y social de un territorio (Lavell, 2004). Este enfoque nace como respuesta al cambio de paradigma que enfrenta la insuficiencia analítica de los enfoques derivados del estructural-funcionalismo anglosajón en el análisis de riesgos naturales (García, 2005).

2.1 Riesgos siconaturales

El concepto de riesgo siconatural surge junto con el avance en el desarrollo conceptual entorno al riesgo, la prevención y la mitigación de desastres en relación a los importantes eventos ocurridos en la década de los noventa

(destacando entre ellos el huracán Mitch, 1998). Se fundamenta en la relación entre la sociedad y el medio natural, en donde ocurren los fenómenos naturales peligrosos o amenazas. Reconoce al riesgo como una construcción social derivada de los modelos de desarrollo y de los procesos de transformación económica y social (Lavell, 2004).

Dentro de este enfoque, se entiende el riesgo como un proceso que surge de la relación entre el medio y las actividades humanas, donde la interacción depende de las características del fenómeno natural, en términos de intensidad, magnitud, duración y extensión espacial, así como de las características de los asentamientos humanos y de su capacidad de respuesta a dicho fenómeno, determinada, en gran parte, por la percepción social del problema (Douglas, 1996).

Sin embargo, y pese al amplio uso que se dio a los conceptos de desastre, riesgo, amenaza y vulnerabilidad entre la década de los ochenta y los dos mil, en múltiples oportunidades estas se utilizaron como sinónimo, sin considerar su amplitud y significado (Olcina y Ayala-Carcedo, 2002).

Asimismo, en algunos casos la definición de estos conceptos resultó ser incluso contradictoria (Rojas y Martínez, 2011). A nivel metodológico, la vulnerabilidad se abordaba en función de la resistencia de los componentes estructurales por parte de una comunidad o lugar, como respuesta al impacto de las amenazas naturales (Wisner, 2004; Davis, 2004 en Tapia 2015).

La década de los noventa, corresponde al auge de los trabajos sobre peligrosidad natural y riesgos con el llamado cambio de paradigma. Comenzó a cobrar relevancia la importancia de los peligros antrópicos, los cuales pasaron a tener una importancia similar al peligro natural (Aneas, 2000). El desastre producido por el huracán Mitch en 1998 devastó a América Central, y con mayor fuerza a Honduras y Nicaragua, abrió paso a la discusión en relación a los enfoques clásicos asociados a la administración en la gestión del desastre.

El desastre pasó a ser el concepto fundamental y se centran los esfuerzos en la comprensión del fenómeno natural. En este contexto, se valoraba el rol de las autoridades en la capacidad reactiva frente a los eventos naturales de características extraordinarias. Se presentaba el desastre dentro de un ciclo con partes claramente definidas y que les corresponden acciones específicas en sus fases; antes, durante y después, en relación a la ocurrencia del evento (Narváez, L., Lavell, A., Pérez, G., 2009).

Antes del inicio de la década del 2000, se considera como superado el modelo la visión de desastres naturales entendidos sólo desde la perspectiva de la amenaza. Aunque estos trabajos continúan con fuerza, en gran medida, por el desconocimiento general por parte de la población en relación a los fenómenos naturales. Desde la Economía Política, los desastres naturales son identificados desde la interacción del hombre con el medio, realzando los costos asociados al desastre. Desde esta mirada, se advierte cómo los desastres tienen un

componente importante en el habitar de las sociedades, vinculado a factores económicos, sociales y culturales de la población (Jordan y Sabatini, 1998). Por otra parte, se reconoce que no es coincidencia que los países en desarrollo sean quienes sufran desastres naturales con mayor frecuencia que los países desarrollados, en gran medida como resultado de los desequilibrios económicos y sociales que produce la presión del capital internacional sobre las comunidades y los recursos naturales.

En América Latina los trabajos realizados por La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina y la Oficina de Desarrollo Urbano para América del Sur (Campos – Vargas et al., 2014), aportaron importantes reflexiones teóricas entorno a la comprensión y definición conceptual de los riesgos socionatural y a su comprensión como elemento intrínseco de la sociedad con características dinámicas con un enfoque local en materia de políticas de planificación en los estudios de prevención de riesgos de desastre. Destacan en este ámbito los trabajos realizados por Wilches Chaux (1993), García (1995), Lavell (1996), Cardona (2001).

La Conferencia Mundial sobre la Reducción de los Desastres realizada el año 2005 en Kobe, Hyogo (Japón), propuso un enfoque centrado en la reducción de la vulnerabilidad ante las amenazas y los riesgos que estas conllevan, poniendo de realce la necesidad de aumentar la resiliencia de las naciones y la comunidad ante los desastres, tanto a nivel bilateral, regional e internacional. En dicha

ocasión, se remarcó que las pérdidas que los desastres causan van en aumento, afectando principalmente a los más pobres, debido a su alta vulnerabilidad, malas políticas de urbanización, degradación ambiental y a las variaciones climáticas de los últimos años (ONU, 2005). Desde esta perspectiva propone un enfoque que priorice la prevención y la reducción del riesgo por sobre la respuesta posterior a la ocurrencia de un desastre.

De este modo, la evolución del concepto de riesgo socionatural, en concordancia a lo planteado por Barrales (2017), el entendimiento del riesgo ante desastres naturales avanzó desde el análisis de la amenaza, hacia la concepción de la vulnerabilidad socionatural de territorios y comunidades, que frente a determinadas amenazas naturales se ven expuestos a desastres socionaturales. Aproximándose con este enfoque, a la comprensión de los riesgos desde el conocimiento de los problemas sociales, y como éstos van configurando el riesgo y la probabilidad de que una comunidad sufra un desastre socionatural.

En este sentido, diversos estudios han concluido la correlación existente entre condiciones de marginalidad y altos niveles de riesgo, de forma tal que los sectores más desprotegidos de la población, son a la vez los más expuestos a este tipo de riesgos. Poniendo de manifiesto, que las personas no estarían en situación de riesgo por accidente, por el contrario, estarían expuestas por debido a un conjunto complejo de causas y presiones asociadas a variables de tipo económicas, sociales, culturales o políticas que conforman la situación de

vulnerabilidad de un grupo social. Esta situación se ve acrecentada en áreas metropolitanas donde, producto de la falta de planificación acorde a su escala, se generan procesos espaciales complejos como la segregación urbana, gentrificación, así como espacios permeables o zonas de interfaces, presionadas por la actividad forestal creando situaciones de riesgo constante ante incendios forestales (Jaque *et al.*, 2019).

2.2 Vulnerabilidad

Para abordar el análisis de caso de estudio en la subcuenca del Estero Bellavista, se utilizará el denominado “enfoque de la vulnerabilidad” o enfoque alternativo, que considera en su conceptualización la construcción social de los riesgos, entendida como el resultado de los modelos de desarrollo y los procesos de transformación económica y social de un territorio (Lavell, 2004). Este enfoque nace como respuesta al cambio de paradigma que enfrenta la insuficiencia analítica de los enfoques derivados del estructural-funcionalismo anglosajón en el análisis de riesgos naturales (García, 2005).

La vulnerabilidad puede entenderse como aquellas condiciones determinadas de los grupos sociales a los impactos de las amenazas, así como su resiliencia, o capacidad de recuperarse adecuadamente de la ocurrencia de un fenómeno peligroso (Cutter *et al.*, 2008). Puede estar influenciada por diversos factores o

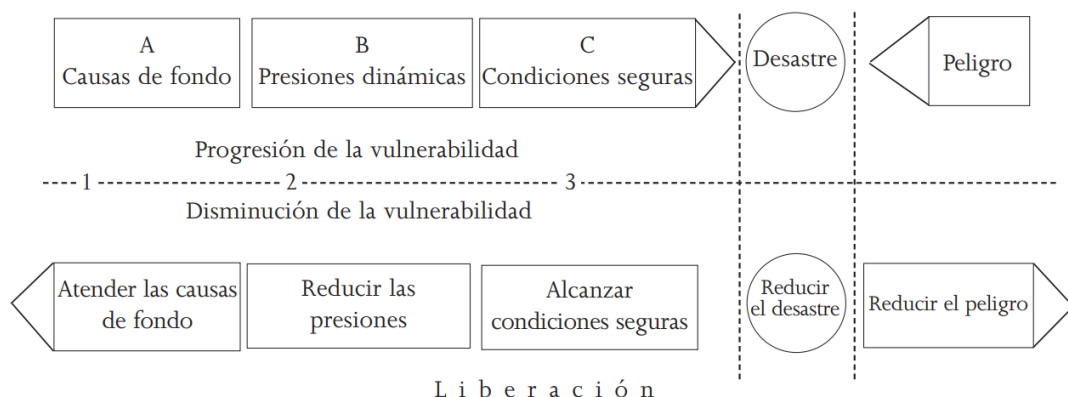
procesos físicos, sociales, institucionales, económicos y/o ambientales que aumentan la susceptibilidad de una persona, una comunidad, los bienes, infraestructuras o servicios o los sistemas a los efectos de las amenazas (Política Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastre, 2020).

El concepto de vulnerabilidad, al igual que el de riesgo, indica una situación o estado futuro. De acuerdo a Blaikie (1994), se basa en la idea de que los desastres naturales son el resultado de la interacción entre la presión ejercida por el medio ambiente y las condiciones sociales que hacen a las personas más vulnerables a los riesgos. Según este modelo (Figura 2), los desastres naturales no son eventos aislados, más bien, es el resultado de procesos sociales y políticos que crean y perpetúan la vulnerabilidad de las personas.

En este sentido, el modelo de presión y liberación destaca la importancia de abordar los factores sociales y políticos que contribuyen a la vulnerabilidad de las personas, en lugar de centrarse únicamente en los factores ambientales. Este modelo ha sido aplicado en diferentes contextos y ha demostrado ser útil para entender la relación entre los riesgos naturales y la vulnerabilidad social en diferentes regiones del mundo.

El análisis de la vulnerabilidad implica conocer las características de un grupo o comunidad en cuanto a su capacidad para anticipar, sobrevivir, resistir y recuperarse del impacto de una amenaza o peligro natural (Blaikie *et al.*, 1994).

Figura 1: Modelo de presión y liberación



Fuente: Ruiz, 2011 (Modificado de Blaikie *et al.*, 1994).

Ruiz (2011), señala que, si bien la vulnerabilidad ha sido explorada desde diversos campos del conocimiento, como la antropología, sociología, ingeniería, geociencias, entre otros, y por lo mismo, no existe una definición clara respecto al concepto, es posible identificar elementos en común dentro de sus múltiples aproximaciones:

- Es definida siempre en función de algún tipo de amenaza, ya sea física como terremotos, inundaciones o amenazas antropogénicas, como contaminación o accidentes.
- La unidad de análisis (individuo, hogar, comunidad) es definida como vulnerable ante una amenaza específica, o es vulnerable a una situación de pérdida.

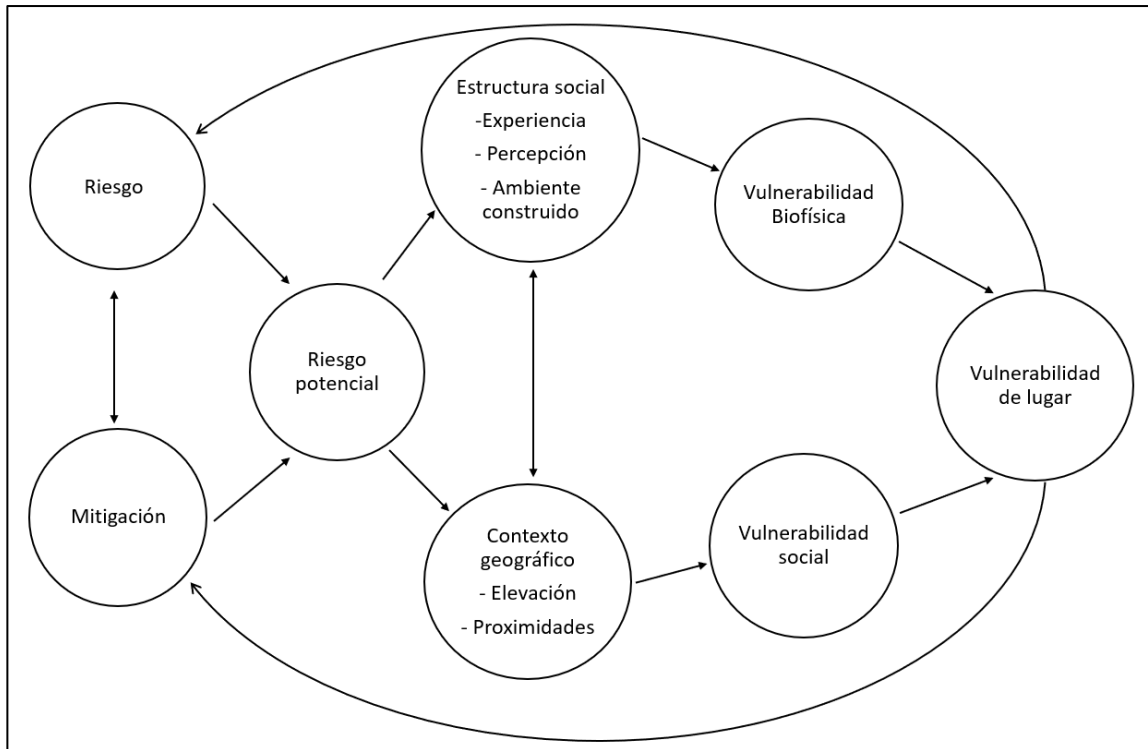
- c) El análisis de la construcción de la vulnerabilidad puede hacerse en dos momentos, el primero análisis es aquel que se realiza antes de una situación de estrés o alteración de un sistema susceptible de generar pérdidas en la unidad de análisis. El segundo, corresponde a aquel que estudia las formas en que la unidad de análisis enfrenta una situación de estrés posterior a su ocurrencia, relacionado a su capacidad de ajuste o resiliencia.

Considerando la complejidad y multidimensionalidad del concepto de vulnerabilidad, Almeida (2010), indica que el análisis de vulnerabilidad requiere operativizar el concepto, dada su relevancia en la incorporación en estudios asociados a amenazas, especialmente cuando su magnitud y frecuencia en un área de estudio lo requiere.

En relación a lo anterior, deben tenerse en cuenta tres principios a la hora de operativizar una investigación asociada a la condición de vulnerabilidad: 1) Identificar las condiciones que hacen que las personas o lugares sean vulnerables a eventos extremos; 2) La suposición de que la vulnerabilidad es una condición social, una medida de resiliencia o resiliencia social a las amenazas; y 3) que hay una integración entre la susceptibilidad potencial y la resiliencia social con lugares (o regiones) específicas (Almeida, 2010). Estos principios se pueden identificar en el modelo teórico de vulnerabilidad de lugar (Figura 2) propuesto por Cutter (2006). De este modelo, se observa la necesidad de que, para su

investigación, requiere de mediciones basadas en, al menos dos líneas de investigación, ambiental y social, para su posterior integración.

Figura 2: Modelo de vulnerabilidad de lugar, modificado de Cutter, 1996.



Fuente: Almeida, 2010.

Vera y Albarracín (2017), señalan que los modelos de riesgos han sido predominantemente centrados en variables físicas de la amenaza, descuidando aspectos cruciales que influyen en la comprensión de la vulnerabilidad de los territorios. Los autores argumentan que la vulnerabilidad de un territorio se ve influenciada por una serie de características que abarcan desde el modelo de desarrollo hasta la percepción de los riesgos por parte de la población, subrayando la importancia de considerar factores como la disponibilidad de

medios de subsistencia, la fragilidad de los mismos, la composición demográfica, la cultura local y la estructura social (Vera y Albarracín, 2017).

Asimismo, resaltan que la vulnerabilidad se compone de tres elementos fundamentales: la exposición a las amenazas, la sensibilidad de los elementos expuestos y la capacidad de recuperación o adaptación, delineando así un enfoque integral para comprender y abordar los riesgos asociados a un territorio.

2.3 Incendios forestales

De acuerdo a la UNDRR⁵ (2022), los incendios forestales son cualquier fuego no planificado o descontrolado que afecta paisajes naturales, culturales, industriales y residenciales (Adaptado de FAO, 2010⁶). Los incendios forestales en Chile son un problema recurrente que afecta a miles de hectáreas de bosques, matorrales y pastizales, así como a la fauna y flora que habita en ellos. Estos incendios son causados por diferentes factores, como la vegetación, los combustibles, el clima y la topografía, y se producen con mayor frecuencia durante la primavera y el otoño debido a las condiciones ambientales favorables para la ignición de la vegetación combustible.

CONAF, define un incendio forestal como un fuego que, cualquiera sea su origen y con peligro o daño a las personas, la propiedad o el ambiente, se propaga sin

⁵ United Nations Office for Disaster Risk Reduction.

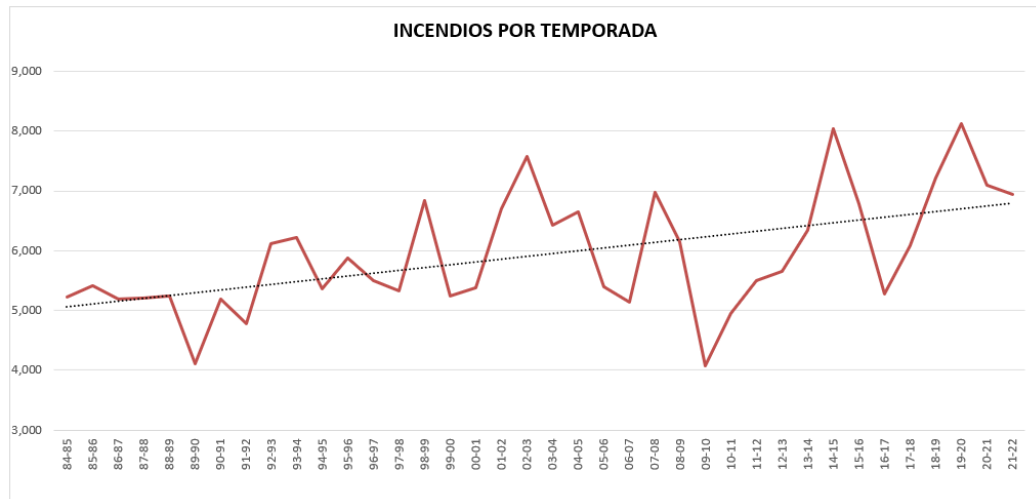
⁶ FAO, 2010. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). www.fao.org/faoterm/viewentry/en/?entryId=97000. Accessed 27 October 2020.

control en terrenos rurales, a través de vegetación leñosa, arbustiva o herbácea, viva o muerta. En Chile, el origen de los incendios es principalmente por causa del ser humano, como resultado de una inadecuada relación con el medio en que habita, su percepción o valoración (CONAF, 2006).

Los daños económicos, ambientales y sociales que causan estos incendios son significativos y provienen de los 6.000 a 7.000 incendios forestales (Figura 3) que se inician en Chile cada año (CONAF, 2023). Además, estos incendios tienen un impacto significativo en la calidad del aire y la salud de las personas.

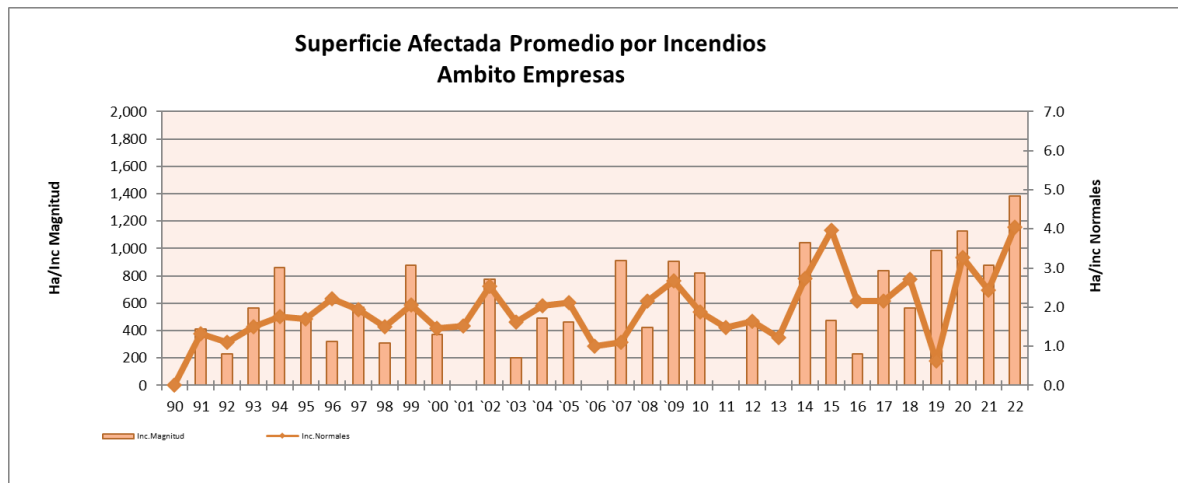
En los últimos años, los incendios forestales en Chile han aumentado en frecuencia y magnitud (Figura 4), especialmente en regiones de clima de tipo mediterráneo, con veranos cálidos y secos prolongados, donde la triada de fuego (combustible, clima y topografía) se ve potenciada (Díaz-Hormazábal y González, 2016).

Figura 3: Incendios por temporada 1985 - 2022



Fuente: CONAF, 2022.

Figura 4: Superficie afectada por incendios forestales 1985 - 2022



Fuente: CONAF, 2022.

2.4 Cambio climático

De acuerdo al GAR⁷, el proceso de reducción de riesgos tiene múltiples conexiones con el cambio climático y la reducción de la vulnerabilidad. Se proyecta al cambio climático como uno de los principales impulsores de las pérdidas asociadas a desastres y fracasos en el desarrollo, a la vez que amplifica el riesgo inherente a estos eventos. Las proyecciones a largo plazo sobre el cambio climático han adquirido un nivel de certeza mucho antes de lo previsto. El Informe Especial de 2018 sobre el Calentamiento Global de 1,5 °C del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC⁸) agrega un nuevo y apremiante sentido de urgencia a los esfuerzos de mitigación de riesgos.

El umbral que el Acuerdo de París se propuso alcanzar (consistente en limitar el aumento de la temperatura global a 1,5 °C por encima de los niveles preindustriales), se verá superado a finales de la década de 2030 o principios de la década de 2040. Aún más preocupante son las estimaciones del IPCC, las cuales indican que si los países se adhieren únicamente a los compromisos establecidos en el Acuerdo de París (las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional), podríamos enfrentar un aumento en la temperatura en el rango de 2,9 °C a 3,4 °C para finales del presente siglo.

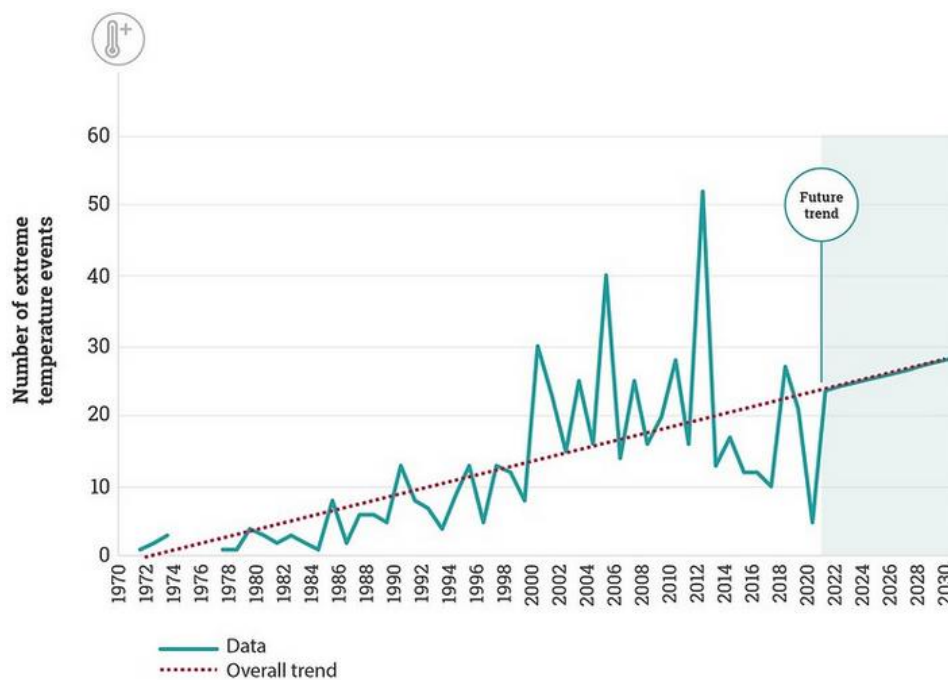
⁷ Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction (GAR). United Nations Office for Disaster Risk Reduction (2021). GAR Special Report on Drought 2021. Geneva.

⁸ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2018.

Dada la grave amenaza para la humanidad que presenta el cambio climático, se hace necesario un enfoque más integral que permita adaptarnos y reducir los riesgos derivados de este fenómeno, así como también, abordar los riesgos a corto plazo generados por las actividades humanas, como los riesgos biológicos, tecnológicos y medioambientales.

En base a lo anterior, se deben considerar los escenarios de cambio climático (Figura 5) en la evaluación y planificación de estrategias para la reducción de riesgos, evitando así la creación de nuevas amenazas a través del desarrollo.

Figura 5: Número de temperaturas extrema y tendencia futura



Fuente: UNDRR, GAR, 2022

3 METODOLOGÍA

La metodología a utilizar para el Indicador del Vulnerabilidad Socioambiental, tomará como base el Modelo utilizado por Almeida (2010). Este modelo parte de la base de un sistema territorial definido geográficamente, reconociendo la existencia de distintas comunidades y subpoblaciones dentro de este espacio, con niveles propios de vulnerabilidad y resiliencia, y que, por tanto, requiere de la comprensión de sus diferencias. Esta metodología propone la medición y jerarquización de la vulnerabilidad socioambiental a incendios forestales. Para esto, se calcularon dos índices espaciales de las componentes físicas de la amenaza de incendios forestales (IAIF) y sociales (IVS), los que se integraron para definir el índice de vulnerabilidad socioambiental (IVSA) a incendios forestales.

El cálculo del índice de vulnerabilidad socioambiental, se realizó por medio de la siguiente fórmula:

$$IVSA = SVI + IAIF$$

Donde:

IVSA = Vulnerabilidad Socioambiental

IAIF = Índice de amenaza a incendios forestales

IVS = Índice de Vulnerabilidad Social

3.1 Área de estudio

El área de estudio corresponde a la subcuenca del estero Bellavista, en la región del Biobío, Chile (Figura 6), definida de acuerdo al (CR)² en su base de dato CAMELS-CL⁹, y se ubica entre los 36°48' - 36°36'S y los 73°00' – 72°49'O.

A nivel geológico se pueden identificar dos formaciones principales. Hacia la costa predominan formaciones de rocas metamórficas de bajo gradiente plutónicas del Carbonífero del Silúrico – Carbonífero, y hacia el interior predominan rocas plutónicas del Carbonífero – Pérmico (SERNAGEOMIN¹⁰, 2010). En cuanto a su geomorfología, en sector costera se identifican terrazas marinas, mientras que hacia el interior predomina alzamientos de la cordillera de la costa (IGM¹¹, 2018, en Cuevas, 2015).

El clima, de acuerdo a la clasificación de Köppen, corresponde a un clima mediterráneo de verano cálido e invierno templado frío (Csb). Este clima se caracteriza por estacionalidades bien definidas por la temperatura y precipitación, donde las precipitaciones del mes más cálido son inferiores a la tercera parte del más con más precipitaciones (Aguilar, 2018). Es posible observar diferencias climáticas en esta zona, influenciadas por el relieve de la Cordillera de la costa y la cercanía al océano Pacífico, presentando condiciones térmicas de fuerte

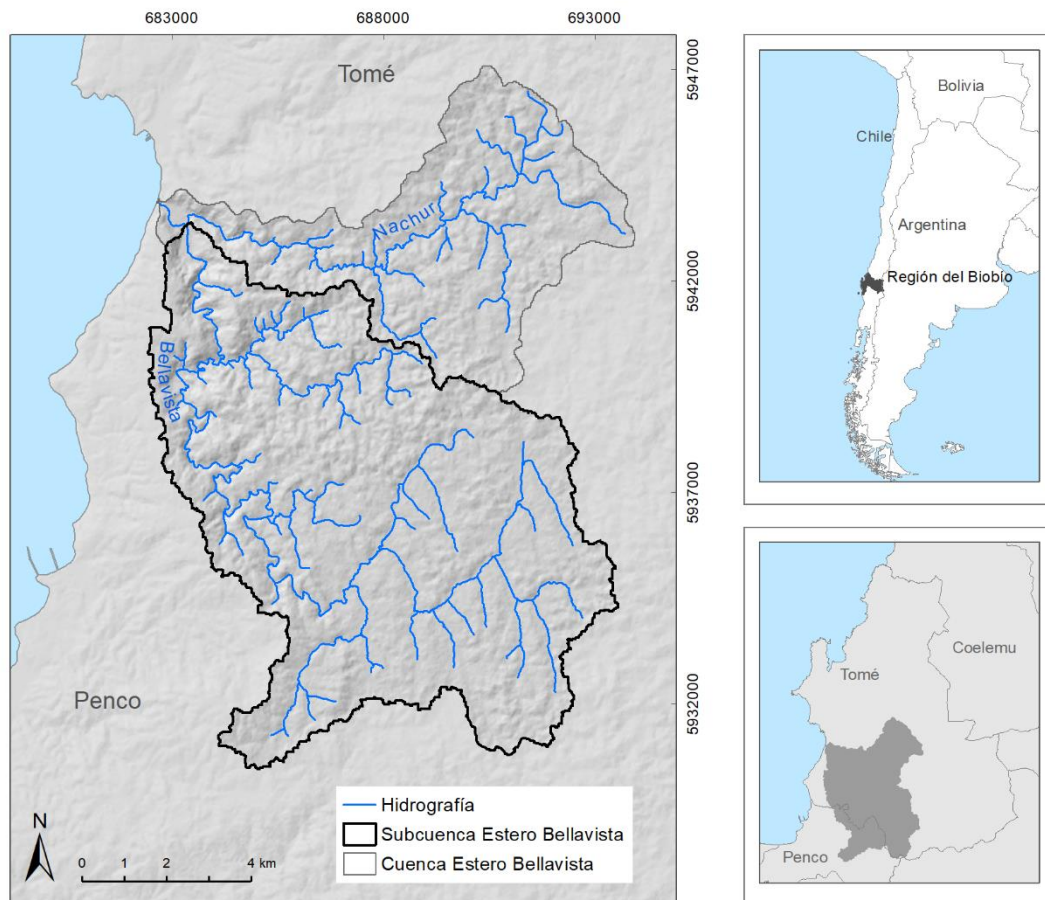
⁹ Catchment Attributes and Meteorology for Large Sample Studies, Chile Dataset (CAMELS-CL) del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)².

¹⁰ SERNAGEOMIN. Servicio Nacional de Geología y Minería, Chile. Mapa Geológico de Chile. Escala 1:1.000.000. versión original año 2000, Servicio de mapas versión corregida año 2010.

¹¹ IGM. Instituto Geográfico Militar, Chile.

influencia marina (baja oscilación térmica) y precipitaciones asociadas a vientos húmedos (Zelada, 2005).

Figura 6: Área de estudio, subcuenca del Estero Bellavista

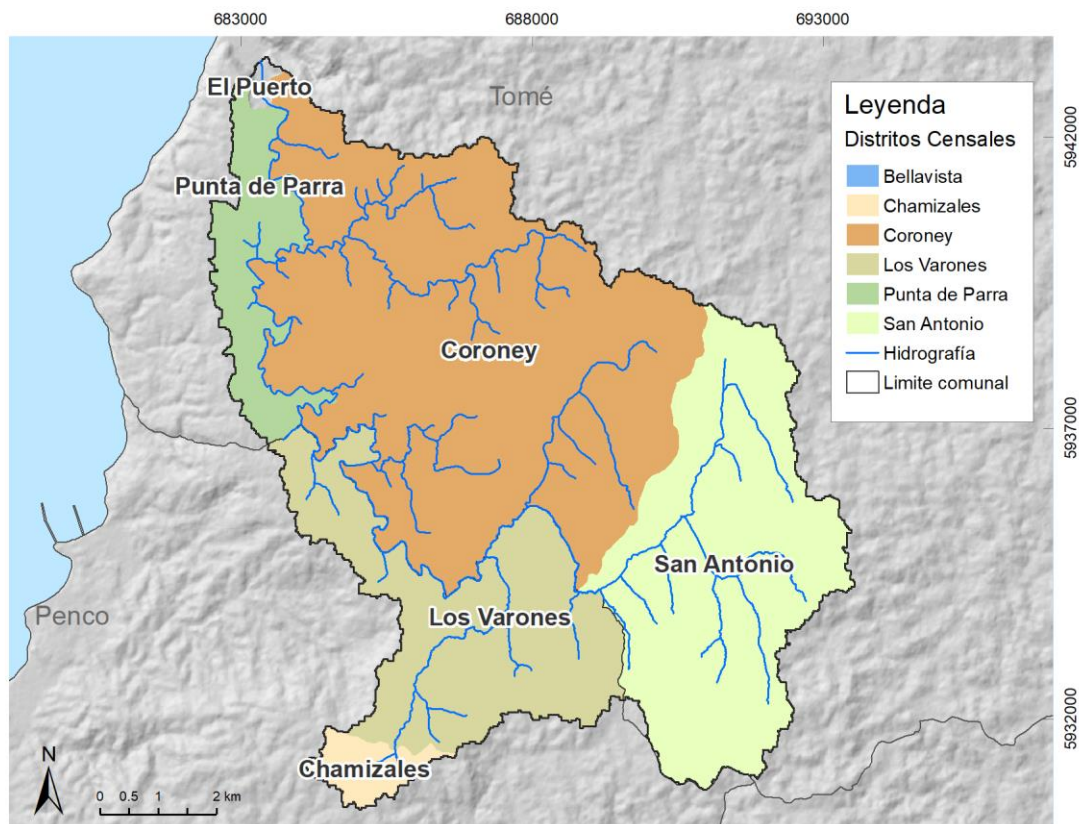


Fuente: Elaboración propia.

La subcuenca del estero Bellavista se une a la subcuenca del estero Nachur, para formar la cuenca del estero Bellavista. Administrativamente se encuentra ubicada en las comunas de Tomé y Penco, cuenta con una superficie de 8.330,89

ha, de los cuales un 79.49% (6.622,24 ha) corresponden la comuna de Tomé y un 20.51% (1.708,65 ha) a la comuna de Penco. A nivel censal, el área de estudio se divide en 6 distritos censales (Figura 7) de los cuales 4 pertenecen a Tomé y 2 Penco.

Figura 7: Mapa de Distritos censales, subcuenca del Estero Bellavista.



Información base: CENSO 2017. INE.
Sistema de coordenadas: WGS84 Huso 18 Sur. 2024.

Fuente: Elaboración propia en base a INE y Municipalidad de Tomé.

De acuerdo al último CENSO¹², la población de la subcuenca es de 3990 habitantes, de los cuales 3.558 pertenecen a la comuna de Tomé y 432 pertenecen a la comuna de Penco. Se detalla a continuación (Tabla 1), la población y superficie de la subcuenca del Estero Bellavista a nivel de distrito censal:

Tabla 1: Población y superficie por distrito censal

Distrito	Población	Superficie (Ha)	Superficie (%)
El Puerto	2159	32,4	0,4
Chamizales	95	174,6	2,1
Coroney	477	3968,4	47,6
Los Varones	337	1507,7	18,1
Punta de Parra	610	550,6	6,6
San Antonio	312	2096,4	25,2

Fuente: CENSO 2017, INE.

3.2 Índice de Amenaza a Incendios Forestales (IAIF)

Corresponde a la caracterización ponderada de la amenaza a incendios forestales en la subcuenca del Estero Bellavista a través de la generación de un mapa de peligro de propagación de incendios forestales, el cual, de acuerdo al modelo planteado por Etxeberría (Tabla 2), se define por medio del análisis de

¹² CENSO, 2017. Instituto Nacional de Estadísticas (INE), Chile.

las variables: Insolación, altura, Inflamabilidad y factor antrópico (Etcheberry *et al.*, 2002).

Tabla 2: Variables utilizadas para medir la amenaza a incendios forestales

Variable	Descripción	Fuente
Insolación	Permite identificar las áreas que reciben mayor radiación solar y su contribución al inicio y propagación de incendios. Se generó a partir de la reclasificación de las coberturas de pendientes y exposición de laderas reclasificadas en valores bajo, medio alto, su multiplicación y posterior reclasificación.	Modelo de elevación digital - DEM ALOS PALSAR (IDE CHILE)
Altitud	A mayor altitud se asocia a una menor presencia de humedad en el aire favoreciendo el inicio y propagación. Corresponde a la reclasificación de alturas en niveles bajo, medio y alto.	Modelo de elevación digital - DEM ALOS PALSAR (IDE CHILE)
Inflamabilidad	Se incorpora al análisis en función al potencial de inflamabilidad y potencial de ampliar la expansión del fuego de la cobertura vegetal, a través de los índices de vegetación diferenciada (NDVI) e Infrarrojo de Diferencia Normalizada (NDII), su multiplicación y posterior reclasificación.	Sentinel-2 – (Onda-días)

Factor antrópico	Se incorporan las variables a) Coberturas de suelo y b) Redes de transporte e infraestructura eléctrica como elementos que contribuyen a la generación de incendios forestales.	MOP ¹³ /MTT ¹⁴ /CGE ¹⁵ Municipalidad de Tomé
------------------	---	--

Fuente: Adaptado de Etxeberria *et al.*, 2022.

La variable Factor antrópico se generó a partir de la reclasificación de las variables Coberturas de suelo y Redes, que a su vez se compone de la red de transporte e infraestructura eléctrica de alta tensión y baja tensión.

Tabla 3: Clasificación de variable Redes

Redes	Bajo (1)	Medio (2)	Alto (3)
Transporte	No cercano a caminos	Camino secundario (Buffer 100m)	Camino principal (Buffer 200m)
Infraestructura eléctrica	No cercano a red eléctrica	Red de baja tensión (Buffer 100m)	Red de Alta tensión (Buffer 200m)

Fuente: Adaptado de Etxeberria, 2002.

¹³ MOP. Ministerio de Obras Públicas. Chile

¹⁴ MTT. Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. Chile

¹⁵ CGE. Compañía General de Electricidad S.A.

Tabla 4: Clasificación de coberturas de suelo

Cobertura	Valor
Suelo con escasa vegetación	Bajo
Suelo impermeable	Bajo
Tierra irrigada	Medio
Área quemada	Medio
Matorral	Alto
Bosque Nativo	Alto
Plantación forestal	Alto

Fuente: Adaptado de Etxeverría, 2002.

Tabla 5: Reclasificación de variables utilizadas para medir la amenaza a incendios forestales

Variable	Bajo (1)	Medio (2)	Alto (3)
Insolación	-0,99 – -0,46	-0,46 – 0,49	0,49 – 0,99
Altitud	9 a 144 m.s.n.m	145 a 280 m.s.n.m	281 a 416 m.s.n.m
Vegetación	-0,38 – 0,21	0,21 – 0,33	0,326 – 0,59
Factor Antrópico	1 a 2	3 a 4	6 a 9

Fuente: Adaptado de Etxeverría, 2002.

Para la generación de la cartografía de peligrosidad de incendio forestal se utilizaron todas las variables calculadas anteriormente, las cuales con la herramienta *raster calculator* fueron procesadas siguiendo la relación o peso

ponderado asignado, donde se establece que cada una de las variables tiene una importancia distinta (modificado de Etxeverría, 2002 y Novo *et al.*, 2020):

$$\text{Amenaza de Incendios Forestales} = (V \cdot 0.36) + (H \cdot 0.18) + (I \cdot 0.28) + (A \cdot 0.18)$$

Donde:

AIF= Amenaza de Incendio

V = Factor vegetación

H = Factor humano (coberturas de suelo y medio antrópico)

I = Factor insolación

A = Factor altitud

Posteriormente, el resultado fue reclasificado en 3 categorías (bajo, medio y alto) para obtener el Índice de Amenaza a Incendios Forestales (IAIF), en valores de 1 a 3, siendo 3 el valor de amenaza más alto.

3.3 Índice de Vulnerabilidad Social (IVS)

Corresponde a la caracterización ponderada de la vulnerabilidad social, de acuerdo a la metodología utilizada por Almeida (2014). La caracterización de los componentes asociados al SVI, se realizará por medio de metodologías mixtas para el levantamiento de información, utilizando para ello, talleres con tomadores de decisión en la gestión local del riesgo, catastros existentes e información proveniente de diversas instituciones públicas.

Tabla 6: Variables utilizadas para medir la vulnerabilidad social

Variable	Descripción	Fuente
Nivel socioeconómico	Contribuye directamente en la capacidad de absorber pérdidas y mejorar la resiliencia ante el impacto de una amenaza.	Registro Social de Hogares 2022
Grupo de edad	Las edades extremas dificultan la evacuación; se compromete mayor tiempo de padres en el cuidado de menores y las personas con dificultad de movilidad aumentan la carga de cuidado disminuyendo la capacidad de resiliencia.	CENSO 2017
Persona con algún grado de discapacidad	La movilidad reducida u otra situación de discapacidad compromete la capacidad de resiliencia.	Registro Social de Hogares 2022
Educación (Promedio de años de escolaridad)	La educación está ligada al estatus socioeconómico. Se asocia que la educación deficiente limita la capacidad de comprender las advertencias o alarmas y acceder a la información de recuperación.	Registro Social de Hogares 2022
Raza - etnia	Imposición de barreras idiomáticas y culturales que afectan el acceso a financiamiento posterior al desastre y ubicaciones residenciales en áreas de alto riesgo.	Registro Social de Hogares 2022
Urbano - rural	Los residentes de áreas rurales pueden ser más vulnerables debido a una	Plan Regulador Comunal (PRC) y Plan

	dependencia a actividades de extracción de recursos y economías locales.	Regulador Metropolitano de Concepción (PRMC)
Materialidad de la vivienda	La materialidad de la vivienda influye en la posibilidad de pérdida total de la vivienda frente a incendios forestales.	CENSO 2017
Planes de prevención	Permite conocer si un grupo o comunidad cuenta con conocimiento para enfrentar la amenaza.	Encargado comunal de emergencia/Red de prevención comunitaria ¹⁶

Fuente: Modificado de Almeida, 2010.

Las variables utilizadas para medir la vulnerabilidad social (Tabla 6), fueron reclasificadas de acuerdo a la siguiente tabla (Tabla 7):

Tabla 7: Reclasificación de variables utilizadas para medir la vulnerabilidad social

Variable	Bajo (1)	Medio (2)	Alto (3)
Nivel socioeconómico/ Porcentaje de población tramo 0 - 40% en RSH	40 a 49%	50 a 59%	60% o más
Grupo de edad/Porcentaje de población por grupo de edad (0 a 5 y 65 años o más)	0 a 19%	20 a 39,9%	40% o más

¹⁶ Red de Prevención Comunitaria: Iniciativa colaborativa de vecinos, municipios, empresas, entidades públicas y organizaciones sociales para disminuir la ocurrencia de incendios, en base a un Plan Local de Prevención. <https://reddeprevencioncomunitaria.cl>.

Persona con algún Grado de discapacidad/Porcentaje de población en RND	2,3 a 3,1%	3,2 a 4,1%	4,2 a 5%
Educación (Promedio de años de escolaridad)	12 o más	10,6 a 11,9	9,9 a 10,5
Raza – etnia/ porcentaje de población indígena	0 a 14,9%	15 a 39,9%	40% o más
Urbano – rural/Instrumento o zonificación en IPT	Área urbana, PRCT	Área de Extensión urbana, PRMC	Área Rural, PRMC
Materialidad de la vivienda/porcentaje de viviendas recuperable - irrecuperable	0 a 14,9%	15 a 29,9%	30% o más
Planes de prevención Suma de Plan Municipalidad de Tomé (1) y Plan Red de Prevención Comunitaria (1)	0 pts	1 pts	2 pts

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Almeida, 2010.

Posteriormente, estas variables serán reclasificadas en 3 categorías (baja, media y alta) para obtener el Índice de vulnerabilidad social (IVS) en valores de 1 a 3, siendo 3 el valor de vulnerabilidad social más alto.

3.4 Índice de Vulnerabilidad Socioambiental (IVSA)

Corresponde la integración o superposición de los mapas elaborados en base a los índices de amenaza de incendios forestales (IAIF) y vulnerabilidad social (IVS), categorizados y priorizados, dando como resultado la representación espacial del Índice de vulnerabilidad socioambiental (IVSA) a incendios forestales para la subcuenca del estero Bellavista.

La superposición espacial de los índices espaciales de Amenaza de Incendios Forestales (IAIF) y Vulnerabilidad Social (IVS), se realizó por medio de la suma ponderada, donde cada uno de los mapas ponderó 0,5, por lo tanto, se identificaron y jerarquizaron los resultados correspondientes a un mapa raster reclasificado en 3 categorías (bajo, medio y alto), siendo 3 el valor más alto de vulnerabilidad socioambiental (IVSA) a incendios forestales.

Para obtener el Índice de vulnerabilidad socioambiental (IVSA), se utilizó la siguiente fórmula:

$$IVSA = (IAIF * 0,5) + (IVS * 0,5)$$

Donde:

IVSA = Vulnerabilidad Socioambiental

IAIF = Índice de Amenaza a Incendios Forestales

IVS = Índice de Vulnerabilidad Social

Luego de determinar el IVSA, este fue reclasificado en niveles Bajo, Medio y Alto usando el método *Natural Breaks* en ArcGIS 10.5 y se analizaron los resultados para cada uno de los distritos censales presentes en la subcuenca del estero Bellavista.

4 RESULTADOS

Los resultados de este trabajo dan cuenta del análisis de los Índices de Amenaza de Incendio Forestal (IAIF) e Índice de Vulnerabilidad Social (IVS) y cómo ambas dimensiones de la vulnerabilidad socioambiental se integran espacialmente para caracterizar el índice de vulnerabilidad socioambiental de los distritos censales presentes en la subcuenca del estero Bellavista.

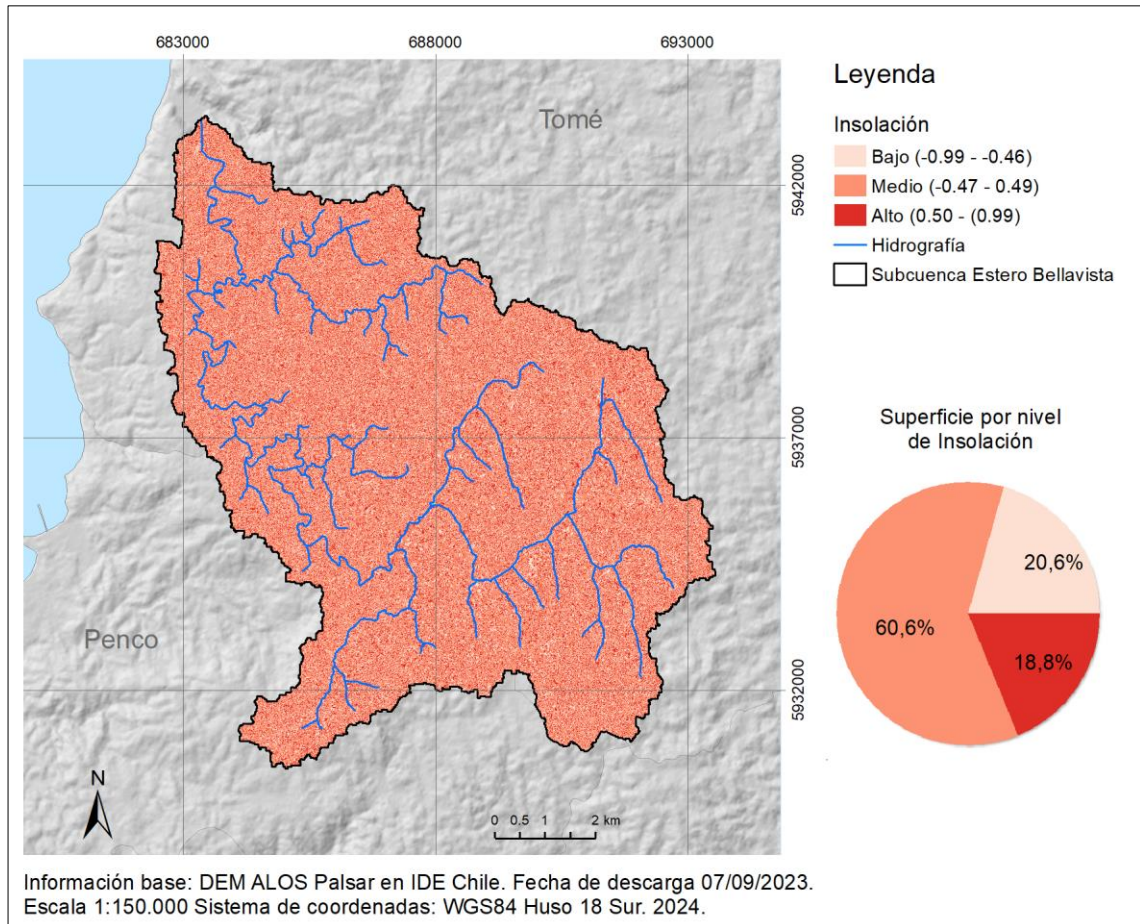
4.1 Variables del Índice de Amenaza a Incendios Forestales (IAIF)

De acuerdo al primer objetivo específico planteado para este trabajo, se calculó el Índice de Amenaza a Incendios Forestales (IAIF) para la subcuenca del estero Bellavista.

Para su obtención, se generaron y reclasificaron las distintas variables utilizadas (Tablas 2, 3, 4 y 5). A continuación, se presentan las distintas coberturas reclasificadas de acuerdo a las categorías definidas para este estudio (bajo, medio y alto).

El factor de insolación (Figura 8) identificó los sectores que reciben mayor energía solar, contribuyendo de esta manera al inicio o propagación del fuego. Se observa la predominancia de un nivel bajo de insolación en el área de estudio (60.6%), además de una distribución heterogénea de los distintos niveles de insolación a través de la subcuenca del estero Bellavista.

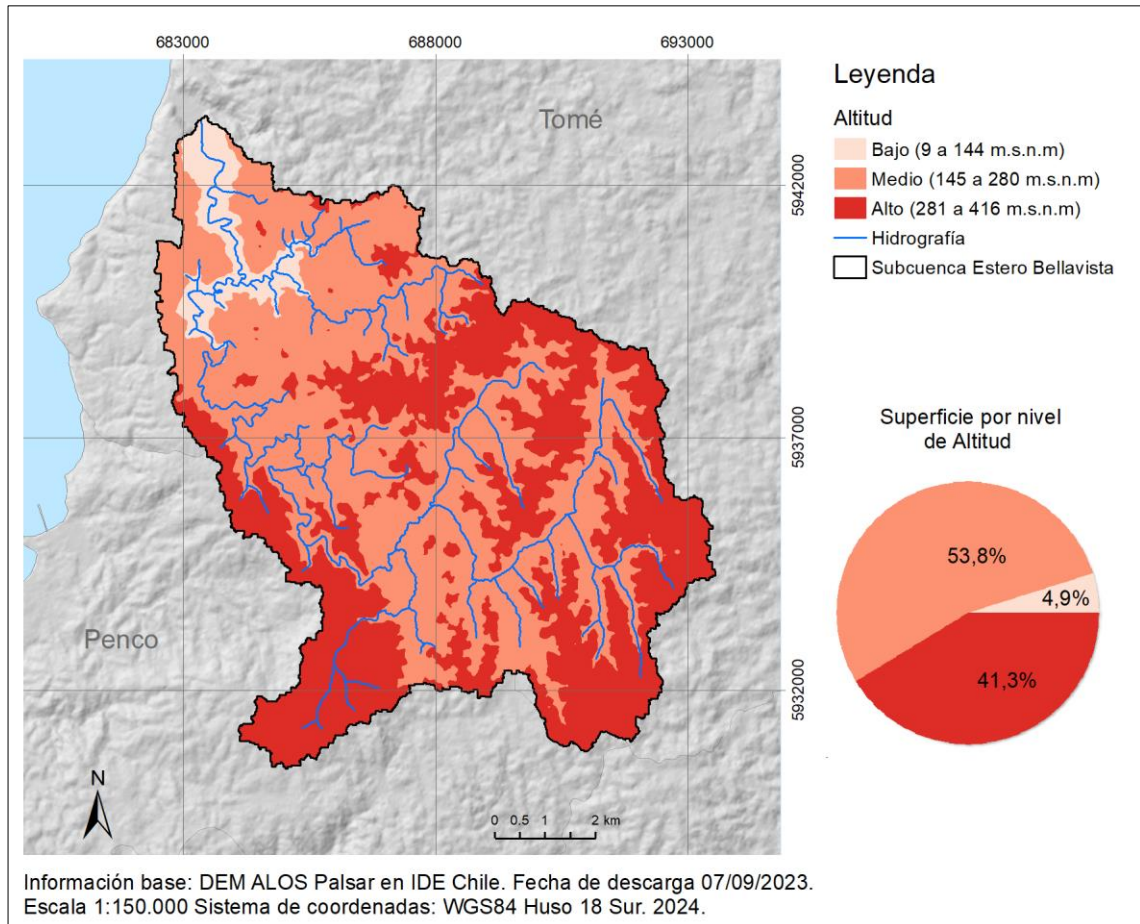
Figura 8: Mapa de factor de insolación reclasificado



Fuente: Elaboración propia en base DEM Alos Palsar, IDE Chile.

El factor de altitud (Figura 9) presenta un patrón de distribución de aumento de alturas hacia el sector este de la subcuenca, en su cabecera. Un 53,8% de la superficie presenta valores medios de altitud entre los 145 a 280 metros sobre el nivel medio del mar.

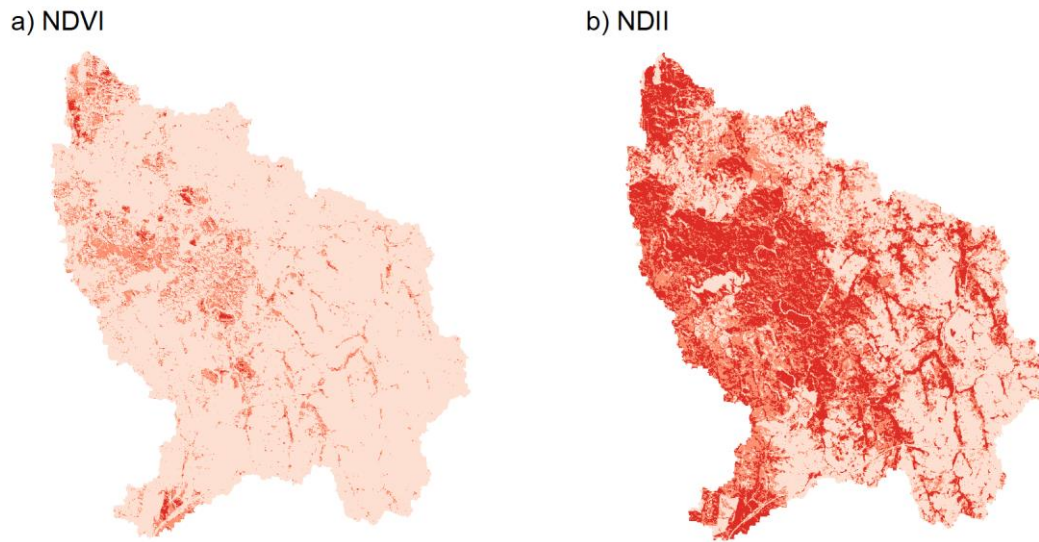
Figura 9: Mapa de factor de altitud reclasificado



Fuente: Elaboración propia en base DEM Alos Palsar, IDE Chile.

El factor de inflamabilidad es el resultado de la reclasificación del índice de vegetación normalizada (NDVI) y el índice de infrarrojo normalizado (NDII), la multiplicación entre ambas coberturas y su reclasificación.

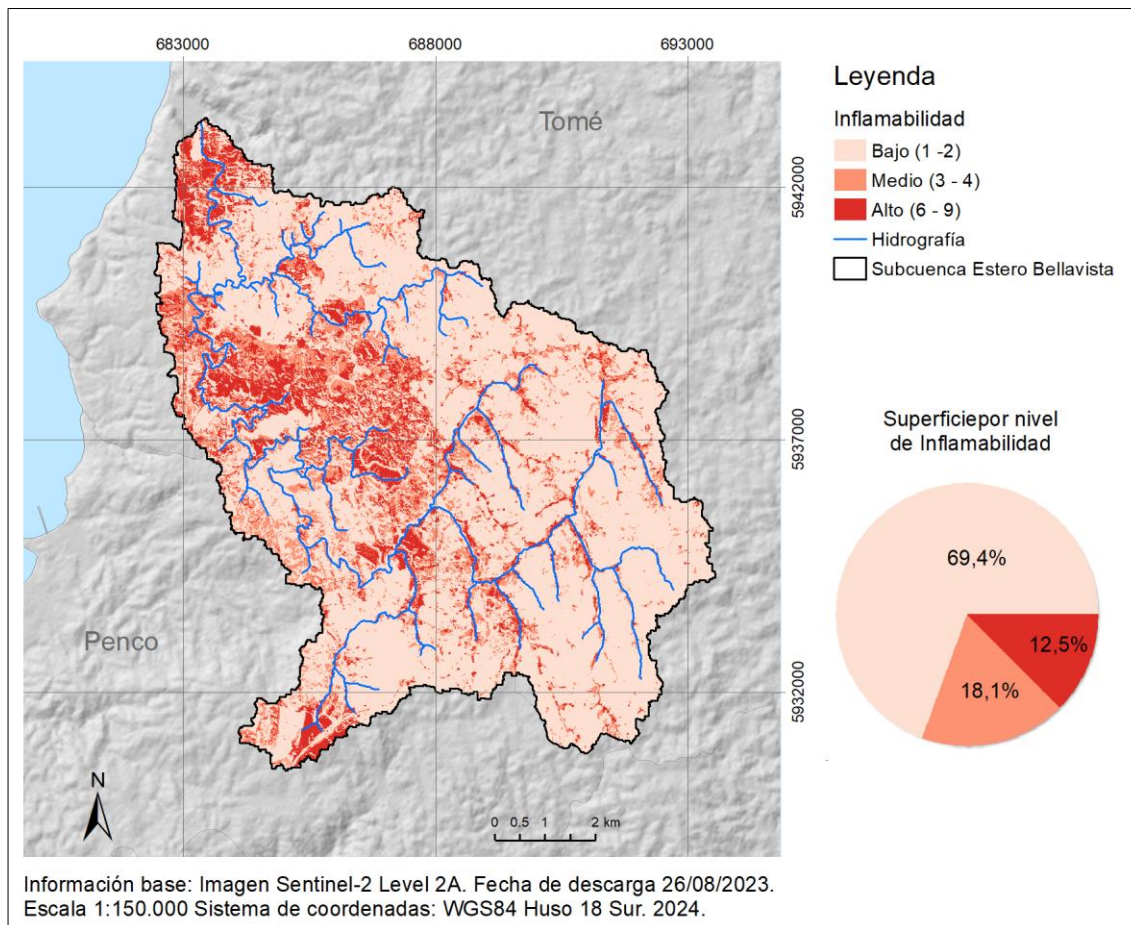
Figura 10: Índice de Vegetación Normalizada (NDVI) e Índice de Infrarrojo Normalizado (NDII) reclasificados



Fuente: Elaboración propia en base a Imagen Sentinel 2, Copernicus.

Se observa una gran superficie con bajo nivel de inflamabilidad, cercana a un 70% (Figura 11), situación que puede explicarse con apoyo de la cobertura del NDVI reclasificado (Figura 10) en parte, por la afectación a la vegetación producto de los incendios que afectaron la zona durante el mes de febrero de 2023.

Figura 11: Mapa de factor de inflamabilidad reclasificado



Fuente: Elaboración propia en base a Imagen Sentinel 2, Copernicus.

La cobertura de suelo (Figura 12) se generó a partir de la clasificación supervisada de usos de suelo de una imagen sentinel-2 level 2A en google Earth Engine, con un valor del coeficiente de concordancia estadística de Kappa del 0,89 la cual fue reclasificado en 3 niveles (Figura 13) de acuerdo a los valores indicados en la tabla 4.

La clasificación de cobertura de suelo entregó como resultado la siguiente distribución de superficie para la subcuenca del estero Bellavista (Tabla 8).

Tabla 8: Valor de reclasificación de coberturas de suelo

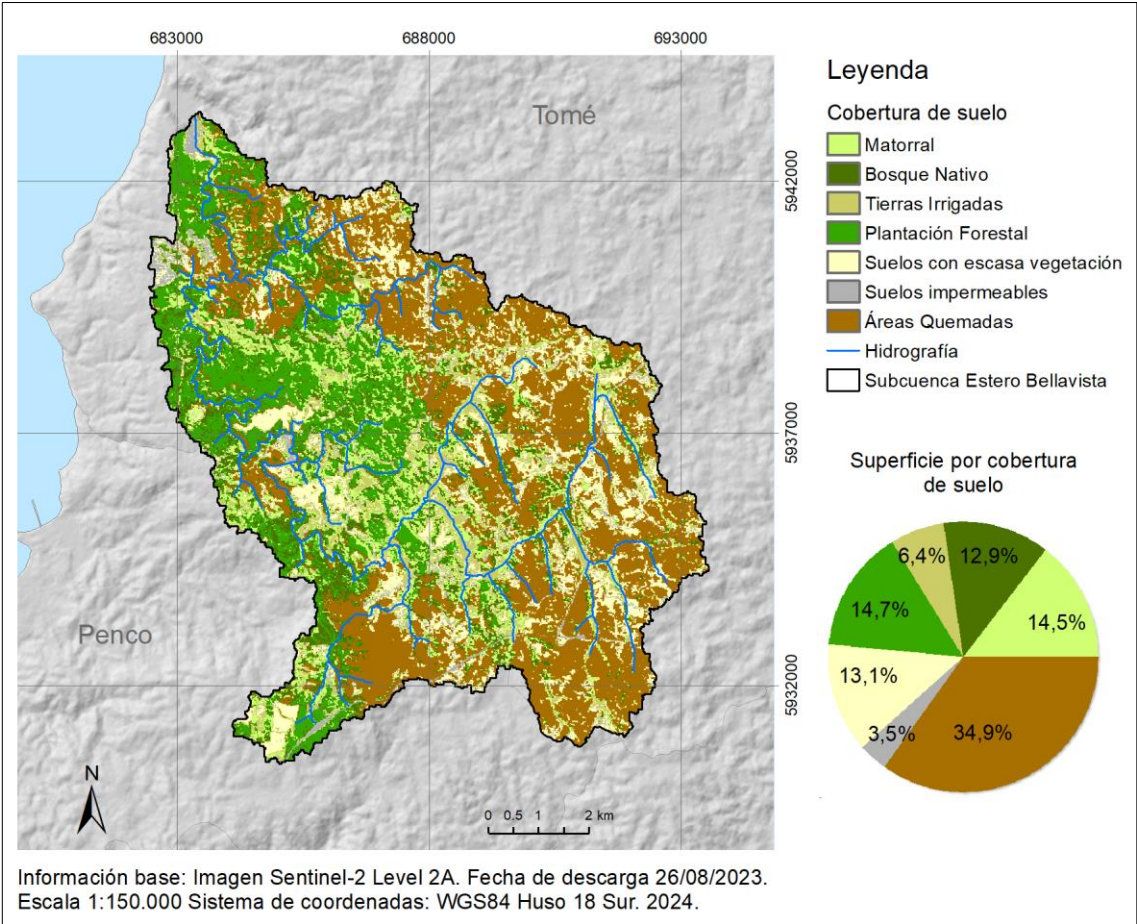
Cobertura	Valor	Superficie (%)
Suelo con escasa vegetación	1	13.134363
Suelo impermeable	1	3.503121
Tierra irrigada	2	6.446968
Área quemada	2	34.862601
Matorral	3	14.539094
Bosque Nativo	3	12.822481
Plantación forestal	3	14.691372

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de la cobertura de usos de suelo muestra que un 42,1% de la superficie de la subcuenca presenta valores altos (Plantaciones forestales, matorrales y bosque nativo) de favorabilidad para la amenaza de incendios forestales (Tabla 4).

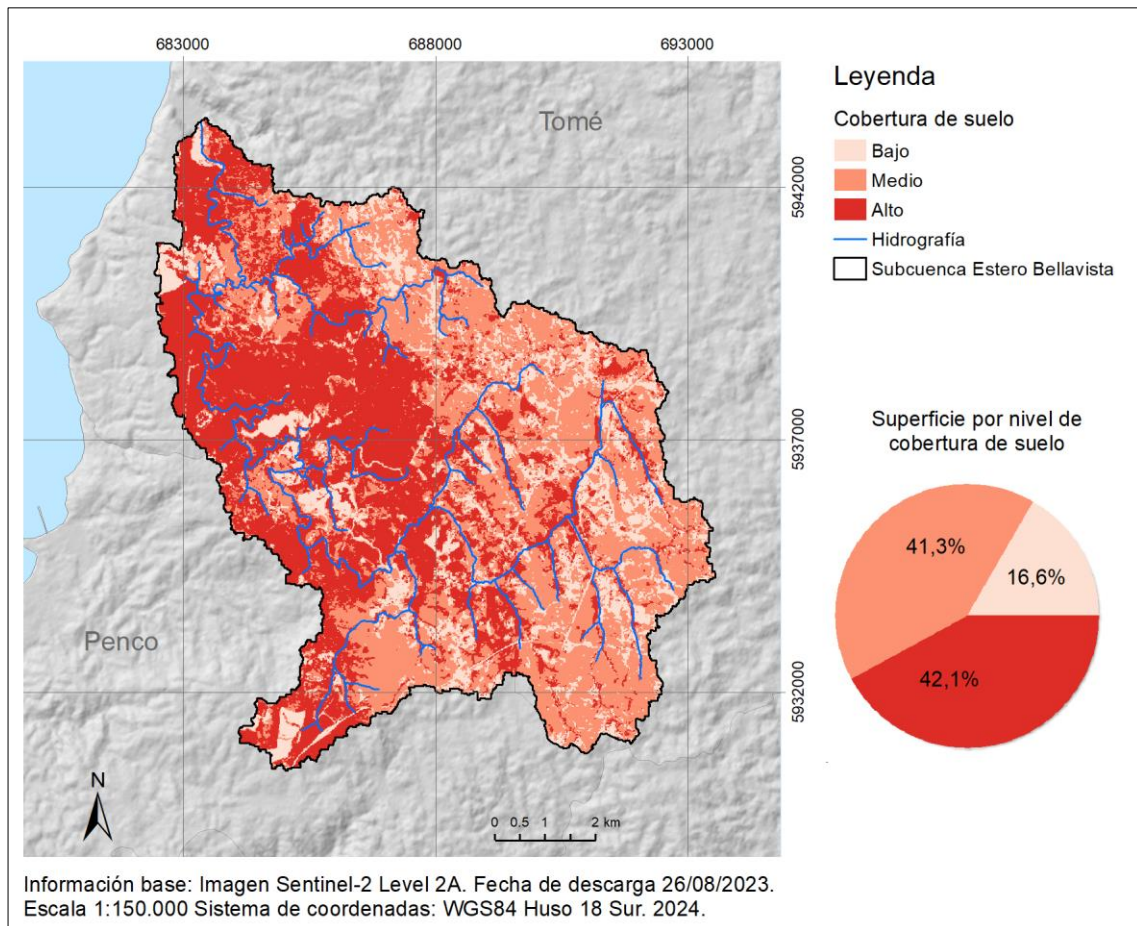
El valor medio de reclasificación de coberturas de suelo (tierras irrigadas y áreas quemadas) se distribuye sobre un 41,3% de la superficie de la subcuenca, esta situación se da por la considerable afectación de biomasa forestal producto de los incendios ocurridos en febrero de 2023. El área quemada tomó el valor 2 producto que de acuerdo a lo observado en terreno (Figura 14), se observó un rápido crecimiento del renoval de eucalipto.

Figura 12: Mapa de coberturas de suelo año 2023



Fuente: Elaboración propia en base a Imagen Sentinel 2, Copernicus y Google Earth Engine.

Figura 13: Mapa de coberturas de suelo reclasificado



Fuente: Elaboración propia en base a Imagen Sentinel 2, Copernicus y Google Earth Engine.

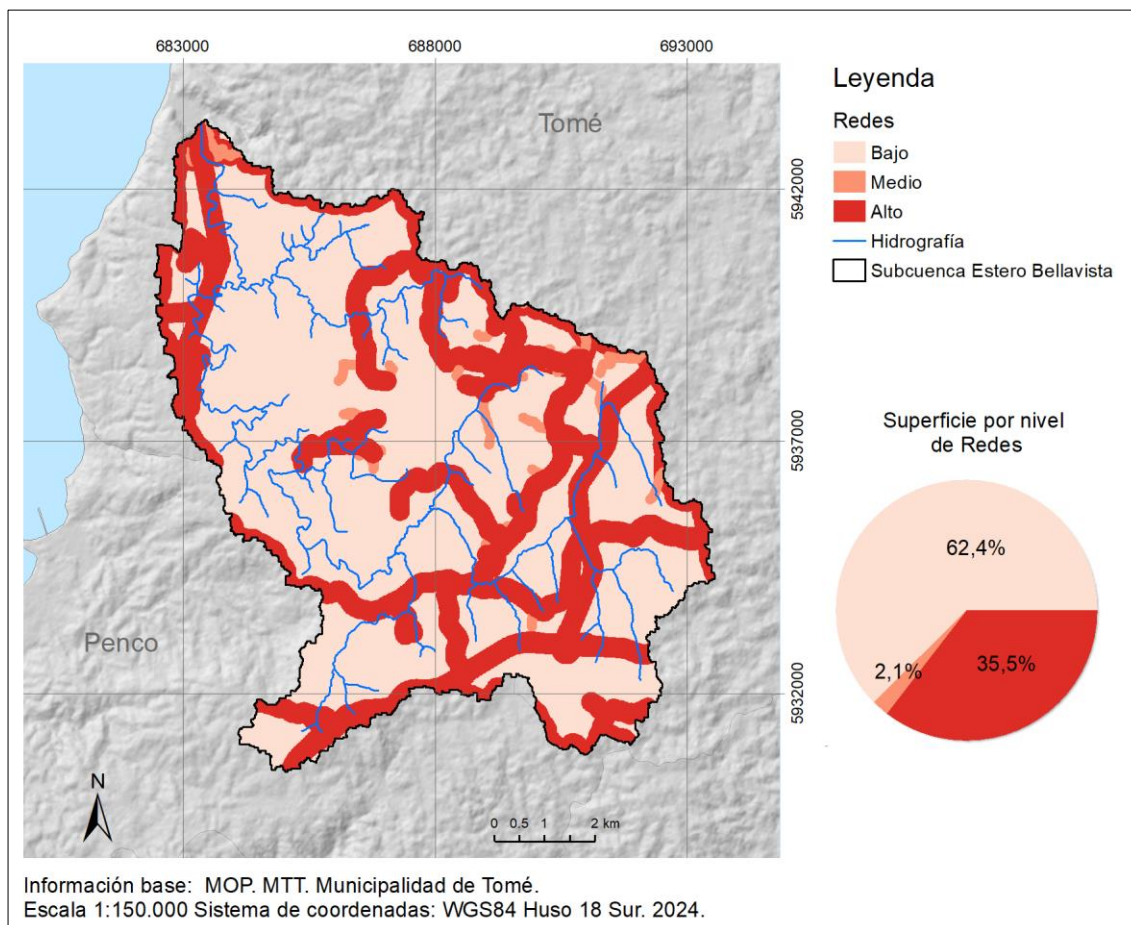
Figura 14: Renoval de eucalipto afectado por incendios de febrero 2023



Fuente: visita a terreno el 06-12-2023.

Del análisis de redes de transporte e infraestructura eléctrica reclasificada (Figura 15), se observa que un 62,4% de la superficie de la subcuenca presenta un valor bajo, un 2,1% un valor medio y un 35,5% un valor alto, el que debido a longitud del área buffer (Tabla 3) se superpone a los valores medios ya que en general corresponde a tramos de longitudes cercanas o menores a los 100 m.

Figura 15: Mapa de Redes de transporte e infraestructura eléctrica

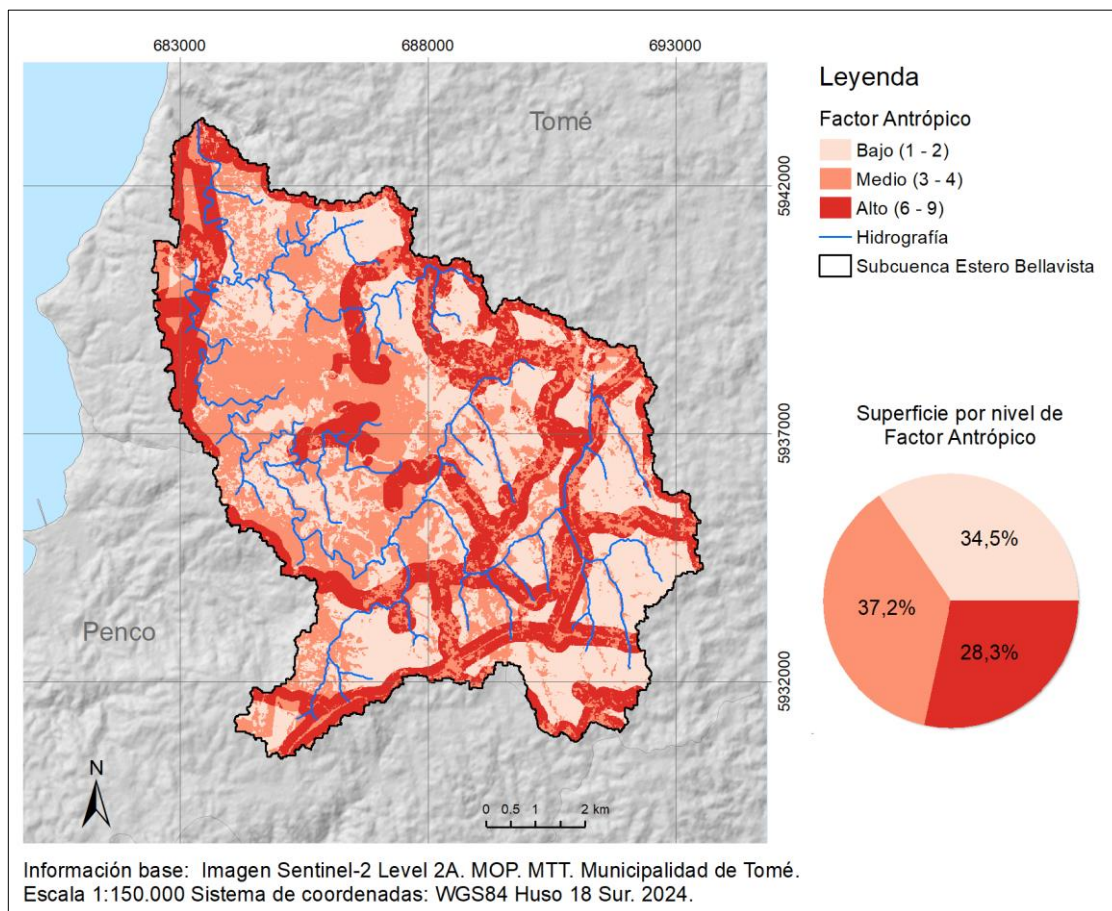


Fuente: Elaboración propia en base a MOP, MTT, Municipalidad de Tomé.

La variable factor antrópico reclasificada (Figura 16), que superpone las coberturas de suelo y las redes de transporte e infraestructura eléctrica, presenta valores reclasificados con una superficie similar dentro de la subcuenca.

El valor bajo corresponde a un 34,5% de la subcuenca, el valor medio alcanza a un 37,2% de superficie y el valor alto de factor antrópico corresponde a un 28,3% de a superficie del área de estudio.

Figura 16: Mapa de Factor antrópico reclasificado



Fuente: Elaboración propia en base a Imagen Sentinel 2, MOP, MTT, Municipalidad de Tomé.

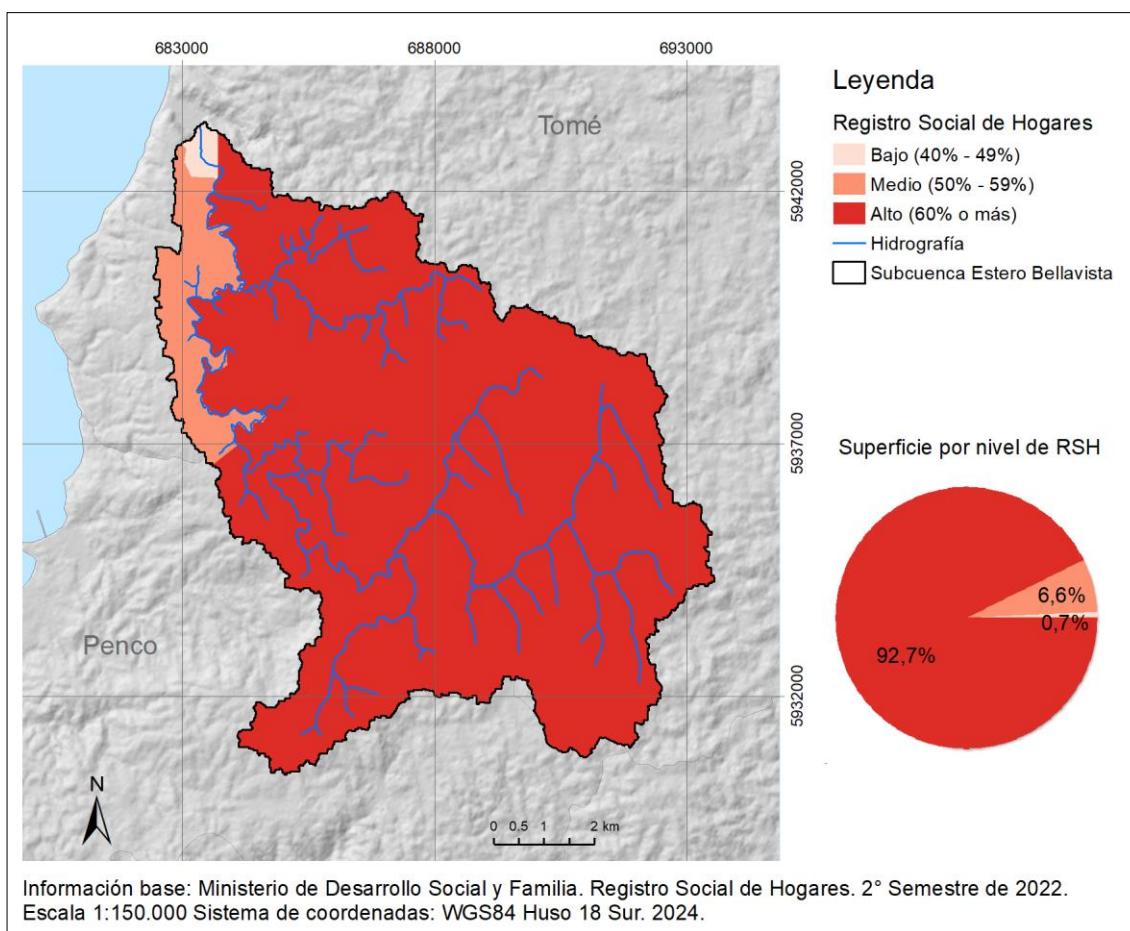
4.2 Variables del Índice de Vulnerabilidad Social (IVS)

De acuerdo al segundo objetivo específico planteado para este trabajo, se calculó el Índice de Vulnerabilidad Social (IVS) para la subcuenca del estero Bellavista.

Para su obtención, se generaron y reclasificaron las distintas variables utilizadas (Tabla 6). A continuación, se presentan las distintas coberturas reclasificadas de acuerdo a las categorías definidas para este estudio (bajo, medio y alto).

De acuerdo al Registro Social de Hogares (Figura 17), gran parte de la superficie de la subcuenca (92,7%) presenta un nivel alto de vulnerabilidad socioeconómica (más del 60% de su población se encuentra entre el 0 y 40% del RSH), principalmente el sector rural de la subcuenca.

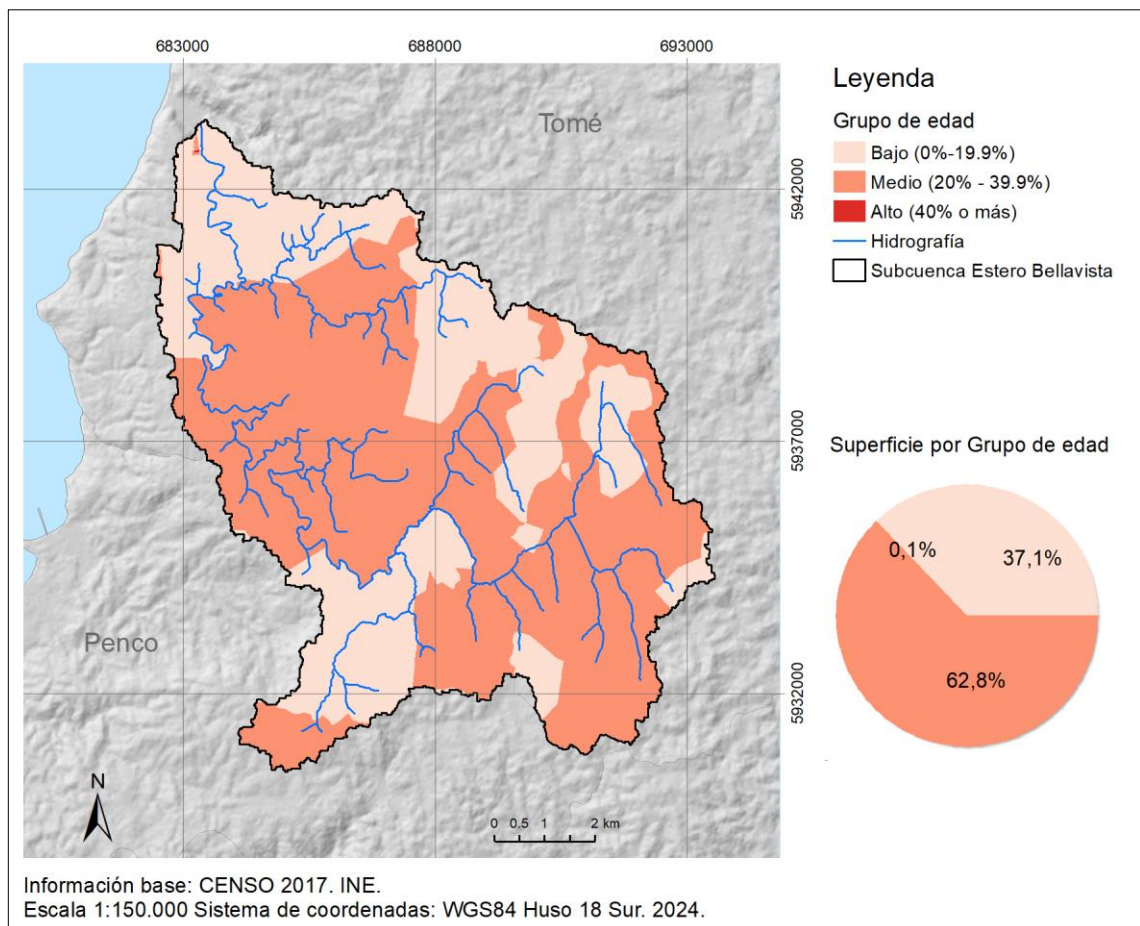
Figura 17: Mapa de Nivel socioeconómico



Fuente: Elaboración propia en base al Ministerio de Desarrollo Social y Familia. Registro Social de Hogares.

Los valores bajos se presentan en parte del área urbana del distrito El Puerto (0,7%) y los valores medios (6,6%) se distribuyen en el sector oeste de la subcuenca en el distrito de Punta de Parra (Figura 17).

Figura 18: Mapa de Población por grupo de edad

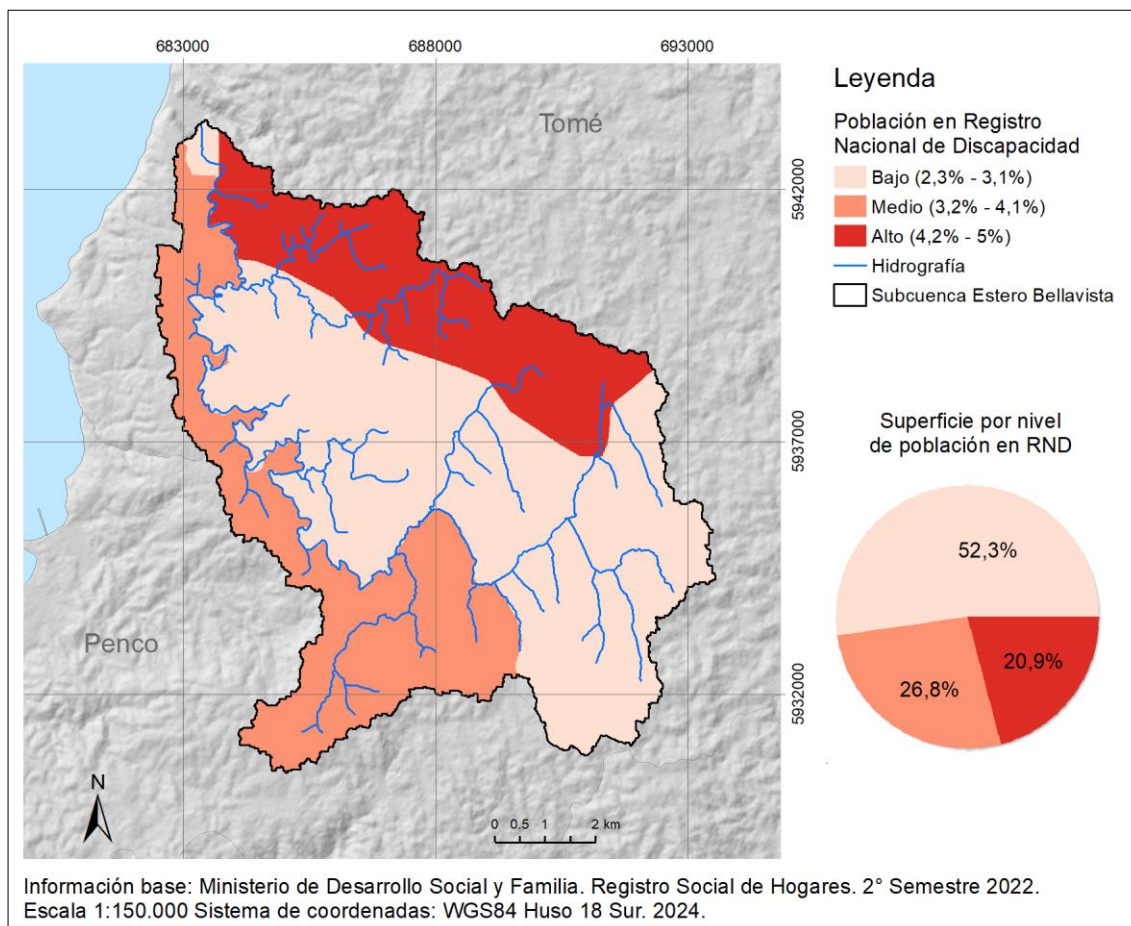


Fuente: Fuente: CENSO 2017, INE.

En relación a la vulnerabilidad por edad de la población, un 62,8% de la superficie de la subcuenca presenta un nivel medio de vulnerabilidad (Figura 18), un 37,1%

en el nivel de bajo de vulnerabilidad por edad y solo un 0,1% de su superficie presenta mayor vulnerabilidad por población en los grupos de edades extremas.

Figura 19: Mapa de población en Registro Nacional de Discapacidad (RND)

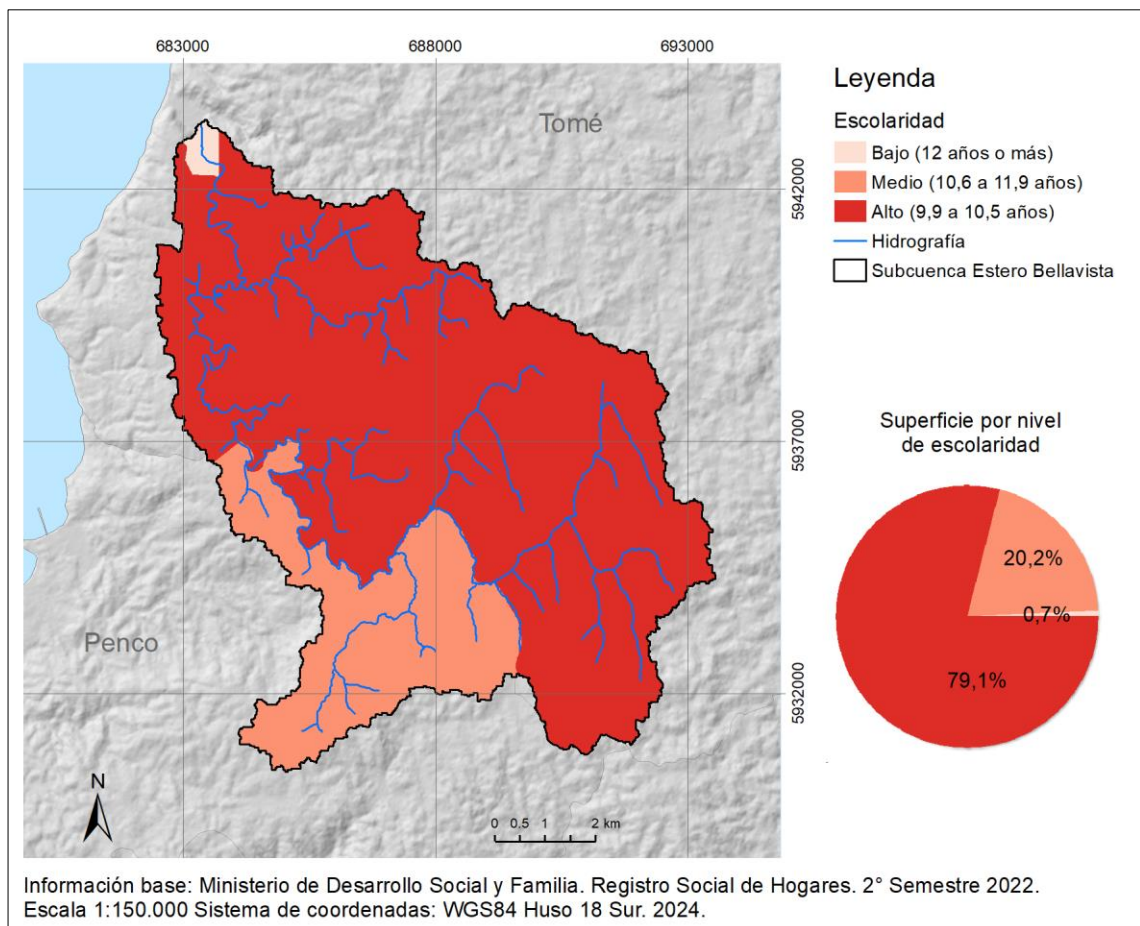


Fuente: Elaboración propia en base al Ministerio de Desarrollo Social y Familia. Registro Social de Hogares.

De acuerdo a la presencia de población con algún grado de discapacidad (Figura 19), se observa que, de acuerdo al Registro Nacional de Discapacidad (RND) más de la mitad de la superficie de la subcuenca (52,3%), presenta un nivel bajo de vulnerabilidad por situación de discapacidad. Destaca el sector norte del

distrito Coroney concentrando la mayor población con algún grado de discapacidad (entre un 4,1% a un 5%) lo que representa un 20,9% de la superficie de la subcuenca.

Figura 20: Mapa de escolaridad de la población



Fuente: Elaboración propia en base al Ministerio de Desarrollo Social y Familia. Registro Social de Hogares.

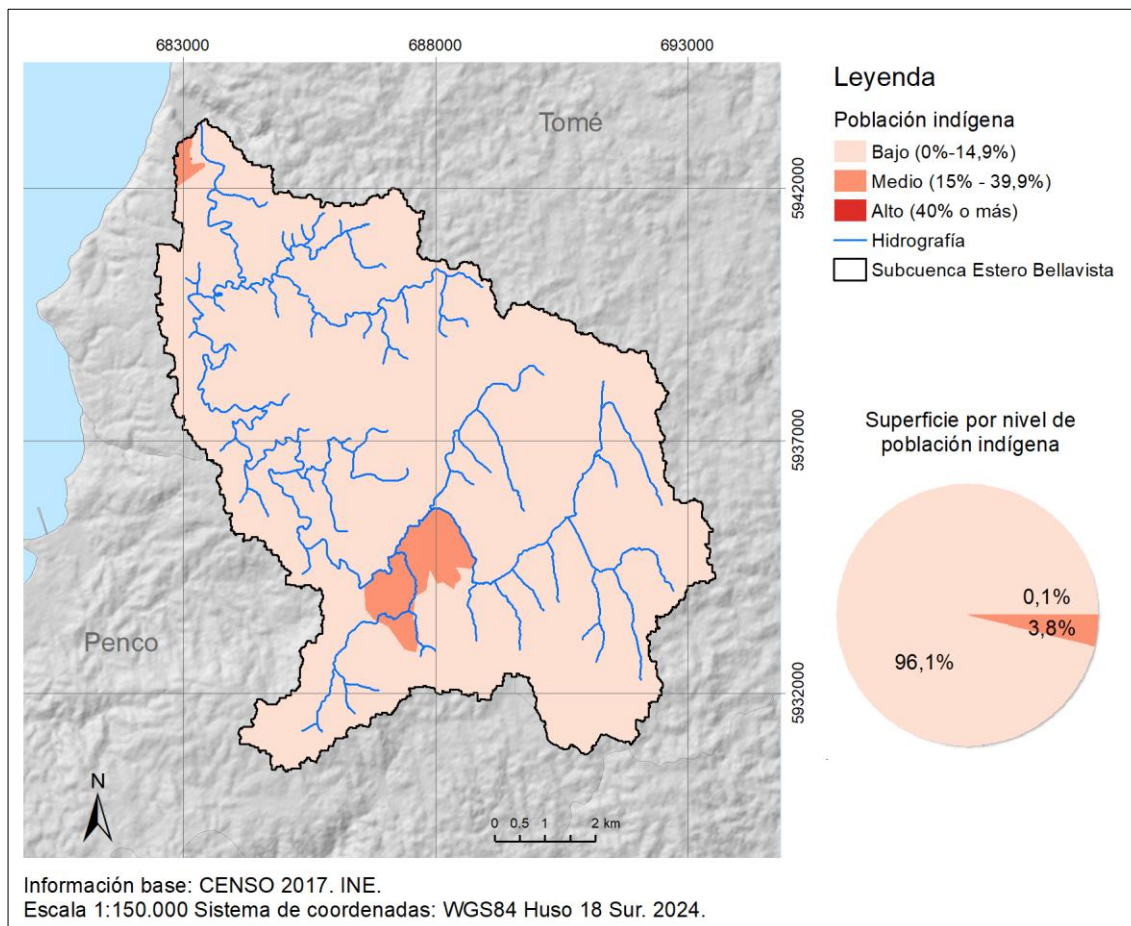
En relación a los años de educación (Figura 20) dentro del área de estudio, el resultado de esta cobertura presenta una considerable diferencia entre las áreas urbanas y las localidades rurales. En este sentido, se observa en general que la

menor superficie de vulnerabilidad baja (0,7%) se encuentra en el área urbana con un promedio de años de escolaridad mayor a 12 años, a diferencia del sector rural que presenta una amplia superficie (79,1%) con un promedio de escolaridad entre los 9,9 a 10,5 años.

De acuerdo al censo 2017, sólo un 0,1% de la superficie de la subcuenca presenta niveles altos (más de un 40% de su población) pertenecientes a pueblos originarios (Figura 21). Un 3,8% se encuentra en el nivel medio y un 96,1% de la superficie de la subcuenca se encuentra en un nivel bajo de vulnerabilidad.

A nivel normativa, la mayor cantidad de superficie (93,5%) presenta un alto nivel de vulnerabilidad normativa correspondiente al sector rural normado por el PRMC (Figura 22), ya que son terrenos en donde puede desarrollarse sin restricciones las actividades primarias como la actividad forestal y no presenta restricciones al uso residencial asociadas a algún tipo de riesgo natural.

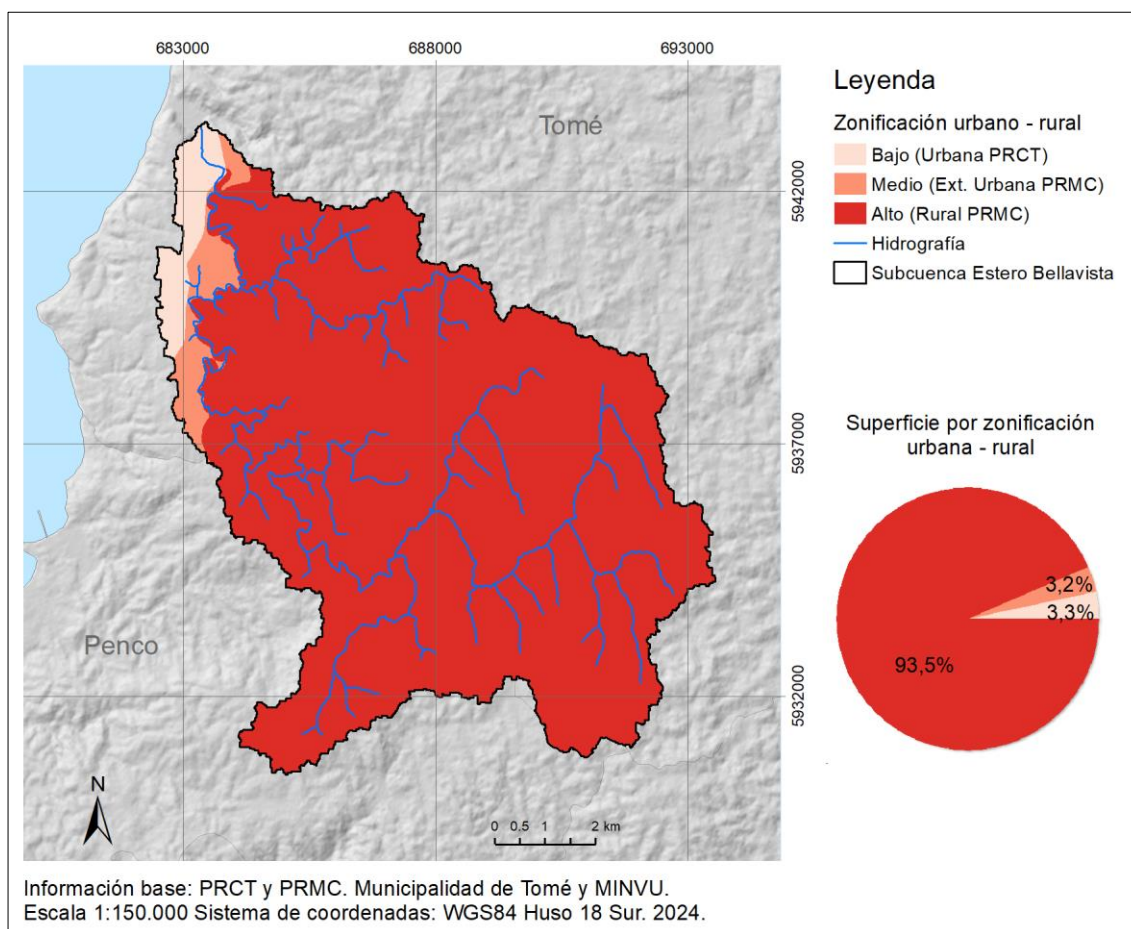
Figura 21: Mapa de niveles de Población indígena



Fuente: CENSO 2017, INE.

En el nivel medio (3,2%) se encuentra el área de extensión urbana definida en el PRMC que si bien no posee normas asociadas a riesgos forestales posee restricciones generales al uso residencial asociadas a las zonas de mayor pendiente.

Figura 22: Mapa de zonificación urbana - rural



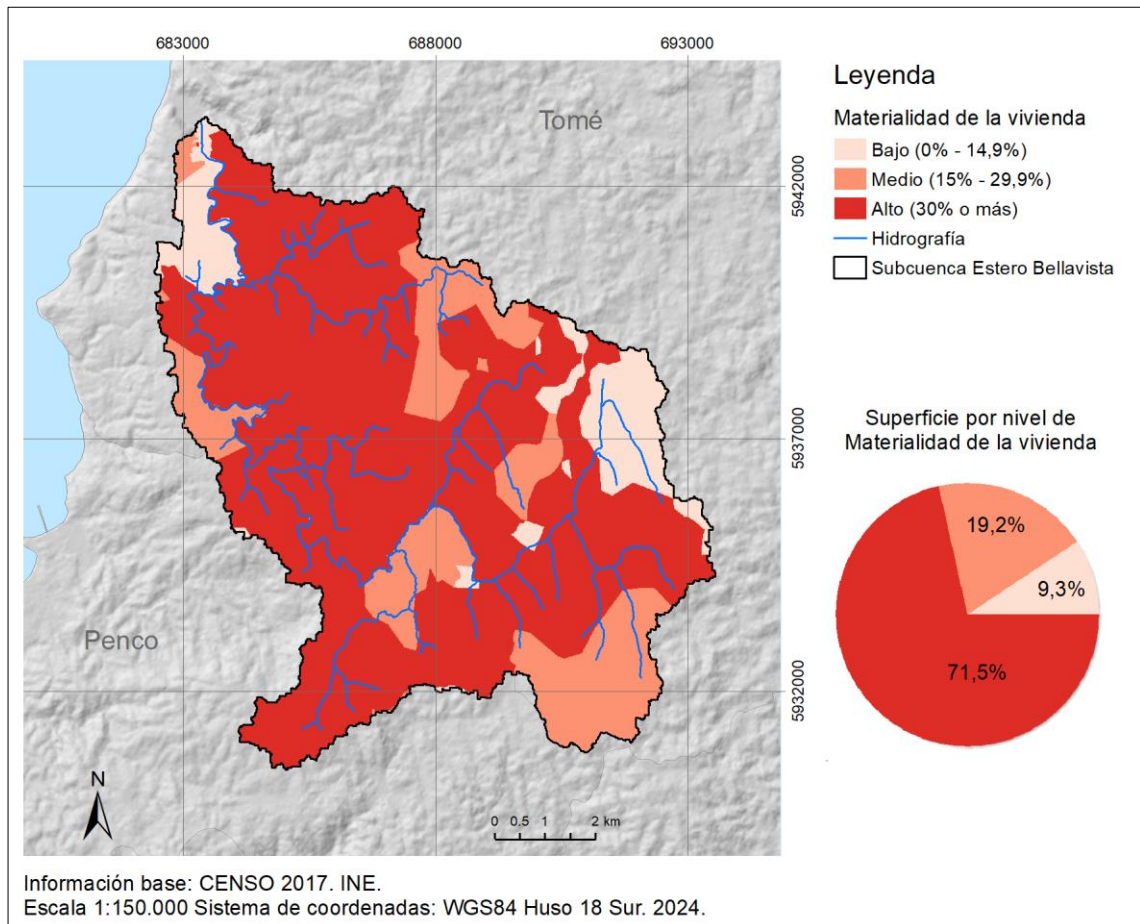
Fuente: PRMC¹⁷ y PRCT¹⁸.

A su vez, la zona urbana definida por el PRCT (3,3%) también posee restricciones al uso residencial, asociadas a la protección de drenajes y zonas de remoción en masa con un nivel más detallado que el instrumento de escala metropolitana.

¹⁷ Plan Regulador Metropolitano de Concepción. MINVU.

¹⁸ Plan Regulador Comunal de Tomé. Municipalidad de Tomé.

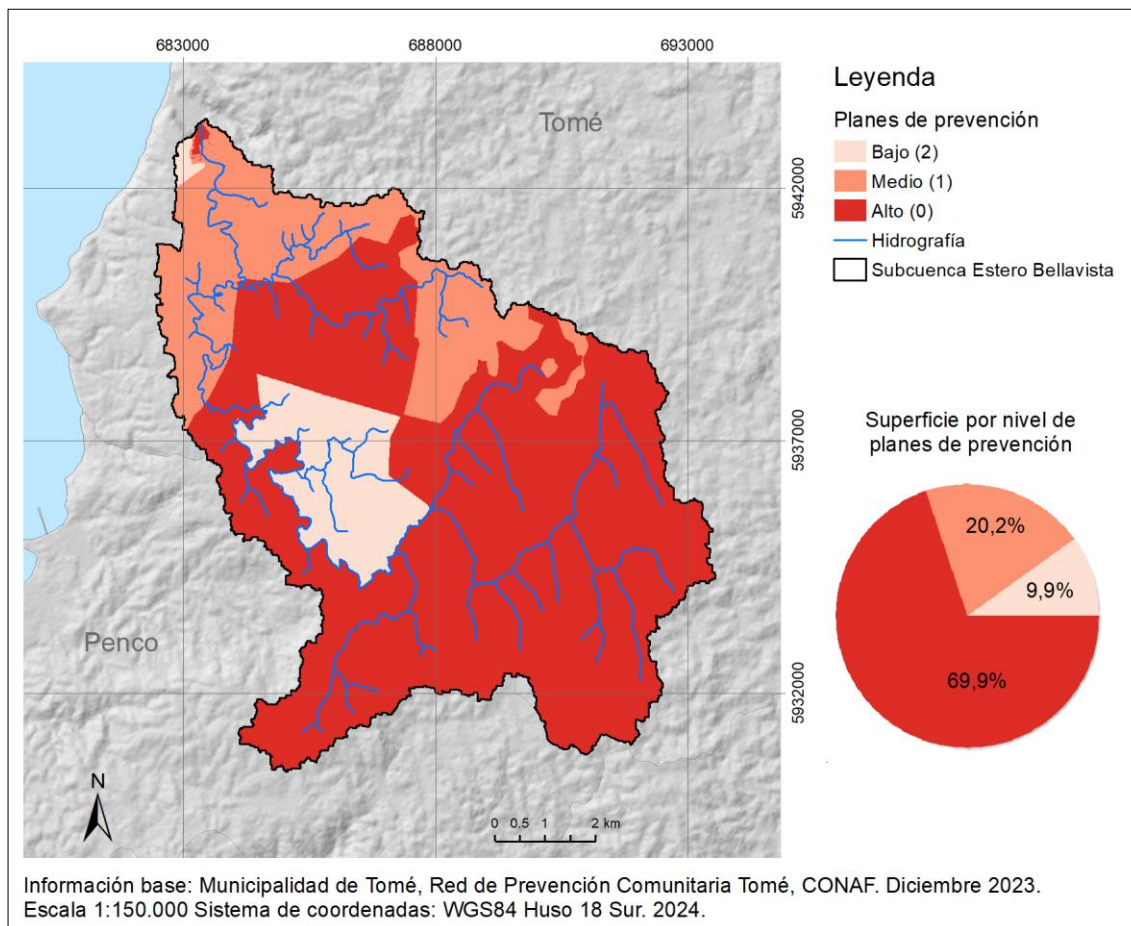
Figura 23: Mapa de materialidad de la vivienda



Fuente: CENSO 2017, INE.

En relación a materialidad de la vivienda se observa que un 71,4% de superficie de la subcuenca presenta un nivel alto de vulnerabilidad por materialidad de la vivienda Recuperable e Irrecuperable (Figura 23), principalmente en el sector rural de la subcuenca del estero Bellavista, un 19,2% presenta viviendas en el nivel medio y un 9,4% presenta un bajo nivel de vulnerabilidad por materialidad de vivienda.

Figura 24: Mapa de zonas con Planes de prevención



Fuente: Municipalidad de Tomé, Red de Prevención Comunitaria, CONAF. 2023.

El resultado del análisis de vulnerabilidad por planes de prevención (Figura 24) se realizó en base a la identificación de los planes de prevención, de acuerdo a la delimitación del Plan de Emergencia Comunal en su Anexo de Amenaza Incendios Forestales en conjunto con el encargado de Emergencias de la Municipalidad de Tomé, los Planes Locales de Prevención facilitados por las monitoras de la Red de Prevención Comunitaria.

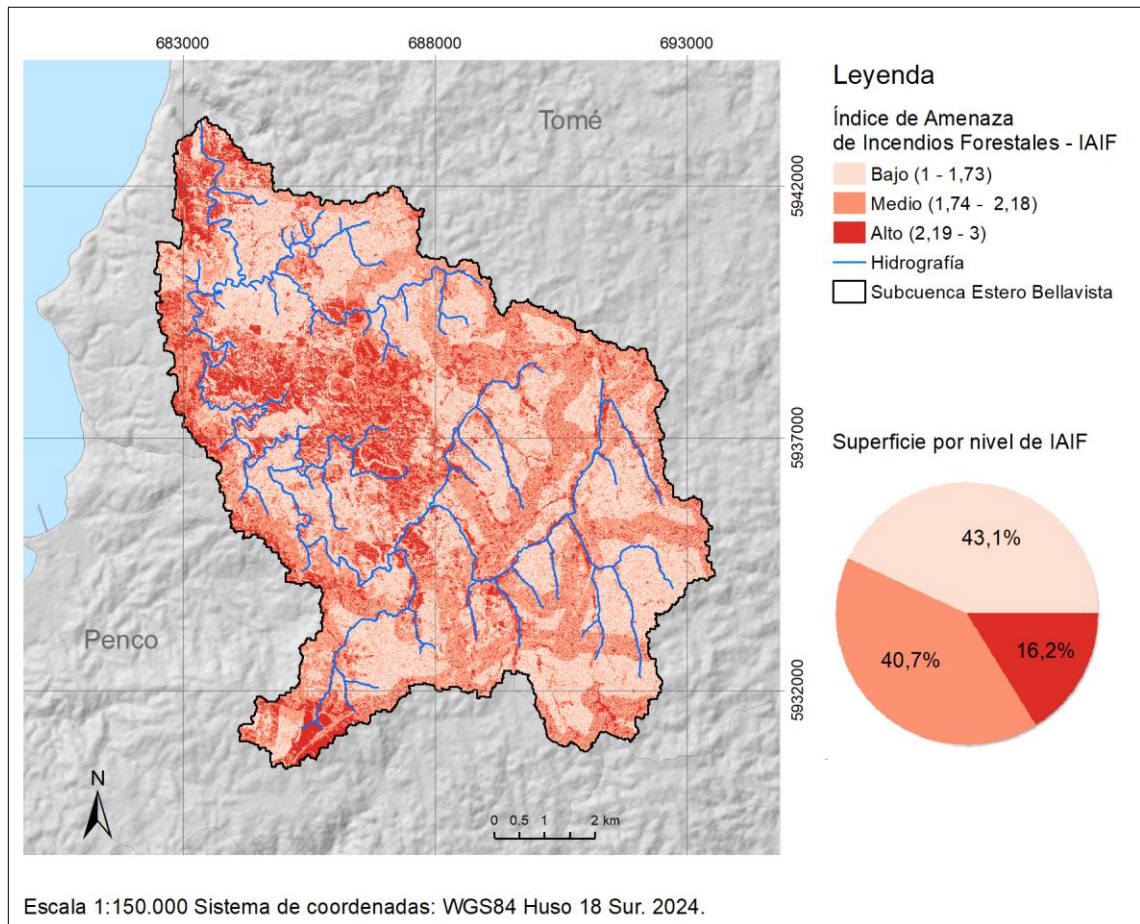
En base a esta información se identificó que un 9,9% de la superficie de la subcuenca presenta un nivel bajo de vulnerabilidad, un 20,2% presenta un nivel medio y un 69,9% de la superficie de la subcuenca del estero Bellavista se encuentra en un nivel de vulnerabilidad alto asociado a la ausencia de Planes de prevención.

4.3 Índice de Amenaza a Incendios Forestales (IAIF) de la subcuenca del estero Bellavista

El IAIF para subcuenca del estero Bellavista muestra las zonas con mayor propensión a la ocurrencia y propagación de incendios forestales. Del análisis de este índice se desprende que un 16,2% de la superficie del área de estudio presenta un IAIF alto (Figura 25), el cual se distribuye principalmente en sector centro-este de la subcuenca.

El valor medio de IAIF (40,7%) se distribuye principalmente en las zonas asociadas (áreas buffer) a carreteras e infraestructura eléctrica. El valor bajo de IAIF (43,1%) se presenta en mayor medida en el sector oeste de la subcuenca.

Figura 25: Mapa del Índice Amenaza de Incendios Forestales - IAIF

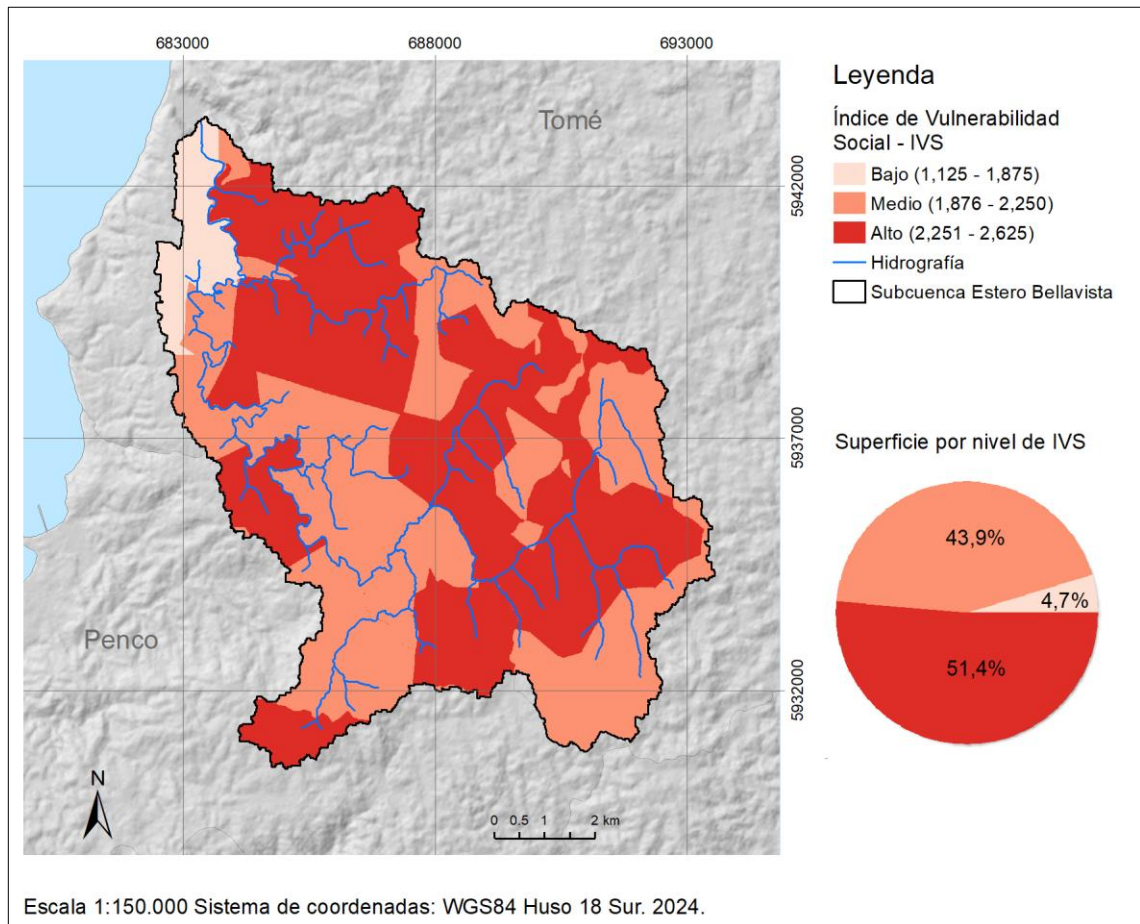


Fuente: Elaboración propia.

4.4 Índice de Vulnerabilidad Social (IVS) de la subcuenca del estero Bellavista

El IVS calculado para la subcuenca del estero Bellavista (Figura 26) muestra como más de la mitad de la superficie de la subcuenca presenta IVS Alto (51,4%), el cual se distribuye principalmente en los distritos rurales de Tomé y Penco distribuidas en la zona centro - oeste de la subcuenca.

Figura 26: Mapa del Índice de Vulnerabilidad Social - IVS



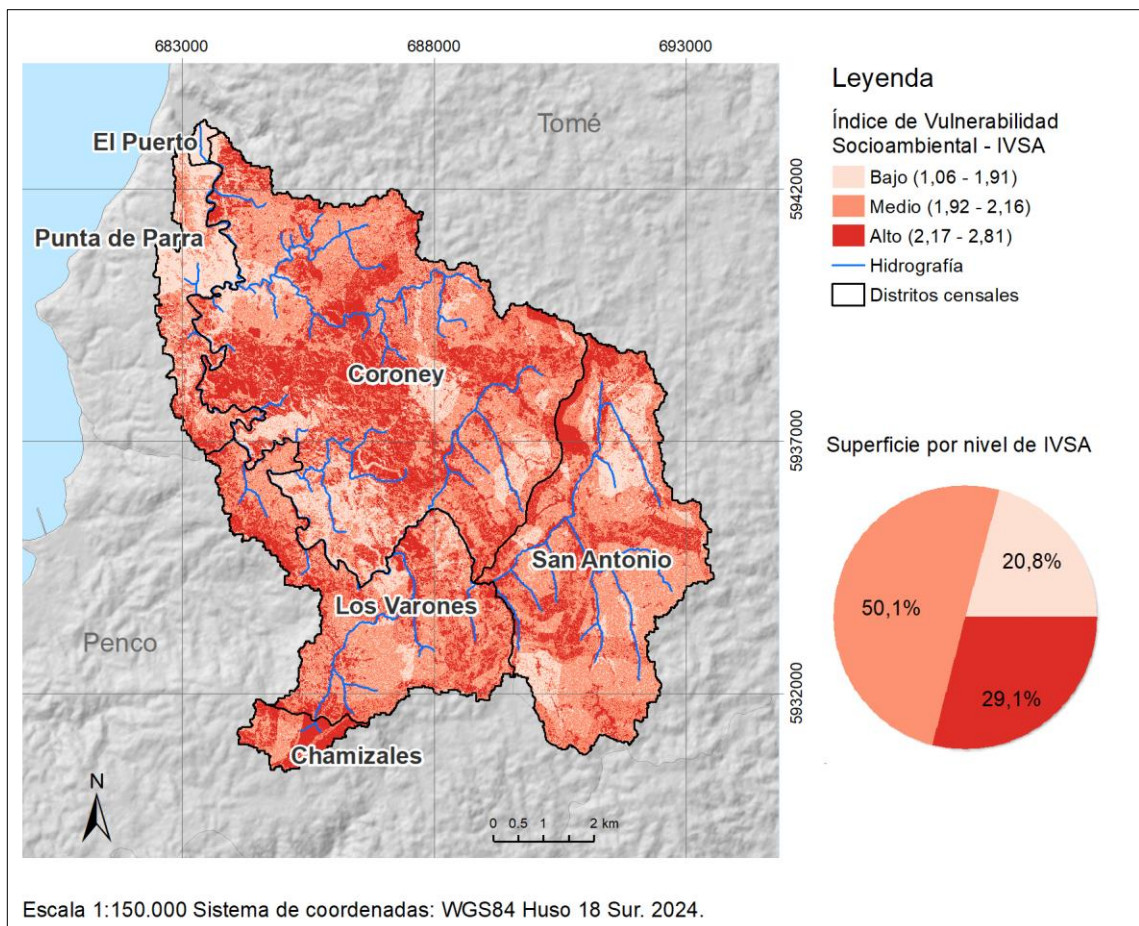
Fuente: Elaboración propia.

Los valores medios de IVS (43,9) se distribuyen de manera irregular con una tendencia hacia ocupar los sectores que bordean el sector suroeste y sureste de la subcuenca. La superficie con nivel bajo de IVS (4,7%), se presenta en los distritos urbanos de Bellavista y Punta de Parra.

4.5 Índice de vulnerabilidad socioambiental (IVSA) de la subcuenca del estero Bellavista

El resultado del índice de vulnerabilidad socioambiental IVSA para la subcuenca del estero Bellavista (Figura 27), arrojó como resultado que un 29,1% de su superficie se encuentra en un nivel alto de vulnerabilidad socioambiental el que se concentra en el sector medio de la subcuenca.

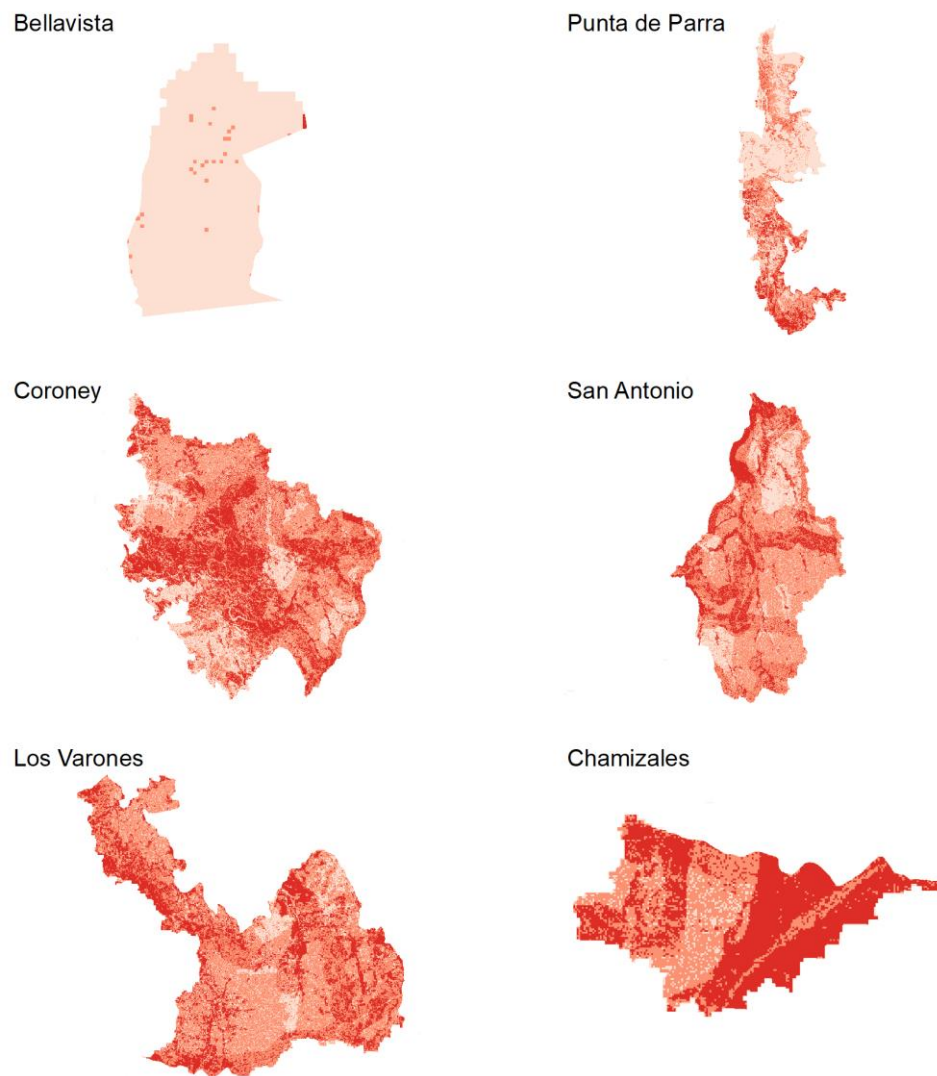
Figura 27: Mapa del Índice de vulnerabilidad socioambiental - IVSA



Fuente: Elaboración propia.

Un 50,1% de la superficie de la subcuenca presenta un nivel medio del IVSA, mientras que un 20,8% de su superficie presenta un IVSA bajo, el cual se concentra en el sector noroeste de la subcuenca, principalmente en los distritos urbanos del área de estudio.

Figura 28: IVSA por distrito censal



Fuente: Elaboración propia.

A nivel de distrito censal (Figura 28), se observa que los distritos con menor Vulnerabilidad socioambiental estimada a través del valor en el IVSA corresponden a los distritos El Puerto, donde casi la totalidad de la cuenca (97,1%) presenta un valor bajo, seguido de Punta de Parra, donde un 48,9% de su superficie presenta un valor bajo del IVSA.

Dentro de los distritos con mayor superficie de IVSA alto, destaca el distrito Chamizales con un valor alto del IVSA en un 55,4% de su superficie, así como también los distritos Coroney y Los Varones con un 32,7% y un 29,0% respectivamente (Tabla 9).

Tabla 9: Superficie de IVSA por distrito censal

Distrito	Bajo (%)	Medio (%)	Alto (%)
Chamizales	6,7	37,9	55,4
Coroney	20,1	47,2	32,7
Los Varones	14,3	56,7	29,0
San Antonio	20,4	56,0	23,6
Punta de Parra	48,9	35,5	15,7
El Puerto	97,1	1,2	1,7

Fuente: Elaboración propia.

5 DISCUSIÓN

La metodología empleada para analizar la vulnerabilidad socioambiental ante incendios forestales consideró la evaluación de diversos factores físicos de la amenaza (IAIF) y las condiciones sociales de su población (IVS). Posteriormente, a través de herramientas de integración espacial, se calculó el Índice de Vulnerabilidad Socioambiental (IVSA) para la subcuenca del estero Bellavista.

El análisis del Índice Amenaza de Incendios Forestales (IAIF) permitió identificar los sectores con mayor propensión al inicio y propagación de incendios forestales. Los resultados indican que un 16,2% de la superficie de la subcuenca del estero Bellavista presenta un nivel alto de amenaza a incendios forestales y un 40,7% presenta un valor medio. Es posible inferir que el menor potencial de inflamabilidad asociado a la cobertura vegetal, al ser la variable de mayor ponderación condicionó los resultados medio - altos del IAIF, en parte, debido a la superficie afectada por los incendios forestales de febrero de 2023.

En relación a los resultados del Índice de Vulnerabilidad Social (IVS), se identificó que los distritos rurales presentan una mayor vulnerabilidad social que las áreas urbanas en casi todas las variables analizadas, a excepción del factor edad en el que se observa que El Puerto presenta una mayor vulnerabilidad en relación a los grupos de edad más vulnerables.

De acuerdo a los resultados obtenidos del IVSA para los 6 distritos de la subcuenca del estero Bellavista, fue posible constatar que los distritos censales más expuestos a la amenaza de incendios forestales son aquellos con mayor nivel de vulnerabilidad social, donde se presenta un menor nivel socioeconómico, materialidad de viviendas más precaria, menor promedio de años de escolaridad educación, falta de normativas asociadas a la presencia de riesgos naturales en los instrumentos de planificación y falta de un trabajo localizado en los planes de prevención de incendios forestales. Destaca el distrito Coroney, que representa un 47,6% de la superficie de la subcuenca, con un nivel medio – alto del IVSA en un 80% aprox. de su territorio. En contraposición, el distrito urbano El Puerto presenta sólo un 2,9% de su superficie con niveles de IVSA Medio-Alto.

Esta situación se ve acrecentada por las características propias de las áreas rurales, alejadas de los servicios e infraestructura asociada a las zonas urbanas que, en algunos casos, dificulta los procesos de respuesta a la emergencia, así como también los procesos de reconstrucción y/o entrega de ayudas posterior a un evento de incendio forestal.

Debido al desarrollo reciente que presenta el sector rural de la subcuenca del estero Bellavista, producto de las mejoras a la vialidad en los sectores San Antonio, Los Varones y Chamizales ubicados en la parte alta de la subcuenca e impulsados por la conexión con la ruta del Itata, además del explosivo crecimiento en los últimos 10 años del sector Punta de Parra, se recomienda reforzar el

análisis sobre la amenaza de incendios forestales, coordinar acciones interinstitucionales que posibiliten la ejecución de proyectos de mitigación y realizar un trabajo continuo con las comunidades presentes en el área de estudio para aumentar su capacidad de resiliencia. Todas estas medidas cobran mayor relevancia ante los impactos previstos producto del cambio climático (MMA, 2023¹⁹) para la zona centro sur del País.

¹⁹ Ministerio del Medio Ambiente, MMA. <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/proyecciones-climaticas/>

6 ALCANCES Y LIMITACIONES

A continuación, se presentan los alcances y limitaciones de este trabajo, considerando que, de acuerdo al modelo de vulnerabilidad socioambiental, su principal objetivo es la diferenciación territorial de grupos sociales en función de distintos niveles de vulnerabilidad socioambiental frente a incendios forestales, de forma tal de focalizar y priorizar esfuerzos en la prevención y/o mitigación de los impactos adversos de los incendios forestales.

La influencia de la variable asociada al potencial de inflamabilidad deja entrever el carácter dinámico de este trabajo, así como también, que la comprensión del riesgo, en sus dimensiones física y social, debe disponer de insumos actualizados, situación que pone de manifiesto que los resultados obtenidos a través del presente trabajo pueden verse modificados en un corto plazo producto del rápido crecimiento de las plantaciones de eucaliptos.

Los insumos utilizados para las variables vinculadas al Índice de Vulnerabilidad Social (IVS) provenientes del CENSO 2017, no es la óptima para la correcta caracterización de la vulnerabilidad social al año 2024, en cuanto no da cuenta del presente de los distritos censales en los últimos 7 años desde su aplicación y las nuevas dinámicas de crecimiento del sector rural post pandemia.

En relación al IVS, el trabajo realizado consideró la recolección indirecta de información asociada a medidas de mitigación y planes de emergencia locales

por intermedio de gestores locales de planes de prevención y mitigación del riesgo de incendios forestales, tanto a nivel municipal, a través del Encargado de Emergencia Comunal, así como también, por medio de las monitoras de la Red de Prevención Comunitaria de la comuna Tomé. Idealmente, una óptima caracterización de las vulnerabilidades de un territorio determinado debe considerar una investigación social más profunda, que incluya la recolección de información directa de las comunidades involucradas, situación que por motivo del tiempo para el desarrollo de este trabajo se abordó de la manera antes mencionada, y que además permitiera una ponderación diferenciada de las involucradas en el cálculo del IVS.

7 CONCLUSIONES

La ocurrencia de incendios forestales en la subcuenca del estero Bellavista ha causado importantes daños, entre ellos, los incendios ocurridos en 2023 que afectaron a un tercio de la superficie de la subcuenca. Por lo tanto, se hace necesario el desarrollo de indicadores que contribuyan al monitoreo y atención a los grupos más vulnerables (Ojeda, 2018), por medio de herramientas que permitan medir y hacer seguimiento de los distintos niveles de vulnerabilidad y por consiguiente de las desigualdades territoriales.

En este sentido, los resultados obtenidos dan cuenta de lo planteado por Kaztman (2018), en relación a cómo el enfoque de vulnerabilidad permite explicar las desventajas sociales de distintos grupos sociales, permitiendo la identificación, para el caso de la subcuenca del estero Bellavista, que los distritos Coroney, Chamizales y Los Varones corresponden a aquellos con mayor IVSA, y por consiguiente, donde se deben priorizar esfuerzos para disminuir los niveles vulnerabilidad socioambiental para mitigar los efectos adversos asociados a los incendios forestales.

Además, se estableció una relación entre los espacios más vulnerables y con un mayor grado de susceptibilidad a incendios forestales en los distritos rurales de la subcuenca, en contraste con los distritos urbanos, los cuales presentan menor vulnerabilidad social, además de un menor grado de susceptibilidad a la amenaza de incendios forestales.

Las medidas planes, programas y proyectos que los gobiernos locales desarrollen para mitigar los incendios forestales deben ser acompañados desde la planificación territorial, generando instrumentos que consideren normativas adecuadas y estrictas en relación a los usos de suelo para las áreas de riesgos, así como también, áreas de amortiguación y proyección de vialidades que contribuyan a la mitigación de los efectos de los incendios forestales. Para esto, es indispensable disponer de insumos técnicos que permitan zonificar la amenaza y comprender la vulnerabilidad socioambiental, de forma tal de contribuir a desarrollar comunidades más resilientes a los incendios forestales.

Finalmente, este trabajo contribuyó a la operacionalización del concepto de vulnerabilidad socioambiental (Almeida, 2010), ya que, por medio del cálculo del IVSA, posibilitó la diferenciación de los distritos censales de la subcuenca del estero Bellavista de acuerdo a su nivel de vulnerabilidad socioambiental, lo que a su vez, permite priorizar la inversión público/privada para la generación de proyectos tendientes a mejorar las condiciones de las comunidades más vulnerables y la construcción de territorios más resilientes ante incendios forestales.

8 REFERENCIAS

- Aguilar, M. (2018). *La clasificación climática de W. Köppen*. Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Alfaro, G. (2021). *Evaluación del riesgo de incendios forestales en la interfaz urbano rural de Concepción, integrando herramientas de gis, machine learning y simulación espacial*. Tesis para optar al grado de Magíster en Gestión de Operaciones. Universidad de Chile.
- Álvarez, J.R. (En prensa): "*Neopositivismo y ciencias humanas: filosofía de la ciencia y Geografía*", Actas del VI Encuentro de la Sociedad Castellano-Leonesa de Filosofía (noviembre de 1990).
- Almeida, L. (2010) - *Vulnerabilidades socioambientais de rios urbanos. Bacia hidrográfica do rio Maranguapinho. Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará. Post-Graduate in Geography. Instituto de Geociências e Ciências Exatas/ Unesp, Rio Claro (São Paulo, Brazil), Doctoral Thesis, 278p*. DOI: https://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/brc/33004137004P0/2010/almeida_lq_dr_rcla.pdf
- Almeida, L. (2014). *Conceptual basis of science of risks in the geography: a brief discussion*. Territorium. 21. 13. 10.14195/1647-7723_21_2.
- Aneas de Castro, S. (2000): *Riesgos y peligros: una visión desde la Geografía*. SCRIPTA NOVA. Barcelona: Universidad de Barcelona, noviembre de 2000, N° 60. ISSN:1138-9788. <http://www.ub.edu/geocrit/sn-60.htm>
- Bayón-Martínez, P. (2016). *El pensamiento geográfico en la percepción de riesgos por peligros hidrometeorológicos extremos: estudio de caso Mariel, Cuba*. Revista Geográfica De América Central, 1(56), 113-135. <https://doi.org/10.15359/rgac.1-56.5>
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, Wisner, B. (1996). *Vulnerabilidad: el entorno social, político y económico de los desastres*. Lima: La Red. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.
- Campos-Vargas, M., Toscana-Aparicio, A., & Alanís, J.C. (2015). Riesgos socionaturales: vulnerabilidad socioeconómica, justicia ambiental y justicia espacial. Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía, 24, 53-69.

- Cardona, O. *Estimación Holística del Riesgo Sísmico Utilizando Sistemas Dinámicos Complejos*. Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya, 2001.
- Ciocca, I., Fernández, A., Castillo, E., Justino, F., Schumacher, V., Silva, A., Muñoz, A., De la Barrera, F. (2023). Increased wildfire hazard along South-Central Chile under the RCP8.5 scenario as revealed by high-resolution modeling. *Environmental Research Letters*. 18. 13. 10.1088/1748-9326/acba33.
- CONAF. (2006). Documento de trabajo 432. 2° Edición 2006. Obtenido de https://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1367246584Manual_VIII.pdf
- CONAF. (2022). Estadísticas - Ocurrencia Nacional de Incendios Forestales. Temporada 1985 - 2022. <https://www.conaf.cl/incendios-forestales/incendios-forestales-en-chile/estadisticas-historicas/>
- CONAF. (2022). Estadísticas - Incidencia de incendios de magnitud. Temporada 1985 - 2022. Obtenido de <https://www.conaf.cl/incendios-forestales/incendios-forestales-en-chile/estadisticas-historicas/>
- CONAF. (2023). Incendios Forestales en Chile. Obtenido de <https://www.conaf.cl/incendios-forestales/incendios-forestales-en-chile/>
- Chuvieco, E. Y Martín, M. (2004). *Métodos para la integración de variables de riesgo: el papel de los sistemas de información geográfica*. En E. y. Chuvieco, Nuevas tecnologías para la estimación del riesgo de incendios forestales (págs. 143-176). Madrid.
- Cuevas, F. 2015. *Evaluación de la peligrosidad fluvial en el curso inferior de la cuenca del estero Bellavista, sector Bellavista Tomé, Región del Biobío*. Tesis para optar al Título de Geógrafo. Universidad de Concepción. Chile. <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/9743>
- Cutter, S., Barnes, I., Berry, M., burton, C., Evans, E., Tate, E; Webb, J. (2008): *A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. Global Environmental Change*. Department of Geography and Hazards & Vulnerability Research Institute, University of South Carolina, Columbia, SC 29223, USA. 18, p. 598-606.
- Cutter, Susan & Emrich, Chris. (2006). *Moral Hazard, Social Catastrophe: The Changing Face of Vulnerability Along the Hurricane Coasts*. *Annals of The American Academy of Political and Social Science - ANN AMER ACAD POLIT SOC SCI*. 604. 102-112. 10.1177/0002716205285515.

- Díaz-Hormazábal I, ME González. 2016. *Análisis espacio-temporal de incendios forestales en la región del Maule, Chile*. Bosque 37(1): 147-158. DOI: <https://doi.org/10.4067/s0717-92002016000100014>
- Douglas, Mary D. (1996). Aceptabilidad del riesgo según las ciencias sociales. Barcelona: Paidós.
- Etcheberria, P., Brazaola, A., Edeso, J. (2002). *Cartografía de peligro de incendios forestales mediante sistemas de información geográfica y modelo de propagación*. XIV Congreso internacional de ingeniería gráfica. Santander, España.
- Gallegos Rodríguez, Agustín & González, Gerardo & Gerardo, Ramón & Orozco, Cabrera & Marcelli, Columba & Hernández, Efrén. (2014). *Efecto de la recurrencia de incendios forestales en la diversidad arbórea*. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. 5. 110.
- Garay Moena, R., Castillo, M., Tapia, R. (2021). *Viviendas ubicadas en áreas de riesgo de incendios forestales de interfaz. Un análisis territorial y normativo desde Chile*. ACE: Architecture, City and Environment, 16 (46), 9523. DOI: <http://dx.doi.org/10.5821/ace.16.46.9523>
- García Acosta, V., (2005). *El riesgo como construcción social y la construcción social de riesgos*. Desacatos, (19), 11-24. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1607-050X2005000300002&lng=es&tlng=es
- González, M., Sapiains, R., Gómez-González, S., Garreaud, R., Miranda, A., Galleguillos, M., Jacques, M., Pauchard, A., Hoyos, J., Cordero, L., Vásquez, F., Lara, A., Aldunce, P., Delgado, V., Arriagada, Ugarte, A., Sepúlveda, A., Farías, L., García, R., Rondanelli, R., Ponce, R., Vargas, F., Rojas, M., Boisier, J. C., Carrasco, Little, C., Osses, M., Zamorano, C., Díaz-Hormazábal, I., Ceballos, A., Guerra, E., Moncada, M., and Castillo, I. (2020). *Incendios forestales en Chile: causas, impactos y resiliencia*. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2, (ANID/FONDAP/15110009), page 84.
- Hewitt, K. 1983. *The Idea of Calamity in a Technological Age*. En *Interpretations of Calamity*, en idem, 3-32. Boston: Allen & Unwin.
- Jaque, E., Ojeda, C., & Díaz, P. (2019). Vulnerabilidad educativa ante incendios forestales en el Área Metropolitana de Concepción. Caso de estudio: Penco, Chile. ESTUDIOS SOCIOTERRITORIALES. Revista de Geografía., 25.

- Jaque, E., Fernández, A., Fuentes, R., & Ojeda, C. (2021). Data-based wildfire risk model for Mediterranean ecosystems. Study case of Concepcion Metropolitan Area in Central Chile. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 1-20.
- Jordán, R., Sabatini, F. Economía política de los desastres naturales: prevención y capacitación. *EURE*, 1998, vol. 14, N° 43, p. 53-77.
- Kaztman, R. (2018). *Capacitación en Enfoque sobre Activos, Vulnerabilidad y Estructura de Oportunidades AVEO*. La Habana: FLACSO Cuba, Universidad de La Habana, Fundación Friedrich Ebert.
- Lavell, A. (2004). *La red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, LA RED: antecedentes, formación y contribución al desarrollo de los conceptos, estudios y la práctica en el tema de los riesgos y desastres en América latina: 1980-2004*. Panamá: Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, noviembre.
- Narváez, L., Lavell, A., Pérez, G. (2009). *La Gestión del Riesgo de Desastres: Un enfoque basado en procesos*. Proyecto Apoyo a la Prevención de Desastres en la Comunidad Andina - PREDECAN, Biblioteca Nacional del Perú, año 2009 pp. 35.
- Novo, Ana & Fariñas Álvarez, Noelia & Martínez-Sánchez, Joaquin & González-Jorge, Higinio & Fernández-Alonso, José & Lorenzo, Henrique. (2020). Mapping Forest Fire Risk - A Case Study in Galicia (Spain). *Remote Sensing*. 12. 3705. 10.3390/rs12223705.
- Ramos Ojeda, Daliana. (2019). Entendiendo la vulnerabilidad social: una mirada desde sus principales teóricos. *Revista Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*, 7(1), 139-154. Epub 01 de septiembre de 2019. Recuperado en 05 de marzo de 2024, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2308-01322019000100139&lng=es&tlng=es.
- Olcina, J. Ayala-Carcedo, F. Riesgos naturales. (2002). *Conceptos fundamentos y clasificación*. En: Ayala-Carcedo F. y Olcina, J. (coord.). *Riesgos Naturales*. Barcelona: Ariel S.A, 2002.
- Rojas, O. & Martínez, C (2011). *Riesgos naturales: evolución y modelos conceptuales*. *Revista Universitaria de geografía*, 20, 83-116.
- Martínez, C. (2013). *Vulnerabilidades y desastres socio-naturales: aportes desde la geografía al proceso de reconstrucción en la región del Biobío*. *Revista Geográfica del Sur*. 4 (6): 33-57.

- Ministerio del Interior y Seguridad Pública Gobierno de Chile (2020). Política Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres. Plan Estratégico Nacional, 2020-2030.
<https://repositoriodigital.onemi.gov.cl/handle/123456789/4110>
- Ramos Ojeda, D. (2019). *Entendiendo la vulnerabilidad social: una mirada desde sus principales teóricos*. Revista Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina, 7(1), 139-154. Epub 01 de septiembre de 2019. Recuperado en 25 de junio de 2023, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S230801322019000100139&lng=es&tlng=es.
- Ruiz, N. *La definición y medición de la vulnerabilidad social. Un enfoque normativo*. Investigaciones Geográficas. 77 (1), 63. DOI:<https://doi.org/10.14350/rig.31016>.
- Tapia, R. (2015). *Terremoto 2010 en Chile y vivienda social: Resultados y aprendizajes para recomendación de políticas públicas*. Tesis doctoral. Departamento de Urbanística y Ordenación del Territorio, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid, España. <https://oa.upm.es/39845/>
- UNDRR. (2021). *Hazard Definition & Classification Review, Technical Report*. Sendai Framework for risk reduction 2015-2030.
- Vera J. y Albarracín A. (2017), “Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas,” Ciencia e Ingeniería Neogranadina, vol. 27, no. 2, p. 109-136. DOI: <http://dx.doi.org/10.18359/rcin.2309>
- Zelada, A. (2005). *Estudio diagnóstico y elaboración del plan regulador comunal de Tomé. Región del Biobío*. Plan Regulador Comunal de Tomé. 2008. Ilustre municipalidad de Tomé. Chile.