



Universidad de Concepción
Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía
Depto. Geografía
Magíster Análisis Geográfico



Amenaza de Incendio Forestal en las comunas carboníferas de la Provincia de Concepción: casos de Coronel y Lota.

Estudiante: Darío Antonio Almendra Vásquez.

Profesora guía: Edilia Jaque Castillo

Concepción, Universidad de Concepción, noviembre 2021.

ÍNDICE GENERAL

I.	RELEVANCIA- INTRODUCCIÓN	7
II.	OBJETIVOS	13
	3.1 OBJETIVO GENERAL.....	13
	3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
III.	MARCO REFERENCIAL.....	14
	4.1 RIESGO DE DESASTRE	14
	4.2 CAMBIO CLIMÁTICO.....	16
	4.3 AMENAZA DE INCENDIOS FORESTALES	18
IV.	METODOLOGÍA	22
	5.1 ÁREA DE ESTUDIO.....	22
	5.2 ESQUEMA METODOLÓGICO	24
	5.3 VALORES DE VARIABLES.....	25
	5.3.1 Inflamabilidad.....	25
	5.3.2 Altitud.....	26
	5.3.3 Radiación solar	27
	5.3.4 Temperaturas máximas	27
	5.3.5 Precipitaciones	27
	5.3.6 Usos de suelo	28
	5.3.7 Medio antrópico	28
V.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	29
	6.1 VARIABLES NATURALES	29
	6.1.1 Inflamabilidad.....	29
	6.1.2 Altitud.....	30
	6.1.3 Radiación solar	31
	6.1.4 Temperaturas máximas.	32
	6.1.5 Precipitaciones.....	33
	6.2 VARIABLES ANTROPICAS	34
	6.2.1 Usos de Suelo.	34
	6.2.2 Medio Antrópico.....	36
	6.3 AMENAZA DE INCENDIOS FORESTALES	37
VI.	DISCUSIÓN	42
VII.	CONCLUSIONES	45
VIII.	BIBLIOGRAFÍA	48

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa N°1: Número de incendios y áreas quemadas por región, entre los años 1985 y 2018.	12
Mapa N° 2: Localización de área de estudio, Coronel y Lota, comunas carboníferas de la provincia de Concepción.....	23
Mapa N°3: Índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI) de las comunas de Coronel y Lota.	29
Mapa N°4: Índice de infrarrojo de diferencia normalizada (NDII) de las comunas de Coronel y Lota.	29
Mapa N°5: Reclasificación de la Inflamabilidad, según valores del modelo de amenaza propuesto para Coronel y Lota.....	30
Mapa N°6: Reclasificación de la Altitud, según valores del modelo de amenaza propuesto para Coronel y Lota.	31
Mapa N°7: Reclasificación de la radiación solar, según valores del modelo de amenaza propuesto para Coronel y Lota.....	32
Mapa N° 8: Reclasificación de las temperaturas máximas en días de verano, según valores del modelo de amenaza propuesto para Coronel y Lota.....	33
Mapa N° 9: Reclasificación de las precipitaciones en días de verano, según valores del modelo de amenaza propuesto para Coronel y Lota.....	34
Mapa N°10: Usos de suelo en las comunas de Coronel y Lota.....	35
Mapa N°11: Buffer de elementos antrópicos, según valores del modelo de amenaza propuesto para Coronel y Lota.....	36
Mapa N°12: Reclasificación de niveles de amenaza de incendio forestal, según valores del modelo de amenaza propuesto para Coronel y Lota.....	37
Mapa N°13: Reclasificación de niveles de amenaza de incendio forestal y focos de incendios forestales años 2010 a 2020, según valores del modelo de amenaza propuesto para Coronel y Lota.	38
Mapa N° 14: Reclasificación de niveles de amenaza de incendio forestal en la trama urbana de Coronel y Lota.	40
Mapa N°15: Reclasificación de niveles de amenaza de incendio forestal en las entidades rurales de Coronel y Lota.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1: Número de incendios forestales periodo 2011/2012 a 2019/2020, comunas de Lota y Coronel.	9
Figura N°2: Porcentaje de superficie de plantaciones forestales por región en Chile.	9
Figura N°3: Número de incendios forestales entre los años 2008-2018, región del Biobío.	10
Figura N°4: Superficie afectada por incendios forestales entre los años 2008-2018, región del Biobío.....	11
Figura N°5: Condiciones meteorológicas medias entre los 7 días previos y 7 días posteriores a la ocurrencia de grandes incendios forestales en la zona centro-sur.	19

Figura N°6: Gráfico de dispersión entre un índice de temperatura máxima de verano y el área quemada total (en escala logarítmica) considerando el periodo 1985 y 2018.	20
Figura N°7: Magnitudes radiométricas	21
Figura N°8: Esquema metodológico para la evaluación de la amenaza de incendios forestales, basado en variables naturales y antrópicas.	24

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Valores categorizados de índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI).	26
Tabla N°2: Valores categorizados de índice infrarrojo de diferencia normalizada (NDII)..	26
Tabla N°3: Esquema de categorización de valores de inflamabilidad.	26
Tabla N°4: Categorización de valores de inflamabilidad.	26
Tabla N°5: Categorización de valores de altitud.....	26
Tabla N°6: Categorización de valores de radiación solar.	27
Tabla N°7: Categorización de valores de temperatura máximas en días de verano.....	27
Tabla N°8: Categorización de valores de precipitaciones en días de verano.	27
Tabla N°9: Categorización de valores de usos de suelo.	28
Tabla N°10: Categorización de elementos antrópicos.....	28
Tabla N° 11: Número de focos de incendios forestales año 2010 a 2020, según cobertura de suelo de las comunas de Coronel y Lota.	39
Tabla N° 12: Número de focos de incendios forestales año 2010 a 2020, según niveles de amenaza para elementos del medio antrópico, en las comunas de Coronel y Lota.	39
Tabla N° 13: Cuadro comparativo de investigaciones realizadas en la región del Biobío en base al modelo de Etxeberria, (2002).	44

RESUMEN

Los incendios forestales han demostrado ser un peligro recurrente en los últimos decenios, la vulnerabilidad de Chile frente al cambio climático y los modelos económicos que promueven actividades silvícolas de monocultivo forestal, son agentes fundamentales en la ocurrencia de estos eventos. Las comunas del área metropolitana de Concepción (AMC) muestran claramente los conflictos de uso de suelo entre el crecimiento urbano y las plantaciones forestales que lo limitan. Seleccionamos dos comunas del AMC; Coronel y Lota, para evaluar la amenaza de incendio forestal, usando un modelo automatizado en SIG y adaptado a las condiciones locales y climatológicas.

Para el análisis de amenaza de incendio forestal se cuantificaron variables antrópicas (medio construido y coberturas de suelo) y variables naturales (Altitud, inflamabilidad, temperaturas máximas, precipitaciones y radiación solar). Es en estas últimas variables donde es más notable la modificación al modelo de amenaza de incendio forestal con la incorporación de las temperaturas máximas de los últimos 30 años en los días de verano y los periodos con menos precipitaciones en el mismo periodo de tiempo.

Se les asignó un peso a cada variable de análisis que permitió realizar una zonificación de amenaza de incendio. Los resultados indican que la superficie de las comunas con alto nivel de amenaza por incendio forestal corresponde al 50,34 % (18260,9 ha.), el nivel medio al 24,47% (8875,96 ha.) y el nivel bajo al 25,19% (9137,48 ha.). Dentro de la trama urbana la amenaza alta por incendio forestal es del 6% en Coronel y 12% en Lota, lo que sumado corresponde a 228,9 ha.

A modo de validación, los resultados se cruzaron con los focos de incendios forestales del periodo 2010 al 2020, lo que arrojó que el 40,6% coinciden con las áreas de alta amenaza y el 25,98% con las áreas de amenaza media. También los resultados mostraron que la trama urbana de Coronel tiene un 6% de amenaza alta, mientras que la trama urbana de la comuna de Lota un 12% y estas se sitúan principalmente en las quebradas de esta última comuna.

Se concluye que los elementos climatológicos son relevantes para la evaluación de incendios forestales, debido a que hay coincidencia entre el periodo de mayor número e intensidad de incendios forestales con altas temperaturas, bajas humedades relativas del aire y sequías.

Palabras claves: Incendios forestales, amenazas naturales, temperaturas máximas, precipitaciones, radiación solar.

ABSTRACT

Forest fires have proven to be a recurring danger in recent decades, Chile's vulnerability to climate change and economic models that promote monoculture forestry silvicultural activities are fundamental agents in the occurrence of these events. The communes of the metropolitan area of Concepción (AMC) clearly show the conflicts of land use between urban growth and the forest plantations that limit it. We selected two communes of the AMC; Coronel and Lota, to assess the threat of forest fire, using an automated GIS model adapted to local and weather conditions.

For the forest fire threat analysis, anthropic variables (built environment and ground cover) and natural variables (altitude, flammability, maximum temperatures, rainfall and solar radiation) were quantified. It is in these last variables where the modification to the forest fire threat model is most notable with the incorporation of the maximum temperatures of the last 30 years on summer days and the periods with less rainfall in the same period of time.

A weight was assigned to each analysis variable that allowed a fire threat zoning to be carried out. The results indicate that the area of the communes with a high level of threat from forest fire corresponds to 50.34% (18,260.9 ha.), The average level to 24.47% (8,875.96 ha.) And the low level at 25.19% (9137.48 ha.). Within the urban fabric, the high threat from forest fire is 6% in Coronel and 12% in Lota, which added corresponds to 228.9 ha.

By a way of validation, the results were compared with the forest fire outbreaks from 2010 to 2020, which showed that 40.6% coincide with areas of high threat and 25.98% with areas of medium threat. The results also showed that the urban fabric of Coronel has a 6% high threat, while the urban fabric of the commune of Lota 12% and these are located mainly in the ravines of the latter commune.

It is concluded that the climatological elements are relevant for the evaluation of forest fires, because there is a coincidence between the period of greatest number and intensity of forest fires with high temperatures, low relative humidity and droughts.

Keywords: Forest fires, natural hazards, maximum temperatures, rainfall, solar radiation

I. RELEVANCIA- INTRODUCCIÓN

En muchas regiones del mundo los incendios están siendo cada vez más frecuentes y severos. Las principales causas de estos patrones se asociarían tanto a cambios en el clima como en las prácticas de uso de la tierra (Urrutia et al., 2011). Los incendios forestales se presentan de una manera muy variable entre un país y otro, por las diferencias en las condiciones climáticas, florísticas, topográficas, uso de la tierra, niveles culturales y comportamiento de las poblaciones humanas existentes entre las distintas regiones del mundo. Ello lleva a que el riesgo de ocurrencia de incendios y la peligrosidad de la propagación del fuego difieran en forma notable. Incluso, al analizar cada país por separado, internamente se pueden observar diferencias geográficas significativas en cuanto a la magnitud y características del problema y, también entre un año y otro debido a las fluctuaciones del clima (Castillo ME, Garfias, RA, Julio GH, Correa LA. 2013). A nivel global, se estima que ya solo un 4% de los incendios forestales tienen causas naturales (Hirschberger, 2016), El riesgo de fuegos está relacionado fuertemente con la actividad humana, especialmente en la intencionalidad, el tránsito de personas y el uso irresponsable del fuego para actividades agrícolas (Castillo, et. al. 2013)

Los incendios tienen repercusiones regionales que pueden ser bastante negativas, sobre todo cuando los ciclos históricos de recurrencia se modifican, ya por un cambio súbito en los patrones de ocupación del territorio (abandono de tierras en algunas zonas, colonización en otras), ya por los efectos indirectos del calentamiento global del planeta. En este entorno, resulta cada vez más evidente la importancia de contar con mejores herramientas para el conocimiento y gestión de los incendios (Chuvienco, et. al. 2007). Moreno et al. (2012), señala que ocurrencia de incendios es favorecida por vegetación inflamable y condiciones climáticas desecantes, como altas temperaturas, bajas humedades relativas del aire y sequía. Con el cambio climático aumentarán las temperaturas, así como la sequedad del suelo, lo que inducirá una elevación de la desecación de los combustibles vivos y muertos (Moreno et al., 2012).

La mayor actividad de incendios forestales se da en zonas tropicales y subtropicales con elevada productividad y elevada estacionalidad como es el caso de las sabanas, donde la elevada recurrencia de incendios no permite grandes la acumulación de suficiente biomasa combustible, por lo que los incendios en estos sistemas son de baja intensidad (Pausas, J. 2012). Existen ciertas zonas áridas donde hay suficiente vegetación herbácea, como por ejemplo el centro de Australia donde los incendios también son una parte importante del ecosistema. Veléz, R. (2011), señala que en Europa el riesgo de incendios forestales, está concentrado en los países del sur de Europa, que se ve incrementado por los cambios socioeconómicos de las últimas décadas: Despoblación de las áreas rurales, concentración de la población en las zonas urbanas, cambio en las prioridades de la política forestal. Según el informe del Fondo Mundial para la Vida Salvaje y la Naturaleza (WWF) del año 2019, en el continente europeo, más del 80% de la superficie total quemada por año pertenece a Portugal, España, Francia, Italia, Grecia y Turquía. En el caso de Portugal más del 90% de los incendios forestales tienen su origen en la intervención humana y a partir de los años 80 hacia la mitad de los años 2000, hubo un aumento de la aparición de incendios

de gran escala, lo cual aumentó los impactos ambientales y socioeconómicos (Rodrigues, 2010) En USA, más del 90% de los incendios forestales son causados por acciones humanas (Balch et al. 2017). En Chile, cerca del 100% de los incendios forestales tienen su origen por actividad humana, ya sea por descuidos o por negligencias en la manipulación de fuentes de calor, por prácticas agrícolas, forestales, recreacionales o intencionalidad (Haltenholff, 2010).

Otra zona, como es el caso de Chile, cuenta con una marcada influencia de clima mediterráneo sobre la ocurrencia y propagación de incendios forestales (Castillo, et al. 2013). En la zona mediterránea de Chile se concentra el mayor endemismo asociado a grado de amenaza y la mayor biodiversidad amenazada, con una rica flora y fauna autóctona. Durante los meses de enero y febrero de 2017, en parte importante de esta zona ocurrieron incendios forestales de gran magnitud e intensidad que impactaron, entre otros aspectos, los ecosistemas naturales que son de una alta relevancia global para la conservación de la biodiversidad (Valencia et al. 2018). Castillo, et al. (2013) señala las anteriores como las principales causas y que concentran las principales cifras de número de incendios para la región centro sur de Chile.

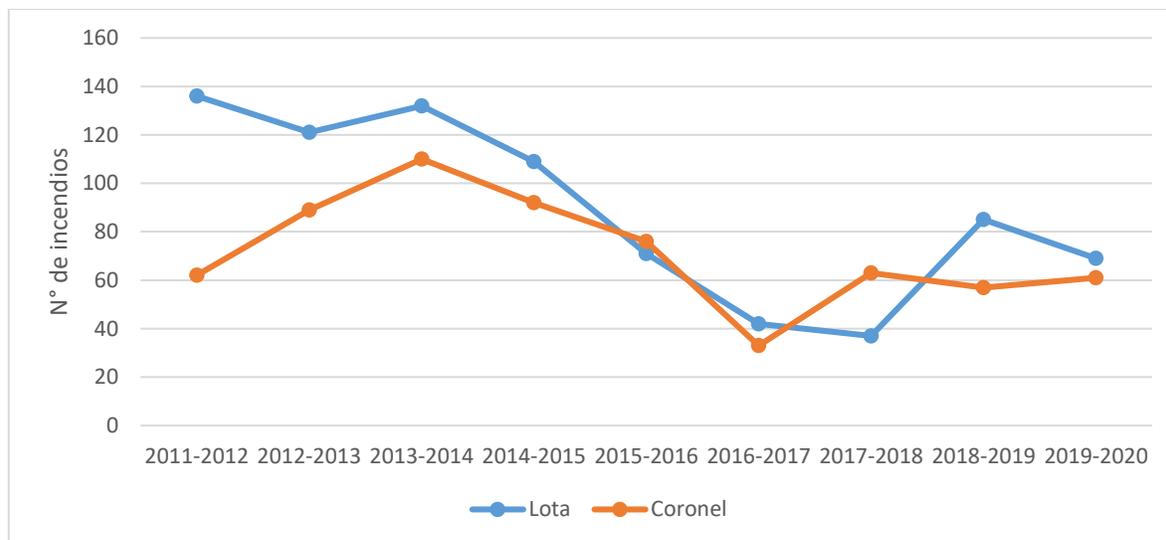
Chile es un país altamente vulnerable al cambio climático, cumpliendo con gran parte de los nueve criterios de vulnerabilidad enunciadas por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), los cuales son áreas costeras de baja altura; zonas áridas y semiáridas; zonas de bosques; territorio susceptible a desastres naturales; áreas propensas a sequía y desertificación; zonas urbanas con problemas de contaminación atmosférica; y ecosistemas montañosos (Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022). Estudios dendroclimáticos desarrollados en la zona central del país, han dado cuenta de un incremento significativo en la recurrencia de las sequías y disminución de las precipitaciones, así como de una mayor recurrencia de caudales menores a la media durante el siglo XX, comparado con siglos anteriores (Le Quesne et al. 2006, Christie et al. 2010, Urrutia et al. 2011).

Se han realizados estudios de evaluación de amenaza de incendios forestales tales como el de la provincia de Guipúzcoa, País Vasco, de Etxeberria et al., (2002), lo realizado por Barra (2013), en la comuna de Ránquil, Chile y con la investigación de Contreras (2015), en la comuna de Hualqui en la región del Biobío. En todos los casos se aplica la metodología propuesta por Etxeberria et al., (2002) sin considerar factores climatológicos. Es por lo anterior que en el presente estudio se modifica la metodología propuesta por Etxeberria del año 2002 y se integran variables de precipitaciones y temperaturas máximas en los meses de verano de los últimos 30 años, así como también, la radiación solar de doce horas de sol en un día de verano.

CONAF, 2010, realizó un estudio para establecer comunas crítica por riesgos de incendios forestales, ha establecido niveles de criticidad, siendo estos, criticidad extrema, alta y media; el resultado de dicho estudio arrojó un total de 29 comunas críticas, siendo 15 de éstas pertenecientes a la región del Biobío. Las comunas de Coronel y Lota están consideradas como una de las 29 comunas críticas a nivel nacional propuestas con CONAF

(2010), siendo Coronel una comuna de crítica de nivel medio y Lota una comuna crítica de nivel extremo siendo las comunas donde se desarrolló el presente estudio.

Figura N°1: Número de incendios forestales periodo 2011/2012 a 2019/2020, comunas de Lota y Coronel.



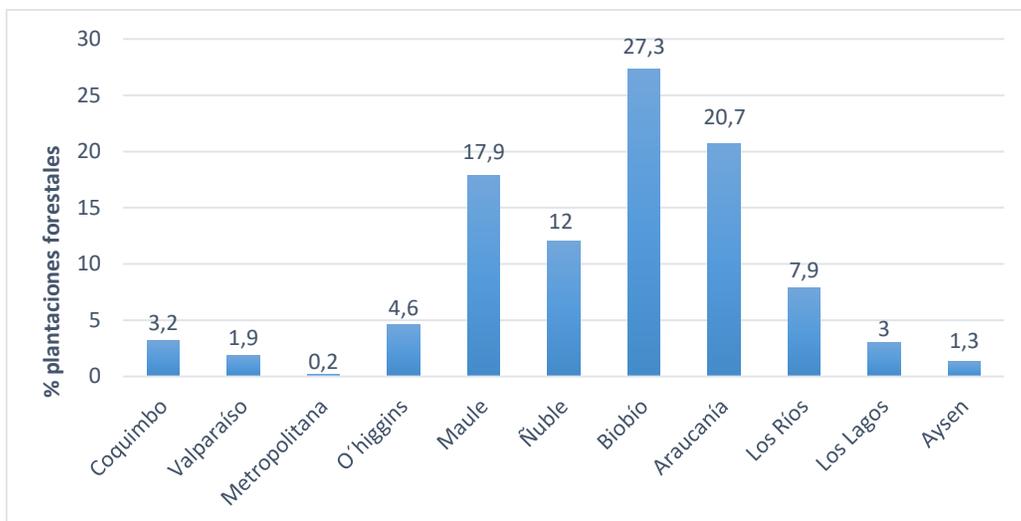
Fuente: Elaboración propia, con datos de CONAF, 2021.

En el último decenio, desde que ambas comunas fueron consideradas críticas, registraron en conjunto un total de 1.445 incendios forestales, donde Lota, comuna con nivel de criticidad extremo, tuvo 802 incendios forestales y Coronel, comuna con nivel de criticidad medio, tuvo 643 incendios forestales (CONAF, 2021). El detalle del registro de incendios forestales en ambas comunas se observa en la Figura n°1.

La relevancia de esta investigación está dada en que se integran elementos naturales territoriales, antrópicas y climáticas para evaluar la amenaza de incendios forestales en las comunas de Coronel y Lota, las que nacieron en torno a la explotación de las minas de carbón y hoy mayoritariamente tienen sus territorios cubiertos por plantaciones forestales. Para el caso de Coronel las plantaciones cubren 13.524,7 ha de un total de 27.701 ha a nivel comunal, mientras que la comuna de Lota cuenta con 8.104,1 ha cubiertas por plantaciones, de un total comunal de 11.425,6 ha (CONAF, 2019).

En Chile, en el año 1974 se instauró el modelo forestal que se basa en la instalación sistemática de monocultivos a gran escala de especies exóticas de pinos y eucaliptus, con esto se produjo un considerable aumento en la superficie de suelo forestal (Fréne, C. y Núñez, M. 2010). Según CONAF, las plantaciones forestales se concentran principalmente en las regiones del Maule, Biobío y La Araucanía contando el 54% del total de explotaciones agropecuarias y forestales (CONAF, 2019). Para diciembre del año 2019, las plantaciones forestales del país alcanzaron los 2.303 millones de hectáreas, lo que implica un incremento en la superficie de plantaciones en pie de 14.361 ha respecto del año anterior (INFOR, 2020).

Figura N°2: Porcentaje de superficie de plantaciones forestales por región en Chile.

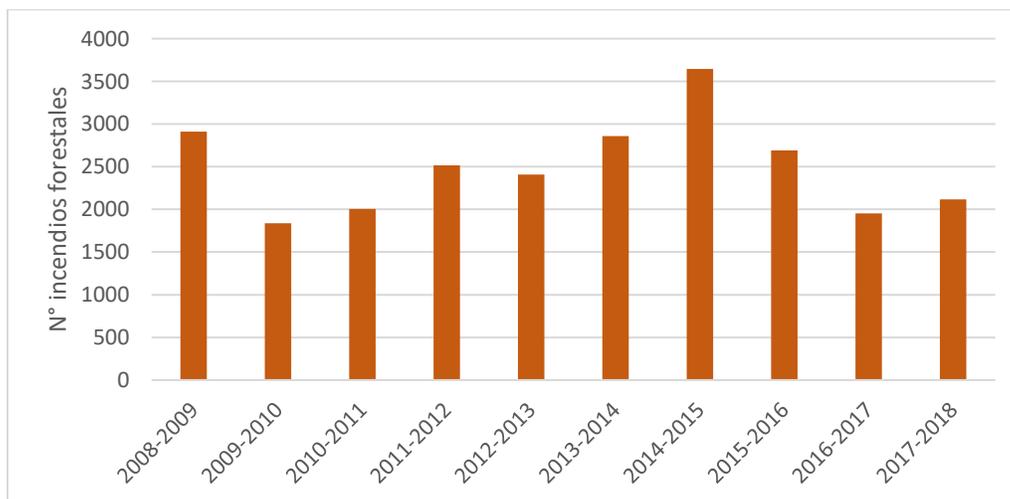


Fuente: Elaboración propia, con datos de INFOR, 2020.

Para el año 2019, luego de la separación de la región de Ñuble un año antes, la Región del Biobío alcanzó 1.524.387 ha suelos ocupados por bosques, de los cuales 875.178 corresponden a plantaciones forestales (CONAF, 2019). Además, la región del Biobío representa el 27,3% del total de superficies de plantaciones forestales en el país (Ver figura n°2).

En los últimos años los incendios forestales han ido en aumento en el territorio nacional (Ver figura n°3), lo que ha ocasionado tanto pérdidas humanas, como también pérdidas de viviendas e infraestructura, es así como lo muestra CONAF (2019) y las principales causas de estos son de tipo antrópico, asociadas principalmente a causas accidentales (tránsito, recreación, quema de desechos agrícolas) (Hantelhoff, 2010). Según lo establece Castillo (2011), el 99,8% de los incendios son causados por el hombre de forma intencional o accidental.

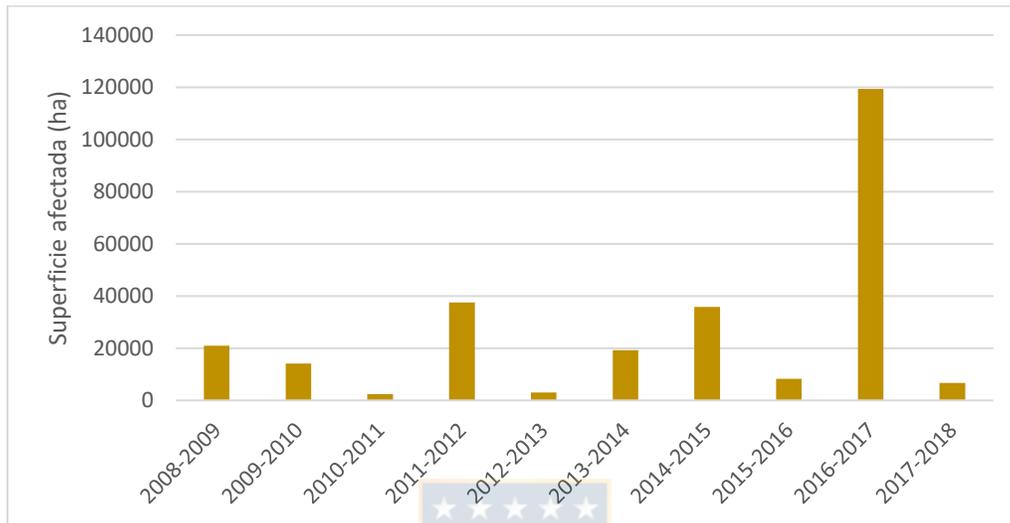
Figura N°3: Número de incendios forestales entre los años 2008-2018, región del Biobío.



Fuente: Elaboración propia, con datos de CONAF, 2020.

En Chile, según los registros del Centro de Ciencias del Clima y la Resiliencia (2020), el mayor número de incendios y área quemada se concentra entre las regiones de Valparaíso y La Araucanía (Ver figura n°4 y mapa n°1). De hecho, entre 1985 y 2018, el 92% de los incendios y el 89% de la superficie quemada en el país ocurrieron en esta zona.

Figura N°4: Superficie afectada por incendios forestales entre los años 2008-2018, región del Biobío.



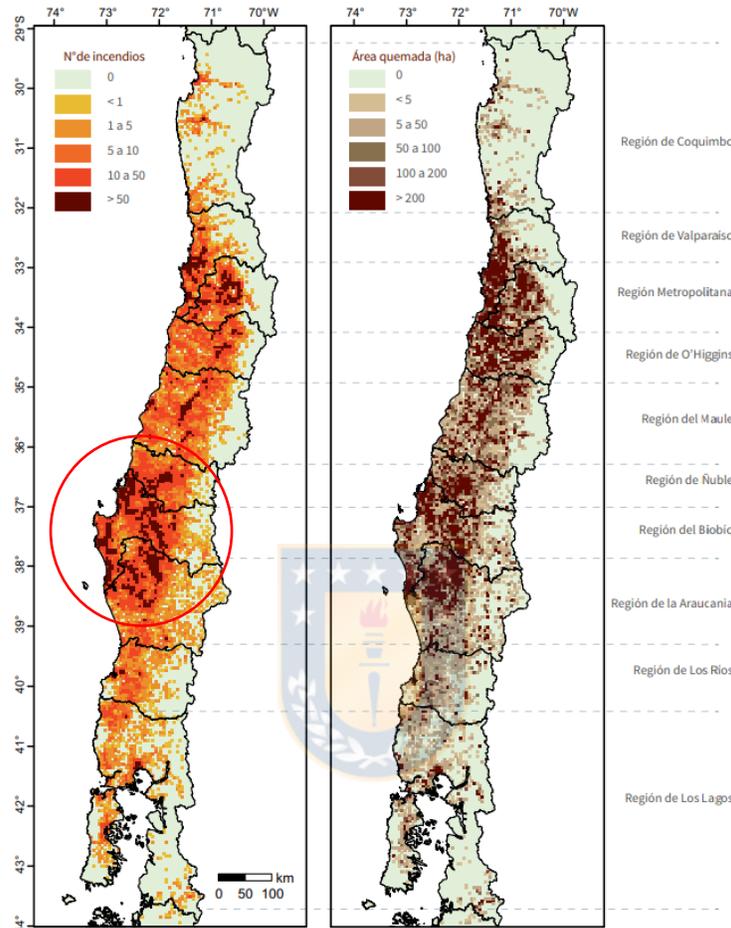
Fuente: Elaboración propia, con datos de CONAF, 2020.

La severidad de los incendios forestales no solo afecta a las grandes empresas del rubro, ya que según CONAF (2020), en la Región del Biobío se registran entre 2.000 a 3.000 incendios forestales combatidos en terrenos de pequeños propietarios, de un período que va desde 1 de julio hasta 30 de junio del siguiente año. En cuanto al daño causado en el último decenio, se ven cambios más agresivos registrando un máximo histórico en el período 2016-2017 alcanzando una superficie afectada de más de 119.409 ha (CONAF, 2020). En el período 2017-2018 en esta región ocurrieron más de 2.116 incendios forestales, afectando un total de superficie de 6.728 ha.

En varias comunas de la provincia de Concepción existen estudios relacionados con el riesgo de incendios forestales como el trabajo de Hedi del año 2019 en la comuna de Florida que investigó el nivel de cultura preventiva contra incendios forestales en zonas afectadas previamente por incendios forestales (Hedi, H. 2019). Asimismo, el trabajo realizado en la comuna de Hualqui por Contreras (2015), muestra que un 37% (196 km²) de la superficie de esa comuna tiene un alto grado de amenaza de incendio forestal y el 40% (214 km²) un grado medio, en condiciones de una alta vulnerabilidad global. Castillo, I. en 2016 construye una propuesta para elaborar un plan de emergencia y evacuación en caso de incendio en la comuna de Talcahuano, donde se investigaron las condiciones y diagnóstico del momento en materia de riesgo de incendio forestal, detectando puntos de vulnerabilidad, cuantificando superficies de bosque y plantaciones existentes, población en riesgo y procesos industriales que podrían ser afectados. Jaque, et al. 2019 evaluó la vulnerabilidad de la comunidad educativa en la comuna de Penco, ante la amenaza de incendio forestal,

contribuyendo a la construcción de un modelo de gestión de riesgo de desastre, cuya finalidad era disminuir la vulnerabilidad ante el fenómeno de incendio forestal.

Mapa N°1: Número de incendios y áreas quemadas por región, entre los años 1985 y 2018.



Fuente: Centro de Ciencias del Clima y la Resiliencia (cr2), 2020.

Es por lo anterior que se hace necesario incorporar en análisis locales a aquellas comunas de la provincia de Concepción que no cuentan con información especializada ni actualizada de sus niveles de peligro de incendio forestal como es el caso de las comunas de Lota y Coronel. Además, señalar que La relevancia de esta investigación está dada en que se integran elementos naturales territoriales, antrópicas y climáticas para evaluar la amenaza de incendios forestales en las comunas de Coronel y Lota, las que nacieron en torno a la explotación de las minas de carbón y hoy mayoritariamente tienen sus territorios cubiertos por plantaciones forestales. Para el caso de Coronel las plantaciones cubren 13.524,7 ha de un total de 27.701 ha a nivel comunal, mientras que la comuna de Lota cuenta con 8.104,1 ha cubiertas por plantaciones, de un total comunal de 11.425,6 ha (CONAF, 2019).

II. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la amenaza de incendios forestales en las comunas de Lota y Coronel, a través de un modelo espacial que incluya variables de climáticas y territoriales

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Espacializar datos climáticos de los últimos 30 años para construir índices que aporten a la integración de esta dinámica en el modelo de amenaza de incendios forestales.
2. Levantar datos espaciales asociados a las dinámicas territoriales como inflamabilidad, radiación, altitud, usos de suelo y medio construido.
3. Generar mapa de amenaza de incendios forestales para las comunas de coronel y Lota, región del Biobío y validar el mapa de amenaza con el registro histórico de los últimos 10 años de focos de incendios forestales de CONAF.



III. MARCO REFERENCIAL

4.1 RIESGO DE DESASTRE

La UNDRR en 2015, define la gestión del riesgo de desastres como el proceso sistemático de utilizar directrices administrativas, organizaciones, destrezas y capacidades operativas para ejecutar políticas y fortalecer las capacidades de afrontamiento, con el fin de reducir el impacto adverso de las amenazas naturales y la posibilidad de que ocurra un desastre. Cuando se habla de riesgo siempre se deben ver afectados los modos de vida de las personas, ya sea de forma intensa o leve, esto por un evento de tipo natural, es por eso que Lavell (2009), es la unión de la amenaza y la vulnerabilidad, denominado la probabilidad de pérdidas y daños en la población, infraestructura, bienes y el medio ambiente, que se puede presentar en el futuro bajo determinadas condiciones, estas pueden ser modificadas y es posible una actuación sobre ellas realizando una prevención o mitigación de estos para disminuir posibles consecuencias y pérdidas que se puedan presentar. Así también el riesgo natural es la posibilidad de que un territorio y la sociedad que lo habita pueda verse afectado por un fenómeno natural de rango extraordinario (Ayala y Olcina, 2002).

Foschiatti, (2009), señala que la ONU define el riesgo como el grado de pérdida previsto, debido a un fenómeno natural determinado y en función tanto del peligro natural como de la vulnerabilidad. Los riesgos varían según las culturas, género, la raza, la condición socioeconómica y las estructuras políticas, el riesgo es la probabilidad de ocurrencia de un peligro (Foschiatti, 2009).

Se define como la probabilidad de que el desastre suceda como consecuencia de la combinación de las amenazas con las condiciones de vulnerabilidad y puede ser estimado por el posible número de daños y pérdidas humanas, ambientales, materiales y económicas (Ortega, 2014). El riesgo es, en consecuencia, una condición latente que capta una posibilidad de pérdidas hacia el futuro. Esa posibilidad está sujeta a análisis y medición en términos cualitativos y cuantitativos (Lavell, 2001). Es así como Rojas, (2009), establece que el riesgo es la probabilidad de que en un lugar específico ocurra un peligro determinado de origen natural, y que pueda generar potenciales daños y pérdidas en las actividades humanas. Por ende, el riesgo solo puede ser definido a partir del cálculo de probabilidades con datos adecuados, ya sean de tipo cuantitativos o cualitativos.

Ayala-Carcedo y Olcina (2002), proponen que los riesgos naturales cuentan con la integración de sus factores, estos son aquellos que deben darse necesariamente para que exista un daño esperable, los cuales corresponden a peligrosidad, vulnerabilidad y exposición. Esto varía según autores, ya que Foschiatti, (2009) establece que el riesgo de desastre es la dimensión probable del daño en un periodo determinado, ante la presencia de una actividad peligrosa. La energía que puede desencadenarse se denomina amenaza y la predisposición a sufrir el daño, vulnerabilidad.

Según Lavell, (2001), el riesgo solamente puede existir al concurrir tanto una amenaza, como determinadas condiciones de vulnerabilidad. El riesgo se crea en la interacción de amenaza con vulnerabilidad, en un espacio y tiempo particular. De hecho, amenazas y vulnerabilidades son mutuamente condicionadas o creadas. No puede existir una amenaza sin la existencia de una sociedad vulnerable y viceversa. Un evento físico de la magnitud o intensidad que sea no puede causar un daño social si no hay elementos de la sociedad expuestos a sus efectos. De la misma manera hablar de la existencia de vulnerabilidades o condiciones inseguras de existencia es solamente posible con referencia a la presencia de una amenaza particular.

Para Foschiatti, (2009), el riesgo surge de la relación a priori entre la amenaza y la vulnerabilidad. Esta última y el riesgo están ligados a las decisiones políticas que se han adoptado a través del tiempo y dependen de su desarrollo. El concepto incluye la probabilidad de ocurrencia de un acontecimiento natural o antrópico y la valoración por parte del hombre en cuanto a sus efectos nocivos (vulnerabilidad). Es por eso que la magnitud del riesgo siempre está en función de la magnitud de las amenazas y las vulnerabilidades, las cuales, de igual manera que el riesgo, constituyen condiciones latentes en la sociedad (Lavell. A, 2001).

Wilches-Chaux, (1993), considera necesario volver a hacer énfasis en la íntima relación de doble vía existente entre riesgos y vulnerabilidades. Puesto que, "un fenómeno de la naturaleza (y obviamente uno de origen humano) sólo adquirirá la condición de riesgo cuando su ocurrencia se dé -o se prevea- en un espacio ocupado por una comunidad que debe afrontar las consecuencias de dicho fenómeno".

El riesgo, producto de la interrelación de amenazas y vulnerabilidades es, al final de cuentas, una construcción social, dinámica y cambiante, diferenciado en términos territoriales y sociales. Aun cuando los factores que explican su existencia pueden encontrar su origen en distintos procesos sociales y en distintos territorios, su expresión más nítida es en el nivel micro social y territorial o local. Es en estos niveles que el riesgo se concreta, se mide, se enfrenta y se sufre, al transformarse de una condición latente en una condición de pérdida, crisis o desastre (Lavell, A. 2001).

El riesgo es la plasmación territorial de una actuación humana poco acorde con los rasgos del medio donde tiene lugar, en otras palabras, es una infracción que el hombre comete sobre el territorio por la implantación inadecuada de actividades o asentamientos (Ayala y Olcina, 2002). Es decir, cuando el hombre no tiene conciencia de los eventos producidos por la naturaleza, que, sin importar la situación de amenaza o vulnerabilidad, desarrollan sus actividades o establecen sus asentamientos en lugares en situación de riesgo. Esto es definido por algunos autores como riesgo socionatural.

El riesgo socionatural se plantea, a partir de la relación entre la sociedad y el medio natural, como posible generadora de situaciones de riesgo de desastre, potenciado por la fuerza de los fenómenos naturales peligrosos, es decir, las amenazas (Lavell. A, 2001).

En lo que se refiere a la construcción social del riesgo se ha propuesto la idea de que este debe ser concebido desde una perspectiva socionatural, postura que destaca la interacción creciente de las actividades humanas y del tipo de construcción socioeconómica, como condicionantes en la génesis y/o magnificación de las amenazas o fenómenos naturales peligrosos. Esta noción de los riesgos, como socionaturales, es un tema que se analiza en relación con la generación y recreación de condiciones de vulnerabilidad y de desigualdades sociales y económicas, en las que la producción de nuevas amenazas o peligros se asocian directamente a una acumulativa construcción material del riesgo de desastre (García, 2005).

Desde esta perspectiva, se puede hablar de que los riesgos socionaturales son procesos generadores de situaciones latentes de daño y/o alteración en la estabilidad y en la cotidianidad de la vida de las personas, relacionados con condiciones de degradación e impacto ambiental, que magnifican o potencializan los procesos naturales de la dinámica terrestre, en combinación con situaciones estructurales de vulnerabilidad social, política o económica (Campos, Toscana, y Campos, 2015).

Hasta este momento ha quedado claro que la línea de pensamiento estriba en que la dinámica natural de la tierra puede generar una situación de amenaza y, en determinado momento, una concreción de situación de desastre, pero solo si existiera la participación de una sociedad vulnerable. Cabe señalar que existen fenómenos que se tornan peligrosos por las condiciones antrópicas que modifican su dinámica (Campos, et al., 2015).

4.2 CAMBIO CLIMÁTICO

Para González y Meira (2020) el cambio climático se posiciona como el desafío más relevante y complejo para la sociedad en el presente siglo. Éste es un fenómeno resultante del proceso evolutivo propio de la civilización, que está y seguirá, desestabilizando “los ciclos y dinámicas naturales y sociales de todo el globo” (p.157). Tenemos que el cambio climático es un fenómeno global, cuyo interés investigativo ha ido creciendo en lo científico, político, social y mediático, pues sus efectos, afectan y alteran prácticamente la todas las actividades humanas. (González y Meira, 2020; Schewe et al., 2019).

Arteaga y Burbano (2018) establecen que el cambio climático se puede visualizar desde el nivel socioeconómico “donde se evidencia la alta vulnerabilidad de las comunidades frente a las amenazas contra la salud pública, la disponibilidad el recurso hídrico, la seguridad alimentaria y la productividad industrial” (p.80). Sin embargo, el impacto donde más evidente se da, es sobre los sistemas físicos-biológicos, los cuales se ven alterados, desde zonas costeras a montañosas, sobre las superficies de cultivo, humedales y ciudades. Cambios en la temperatura, régimen de lluvias, y extensos periodos de sequía que afectan directamente los procesos ecosistémicos (Arteaga y Burbano, 2018).

Londoño, Saboyá y Urbina (2019) señalan que conocer los múltiples efectos del cambio climático es complejo, más si estos son sobre los sistemas físicos-biológicos, pues se deben reconocer las diferentes escalas en que se investiga. Así, sería pertinente estudiar el

cambio climático desde variables específicas que permitan explicar el fenómeno. Tales variables pueden ser el aumento de ocurrencia de eventos extremos, como incendios forestales.

Ahora bien, según Pinto (2019) Chile no es uno de los países que más aporta al cambio climático en el planeta, sin embargo, es:

Altamente vulnerable a las consecuencias del fenómeno, lo que está trayendo nuevos escenarios en términos de temperatura, precipitaciones y biodiversidad, entre otros factores. Esto representa una serie de desafíos para Chile, que deberá enfrentar en el corto plazo y para los cuales cuenta con gran potencial para desarrollar una economía sustentable y resiliente al cambio climático. (p.1)

Con esto se tiene, que el cambio climático no solo es una problemática ambiental, sino también política. Así, nuestro país tiene que ir desarrollando y mejorando las políticas, con el fin de adaptarse lo mejor posible a los tiempos venideros. Esto se vuelve importante, en cuanto Chile ha aumentado sus emisiones de gases de efecto invernadero. Como indica Pinto (2019):

El total de emisiones nacionales de GEI representa cerca del 0,3% de las emisiones globales. No obstante, cabe destacar que sus emisiones se han incrementado de manera significativa en las últimas décadas. Las emisiones de 2013 fueron más de 113% superiores a las de 1990 y casi 20% a las de 2010 (p.8).

Sobre adaptación política que Chile ha tenido en materia de cambio climático, se tiene que el país:

Cuenta con cinco Planes Sectoriales operativos (con alto grado de avance), entre ellos el del sector Silvoagropecuario (2013), Biodiversidad (2014), Pesca y Acuicultura (2015), Salud (2016) e Infraestructura (2017). Otros tres planes se encuentran en proceso de desarrollo: Ciudades (anteproyecto publicado), Turismo (en preparación y estudio la propuesta «Plan de adaptación del sector Turismo»), Energía (anteproyecto presentado para consulta pública) y Recursos Hídricos. En 2017 Chile actualizó su Plan de Acción Nacional ante el Cambio Climático para cumplir con su compromiso ante la CMNUCC. (Latino Adapta, 2018).

Además, el país ha ido suscribiendo continuamente a los diferentes tratados internacionales, lo que evidencia un compromiso frente al cambio climático. Sin embargo, Carrasco (2019) sostiene que:

Este es un debate al cual la política debe atender, y concretamente en Chile debemos comprender su relevancia concreta para nuestra existencia. Aquí tenemos una tarea pendiente, sobre todo desde la vereda pública y legislativa, donde es necesario impulsar nuevas iniciativas que aborden las problemáticas actuales, como sería la adopción de una ley de cambio climático, que a todas luces es un déficit de nuestra institucionalidad normativa. Ello, a pesar de que nuestra Constitución Política garantiza, como derecho fundamental, vivir en un medio ambiente libre de contaminación, y le entrega al Estado el deber de “tutelar y preservar la naturaleza y el patrimonio ambiental. (p.7)

Finalmente, es necesario abordar la problemática del cambio climático desde todos los ámbitos de acción territorial, con el fin de adoptar tempranamente medidas que mitiguen sus efectos adversos. Los cuales cada año van en aumento de ocurrencia y nuestro país debe adaptarse holísticamente ante ello.

4.3 AMENAZA DE INCENDIOS FORESTALES

Pausas (2017), define a los incendios forestales como fuegos que se desplazan sin control humano en la naturaleza. Estos fuegos, se relacionan con desastres naturales, por lo cual poseen un carácter negativo y deben ser explicados en su amplio espectro, pues, los factores naturales por sí solos no logran explicar completamente la magnitud de los incendios forestales en Chile (Gómez-González et al, 2019).

Los incendios forestales son típicos de las zonas de clima mediterráneo, caracterizadas por primaveras suaves y lluviosas, seguidas de veranos secos (McWethy et al, 2018). Los incendios forestales tienen un lugar de origen y se va expandiendo en función de las leyes geofísicas a espacios poblados cercanos. Hoy en día, los incendios forestales son fenómenos –en su mayoría-, provocados por la humanidad (Handke, 2019).

Los factores naturales, pueden explicar su propagación, es decir, la dimensión dañina del riesgo (Handke, 2019). Los modos de uso de la tierra y, en especial, el tipo de bosques económicamente explotados de Chile influyen en la dimensión del riesgo. Sin embargo, tal relación no logra ser concluyente. Para entender el fenómeno de los incendios forestales en nuestro país, se tienen que considerar los factores físicos y antrópico, siendo la investigación interdisciplinaria indispensable, reconociendo las particularidades de aquellas variables que interactúan en un incendio forestal.

Algunas variables relevantes que interactúan en los incendios forestales son variables climáticas como las temperaturas y radiación.

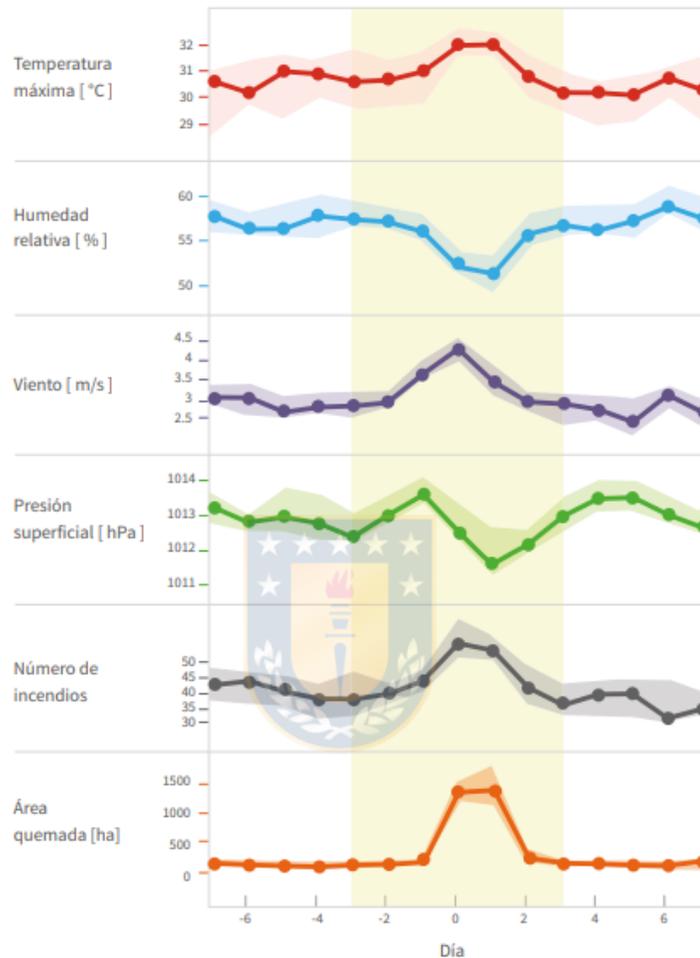
a) Temperaturas e incendios forestales.

La aparición de olas de calor propicia el inicio y desarrollo de un incendio de magnitud grande. En especial en zonas del centro-sur de Chile, el aumento de las temperaturas de las últimas décadas y la disminución de las precipitaciones han ofrecido un contexto ideal del aumento de mega incendios. Así, las condiciones atmosféricas, como la temperatura, el viento, precipitaciones y/o humedad ejercen control sobre el régimen de incendios. (Garreaud, Vargas, Boiser, Rojas, 2020).

Estadísticamente, la presencia de grandes incendios durante el semestre de verano se ve favorecida por las olas de calor (figura n°5). Éstas se asocian a las altas temperaturas presentes en zonas como el valle central, la baja humedad –característica central de las olas de calor-, ausencia de nubosidad, fuertes vientos del sur sobre el litoral y la cordillera de la Costa, e intensos vientos del este (Puelche) en la zona precordillerana, hacen un escenario ideal para la ocurrencia de un mega incendio. Lo que hace relevante el estudio

de las condiciones climáticas que ejercen influencia determinante en el desarrollo de un incendio.

Figura N°5: Condiciones meteorológicas medias entre los 7 días previos y 7 días posteriores a la ocurrencia de grandes incendios forestales en la zona centro-sur.



Fuente: CR2 (Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia)

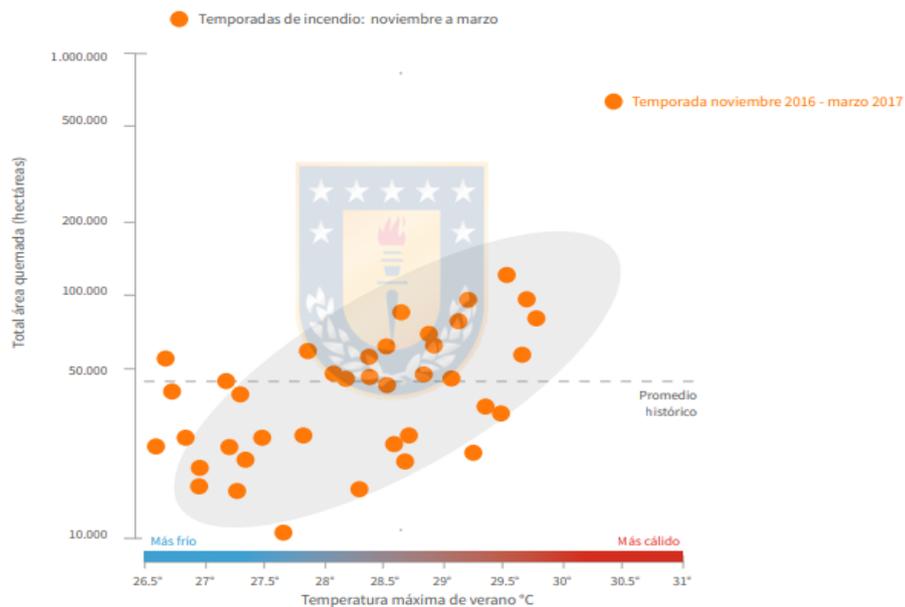
Es importante indicar que, si bien el aumento de la temperatura es relevante, hay que considerar variables que incidirán en la intensidad y extensión de un incendio. Díaz y González (2016) señalan que según las estadísticas de CONAF la ocurrencia de incendios está estrechamente relacionada con la actividad humana, además hay fuentes de ignición importante como los rayos (Keeley, Bond, Pausas y Rundel, 2012).

No obstante, para fines de la presente investigación, concordamos con Jolly et al. (2015) en que existen evidencia que sustenta la relación entre la intensidad y severidad de incendios, y el cambio climático. Según Urrutia-Jalabert, González, González-Reyes, Lara y Garreaud (2018) los incendios ocurridos recientemente en Chile, tienen una relación

directa entre las precipitaciones por sobre el promedio anual y las posteriores condiciones de sequía presentadas en verano.

Para Castillo, Pedernera y Peña (como se citó en Jaque, Castillo, Ojeda y Díaz, 2019) la frecuencia de incendios forestales más agresivo aumentará, dada las condiciones climáticas que están favoreciendo más la iniciación y propagación del fuego. Es preciso indicar, que veranos con temperaturas similares pueden terminar con áreas quemadas distintas, pues como hemos expresado, existen otros factores que modulan la ocurrencia y propagación del fuego. Garreaud (2020) establece que uno de estos factores será la precipitación acumulada en los meses previos a la temporada de incendios, la cual regula el contenido de humedad del suelo y el estrés hídrico vegetativo (figura n°6).

Figura N°6: Gráfico de dispersión entre un índice de temperatura máxima de verano y el área quemada total (en escala logarítmica) considerando el periodo 1985 y 2018.



Fuente: CR2, (Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia)

Ante esto, se puede establecer una relación interanual entre área quemada y temperatura, haciendo posible estimar que el cambio climático antropogénico ha contribuido aproximadamente un 20% del área total quemada entre 1985 y 2016 en la zona centro-sur del país (Garreaud, 2020). Así, las estimaciones futuras no son alentadoras, pues considerando el escenario de emisiones de gases de efecto invernadero, la disminución de las precipitaciones y el aumento gradual de la superficie terrestre el potencial de ocurrencia de grandes incendios forestales se eleva, haciendo necesario repensar la forma en que se estudian los incendios forestales (Garay, Castillo, Tapia y Vergara, 2019; Martínez, Cáceres, Biggs, Possingham, 2017).

b) Radiación

Rosales, et al. (2019) propone que los incendios forestales provocan efectos en componentes del ecosistema, tales como, aumento de la radiación solar incidente sobre el piso forestal y/o variables químicas del suelo. En teledetección, según Añamuro (2019) y en base a Chiuvieco (2002), se trabajan con hasta once magnitudes radiométricas. Esto se entiende pues la radiación se absorbe y dispersa en la atmósfera de diferente manera, al igual que en la interacción con la superficie de la Tierra.

Figura N°7: Magnitudes radiométricas

Concepto	Símbolo	Unidad de Medida
Energía Radiante	Q	Julios (J)
Flujo Radiante	ϕ	Vatios (w)
Emitancia	M	Wm ⁻²
Irradiancia	E	Wm ⁻²
Intensidad Radiante	I	Wsr ⁻¹
Radiancia	L	Wm ⁻² sr ⁻¹
Radiancia Espectral	L λ	Wm ⁻² sr ⁻¹ μ m ⁻¹
Emisividad	ϵ	--
Reflectividad	ρ	--
Absortividad	α	--
Transmisividad	t	--

Fuente: Añamuro, 2019.

Existen tres formas de interacción que pueden tener lugar cuando la energía golpea sobre la superficie. Estos se conocen como: absorción (A); transmisión (T); y reflejo (R). La energía incidente total interactuará con la superficie en una o más de estas tres formas. Las cantidades de cada uno dependerán de la longitud de onda de la energía y del material con el que interactúa (Añamuro, 2019). Es imperativo comprender, que la radiación es la única forma de transmisión de energía sin necesidad de contacto entre el emisor y el receptor de la misma. Ante esto, estudiar la radiación liberada en un incendio forestal se hace significativo, pues otorga la posibilidad de ampliar los estudios y conocimiento de los efectos en el mediano y largo plazo de un incendio.

Retomando, la absorción (A) ocurre cuando la radiación se absorbe en el objetivo, mientras que la transmisión (T) se da cuando la radiación pasa a través de un objetivo. La reflexión (R) se da en tanto la radiación "rebota" fuera del objetivo y es redirigida, la teledetección se interesa más en medir la radiación reflejada por los objetivos.

Las imágenes de Landsat son provistas en radiancia, La radiancia espectral en el sensor (L λ), medida en: [vatios/ m² * ster * μ m]) (USGS, 2018). La importancia de utilizar la radiación como variable de estudio, radica en que todos los incendios van dejando firmas espectrales que pueden ser medidas mediante imágenes Landsat o geotecnologías, así se puede visualizar y/o construir más fielmente la geométrica de un incendio.

IV. METODOLOGÍA

Para la presente investigación se trabajó con un modelo cuantitativo para la evaluación de la amenaza de incendios forestales por medio de herramientas SIG. Se adaptó el modelo propuesto por Etxeberria del año 2002, en el que considera variables antrópicas y naturales. En las variables antrópicas se trabajó elementos como los usos de suelo y elementos del medio construido. En las variables naturales se consideran elementos como altitud, inflamabilidad e insolación. La adaptación del modelo recae en la incorporación de elementos climatológicos como las temperaturas por sobre el percentil 90 de los últimos 30 años en los meses de verano y los días consecutivos sin precipitaciones en los últimos 30 años en los meses de verano. También, se reemplazó el factor de insolación de la superficie por la radiación solar. La adaptación del modelo se desarrolló en las comunas de Coronel y Lota pertenecientes a la región del Biobío, la que ocupa el 27,3% de la superficie nacional de plantaciones forestales (INFOR, 2020).

5.1 ÁREA DE ESTUDIO

La región del Biobío, por estar ubicada entre los paralelos 36° y 38° 20' de latitud sur y los meridianos 71° y 73° 40' de longitud oeste, corresponde a una región de frontera entre la zona central y la zona sur de Chile (Rojas, J. y Parra, O. 2010). Desde el punto de vista climático, la región marca la transición entre los climas templados secos de la zona central de Chile y los climas templados lluviosos que se desarrollan inmediatamente al sur del río Biobío. En la franja costanera y en los sectores altos y laderas occidentales de la Cordillera de la Costa se presenta un clima templado húmedo, con una humedad constante con precipitaciones que fluctúan entre 1.200 mm y 2.000 mm anuales de norte a sur de la región. (BCN, 2015).

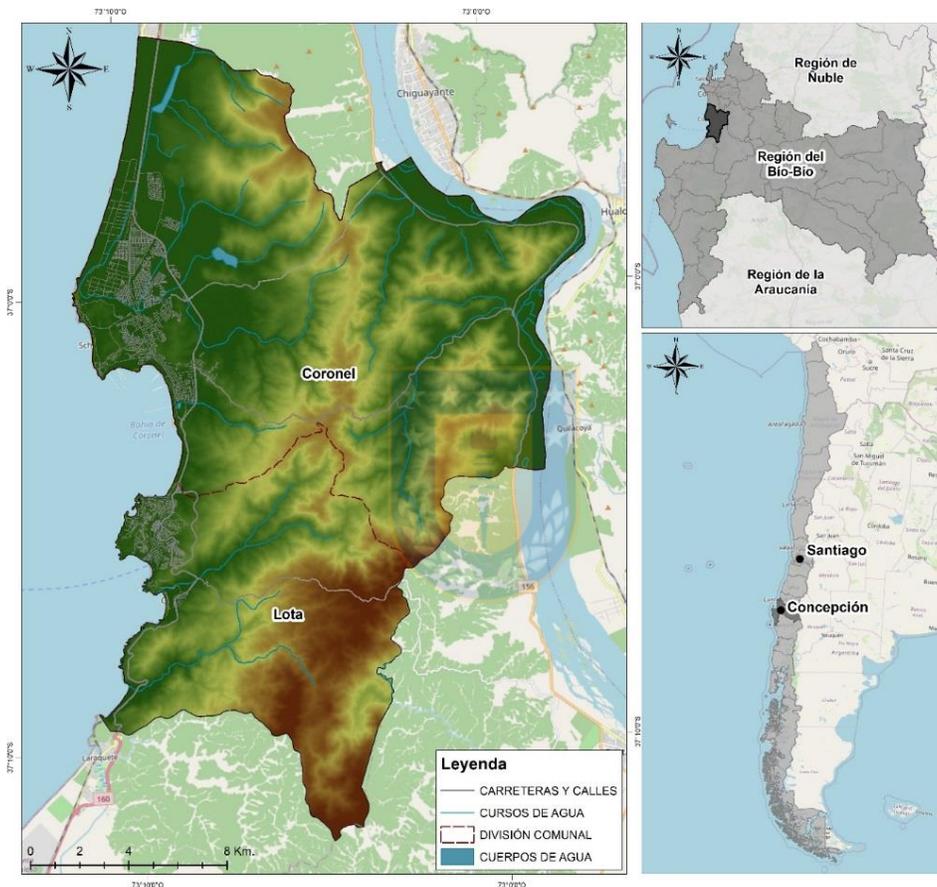
Las comunas de Coronel y Lota se encuentran ubicadas en la región del Biobío y son parte de las 12 comunas que pertenecen a la provincia de Concepción. Ambas comunas colindan en el límite sur de Coronel y el límite norte de Lota (ver mapa n°2).

Coronel es una comuna perteneciente a la VIII Región del Biobío y está localizada en los 37°01'00 S 73°08'00 O. Coronel se caracteriza por tener un desarrollo identitario y un legado histórico relacionado con la minería de carbón (Fuentes, 2017). Coronel tiene una superficie de 279,4 km² y una densidad de población de 424,9 habitantes por km². La comuna en el año 2017 cuenta con una población de 116.262 habitantes, de los cuales 55.799 corresponden a hombres (47,99%) y 60.463 a mujeres (52,01%); el territorio urbano de Coronel alcanza los 99 km², mientras que el territorio rural alcanza los 180 km² (INE,2017).

La comuna de Lota limita al norte con el estero que cruza el Balneario de Playa Blanca, que separa la comuna con la de Coronel. Al sur con el sector alto de Chivilingo, que da origen a la comuna de Arauco; al oeste se asoma al Océano Pacífico y al este con el camino de Coronel a Pileo. Su superficie alcanza los 135,8 kilómetros cuadrados, equivalente a un 0,37% de la superficie regional (Pincheira, 2016). Lota tiene una densidad de población de

378,5 habitantes por km². La comuna en el año 2017 cuenta con una población de 43.535 habitantes, de los cuales 20.950 corresponden a hombres (48,12%) y 22.4585 a mujeres (51,88%) (INE,2017). Lota surgió como un pequeño asentamiento prehispánico ubicado en la actual localidad de Colcura, y cuya actividad principal era la pesca artesanal y la agricultura. Sin embargo, con el comienzo de la República a principios del siglo XIX, se inició la explotación del carbón, y la ciudad adquirió importancia a nivel regional y nacional (López, M. y Vidal, C. 2012).

Mapa N° 2: Localización de área de estudio, Coronel y Lota, comunas carboníferas de la provincia de Concepción.



Fuente: Elaboración propia.

La comuna de Coronel se encuentra en el dominio del Clima Subtropical o Mediterráneo de Costa Occidental, tipo Cordillera de la Costa, con amplitud térmica moderada, actuando como regulador térmico la proximidad con el Océano Pacífico. Según los datos registrados por las estaciones de monitoreo de la calidad del aire y parámetros meteorológicos localizadas en Coronel, se puede apreciar una variación anual que oscila entre los 15° C promedio en los meses de verano y los 10° C promedio para los meses de invierno, alcanzando máximas de 26° C en verano y mínimas que llegan a los 0,4° C en invierno (PLADECO, 2012). La comuna de Lota tiene un clima tipo templado. La estación seca corresponde al verano con un índice de humedad estival seco y un índice de humedad

invernal extremadamente alto, período libre de heladas de 300 a 350 días (11 meses), siendo estas del tipo suave (PLADECO, 2015).

Coronel además de estar colindante al mar, está localizado en los inicios de la cordillera de Nahuelbuta (cordillera de la Costa) la que es rica en patrimonio ecológico y cultural, el cual ha sido afectado por las políticas de incentivo productivo lo que se traduce que este espacio esté cubierto por parches forestales exóticas- donde unas décadas antes había especies nativas- quedando pequeños relictos de bosque nativo distribuido en superficies mínimas. Las plantaciones son principalmente eucalipto y pino (Fuentes 2017). Según los datos publicados por CONAF en 2019, la comuna de Coronel cuenta 13.524,4 ha de plantaciones forestales siendo esto un 78,6 % de los bosques de la comuna y un 48,8% de la superficie total de la comuna. Mientras que Lota posee 8.104,1 ha de plantaciones forestales, lo que corresponde a un 79,4 % de los bosques a nivel comunal y un 70.93% de la superficie total de la comuna (CONAF, 2019).

5.2 ESQUEMA METODOLÓGICO

Para llevar a cabo la presente investigación se desarrolló una metodología que integra variables territoriales, antrópicas, topográficas, climáticas y vegetacionales, las cuales se agruparon variables antrópicas y variables naturales (ver figura n°8), todas estas fueron trabajadas por medio de un algoritmo matemático trabajado usando un software de sistemas de información geográfico (ArcGIS © 10.2). Previamente los datos de las variables climáticas y vegetacionales fueron trabajadas en el software RStudio. Mediante el uso de estas plataformas se desarrolla un modelo de amenaza de incendio forestal espacializado.

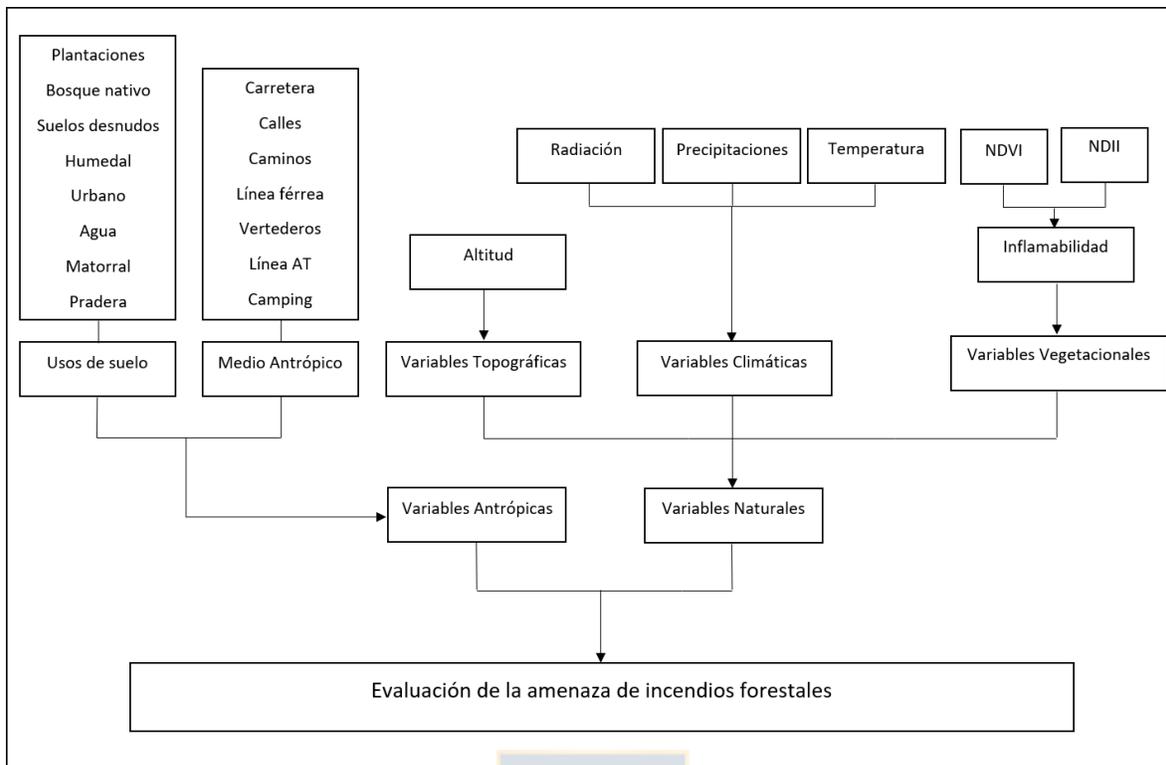
Variable antrópica: Compuesta por ocho elementos esenciales, estos son usos de suelo (por medio de clasificación supervisada de imágenes satelitales Landsat 8 OLI, obtenidas de la página del Servicio Geológico de los Estados Unidos), carreteras, caminos, quemas controladas, líneas de alta tensión, zonas de camping, vías férreas y vertederos ilegales.

Variabes topográficas: Esta variable dice relación con elementos como las altitudes obtenidas de un modelo digital de elevaciones (DEM).

Variabes Climáticas: Compuesta por temperaturas máximas y precipitaciones del año 1990 al 2020 de los meses de verano y por la radiación solar de 12 horas en un día de verano.

Variabes vegetacionales: Esta variable se trabaja por medio de la inflamabilidad, la que se obtiene de los índices vegetacionales NDVI y NDII. Ambos índices se calculan de imágenes satelitales Landsat 8 OLI.

Figura N°8: Esquema metodológico para la evaluación de la amenaza de incendios forestales, basado en variables naturales y antrópicas.



Fuente: Elaboración propia, adaptado de Jaque et al 2019.

5.3 VALORES DE VARIABLES

5.3.1 Inflamabilidad

La inflamabilidad es la capacidad de la vegetación para desencadenar el fuego y favorecer su extensión (Alcaraz, 2012). La que se obtiene a partir de la multiplicación de los índices de vegetación NDVI y NDII, dichos índices corresponden a un número generado por alguna combinación de bandas espectrales y que puede tener alguna relación con la cantidad de la vegetación presente en un píxel dado. Estos índices, son utilizados para mejorar la discriminación entre el suelo y la vegetación, reduciendo el efecto del relieve en la caracterización espectral de las diferentes cubiertas (Muñoz, P. 2013).

El índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI) es un índice normalizado que le permite generar una imagen que muestra el verdor (la biomasa relativa). Este índice aprovecha el contraste de las características de dos bandas de un dataset ráster multispectral: las absorciones de pigmento de clorofila en la banda roja y la alta reflectividad de los materiales de las plantas en la banda cercana al infrarrojo (NIR). Mientras que el Índice de infrarrojo de diferencia normalizada (NDII) se utiliza de manera efectiva para detectar el estrés hídrico de la planta de acuerdo con la propiedad de la reflectancia infrarroja de onda corta, que se relaciona negativamente con el contenido de agua de la hoja debido a la gran absorción de la hoja (Sriwogstanon, N. 2015).

Los cálculos de NDVI y NDII se obtuvieron con el software ENVI 5.2, con la herramienta Band Math donde se introdujeron los siguientes algoritmos.

$$\text{NDVI: NIR} - \text{Red} / \text{NIR} + \text{Red}$$

$$\text{NDII: NIR} - \text{SWRI 1} / \text{NIR} + \text{SWRI1}$$

A continuación, se muestran la clasificación de los resultados de NDVI y NDII según su reclasificación por cortes naturales.

Tabla N°2: Valores categorizados de índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI).

Valor NDVI	Niveles de categorización
-1 - -0,090196	1 bajo
-0,090197 – 0,301961	2 medio
0,301962 - 1	3 alto

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°1: Valores categorizados de índice infrarrojo de diferencia normalizada (NDII).

Valor NDII	Niveles de categorización
-1 – 0,803922	1 bajo
0,803923 – 0,866667	2 medio
0,866667 - 1	3 alto

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de inflamabilidad que se obtienen son los que se muestran en la Tabla n°3, determinando los valores finales, de los cuales se obtienen los niveles de inflamabilidad (Ver tabla n°4).

Tabla N°3: Esquema de categorización de valores de inflamabilidad.

Valores de Inflamabilidad	1	2	3
1	1	2	3
2	2	4	6
3	3	6	9

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°4: Categorización de valores de inflamabilidad.

Inflamabilidad	Valor de categorización
1 - 2	1 bajo
3 - 4	2 medio
6 - 9	3 alto

Fuente: Elaboración propia.

5.3.2 Altitud

La altitud se obtuvo por medio de la reclasificación por cortes naturales de un Modelo Digital de Elevaciones (DEM siglas en ingles), donde los valores de menor peligrosidad se encuentran a mayor altitud, mientras que los valores de menor altitud representan una mayor peligrosidad (Ver tabla n°5).

Tabla N°5: Categorización de valores de altitud.

Altitud	Valor de categorización
0 - 175 msnm	1 bajo
176 - 325 msnm	2 medio
326 - 682 msnm	3 alto

Fuente: Elaboración propia.

5.3.3 Radiación solar

La cantidad de radiación total calculada para una ubicación o un área en particular se proporciona como radiación global. El cálculo de la insolación directa, difusa y global se repite para la ubicación de cada entidad o para cada ubicación de la superficie topográfica, lo que genera mapas de insolación para un área geográfica completa (Esri, 2020).

Los valores de radiación solar en la superficie de la imagen Landsat del 8 de marzo de 2021, fueron reclasificados en valores por cortes naturales en el software ArcGIS 10.2, el resultado se muestra en la Tabla n°6.

Tabla N°6: Categorización de valores de radiación solar.

Radiación	Valor de categorización
30191,1 - 220342,2	1 bajo
220342,2 - 239546,0	2 medio
239546,0 - 266217,9	3 alto

Fuente: Elaboración propia.

5.3.4 Temperaturas máximas

Los valores de temperaturas máximas en los meses de diciembre, enero y febrero, que se obtuvieron de la base de datos del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (ccr2), fueron reclasificados en valores por cortes naturales en el software ArcGIS 10.2, el resultado se muestra en la Tabla n°7.

Tabla N°7: Categorización de valores de temperatura máximas en días de verano.

Temperaturas	Valor de categorización
-398308 - 169212,5	1 bajo
169212,5 - 511972,5	2 medio
511972,5 - 1028921,9	3 alto

Fuente: Elaboración propia.

5.3.5 Precipitaciones

Los valores de precipitaciones en los meses de diciembre, enero y febrero, que se obtuvieron de la base de datos del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (ccr2), fueron reclasificados en valores por cortes naturales en el software ArcGIS 10.2, el resultado se muestra en la Tabla n°8.

Tabla N°8: Categorización de valores de precipitaciones en días de verano.

Precipitaciones	Valor de categorización
303929 - 424218,4	1 bajo
424218,4 - 475604,2	2 medio
475604,2 - 601733	3 alto

Fuente: Elaboración propia.

5.3.6 Usos de suelo

El análisis e interpretación de imágenes satelitales Landsat L8 en año 2015 a través del método de clasificación supervisada (Chuvieco, 2000) con el software ENVI 5.2 © permitió reconocer ocho categorías de coberturas de suelo: Cuerpos de agua, suelos descubiertos, urbano, humedales, bosque nativo, praderas y plantación forestal. Estas fueron categorizadas según el grado de peligro de incendio forestal que representan, donde los suelos desnudos representan menor amenaza que las plantaciones forestales (Tabla nº9).

Tabla N°9: Categorización de valores de usos de suelo.

Niveles de inflamabilidad	Valor de categorización
Cuerpos de agua	1 bajo
Suelos descubiertos	1 bajo
Urbano	1 bajo
Humedales	2 medio
Bosque nativo	2 medio
Praderas	2 medio
Plantaciones	3 alto
Matorral	3 alto

Fuente: Elaboración propia.

5.3.7 Medio antrópico

Etxeberría *et al.*, (2002) propone una categorización, la cual fue adaptada para el área de estudio (Tabla nº10). Con dicha adaptación se elaboró cartografía de categorías por elementos antrópicos.

Tabla N°10: Categorización de elementos antrópicos.

Elementos antrópicos	Valor de categorización
Quemas controladas	2 medio
Camino de tierra	2 medio
Camino de ripio	2 medio
Calles	2 medio
Vías férreas	3 alto
Vertederos	3 alto
Carreteras	3 alto
Línea de Alta Tensión	3 alto
Zonas de camping	3 alto

Fuente: Elaboración propia.

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

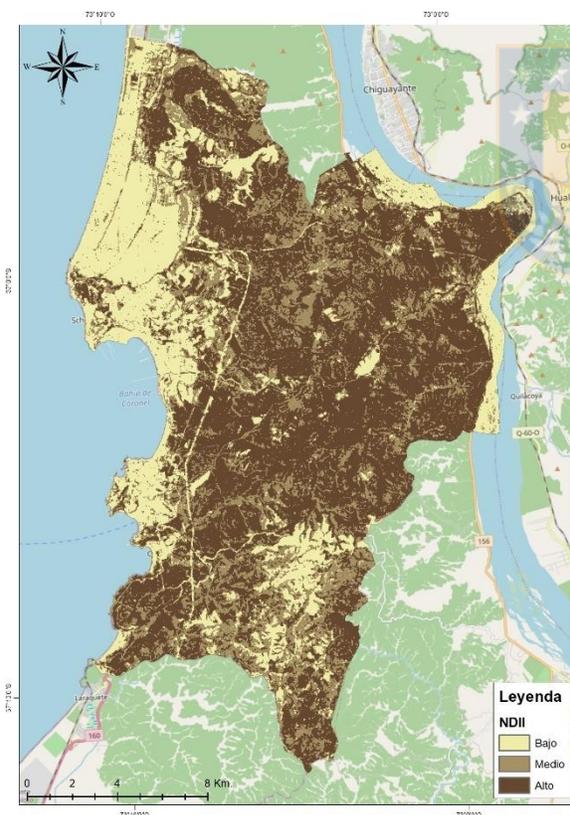
6.1 VARIABLES NATURALES

6.1.1 Inflamabilidad.

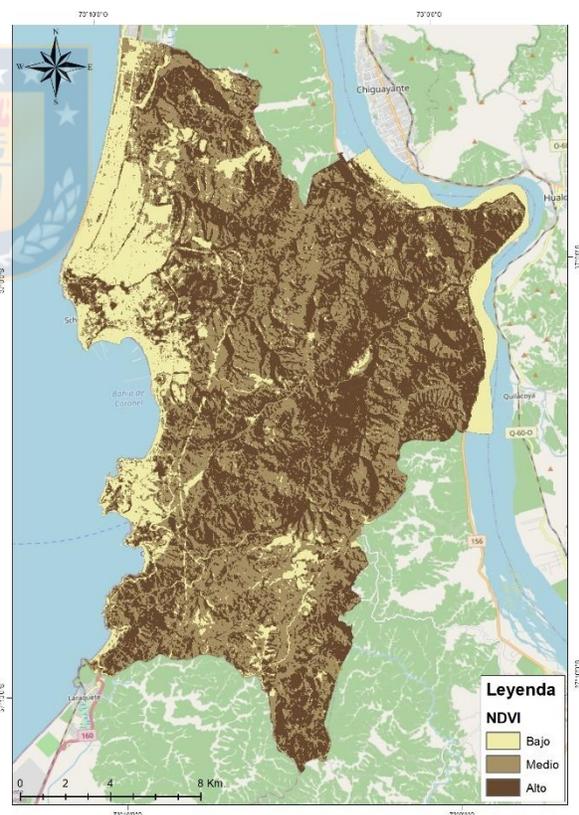
Para conocer los niveles de inflamabilidad se procedió a realizar los cálculos de los índices de NDVI y NDII (Ver mapa 3 y 4). Ambos índices son considerados relevantes para la evaluación de amenaza de incendios forestales ya que, el índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI) muestra la vigorosidad de la vegetación y el índice de infrarrojo de diferencia normalizada (NDII), muestra una menor capacidad de almacenamiento de agua por parte de las hojas de la vegetación o una caída de este producto de bajos niveles de agua (Fuenteteja, M. 2013).

Mapa N°3 Índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI) de las comunas de Coronel y Lota.

Mapa N°4 Índice de infrarrojo de diferencia normalizada (NDII) de las comunas de Coronel y Lota.



Fuente: Elaboración propia.

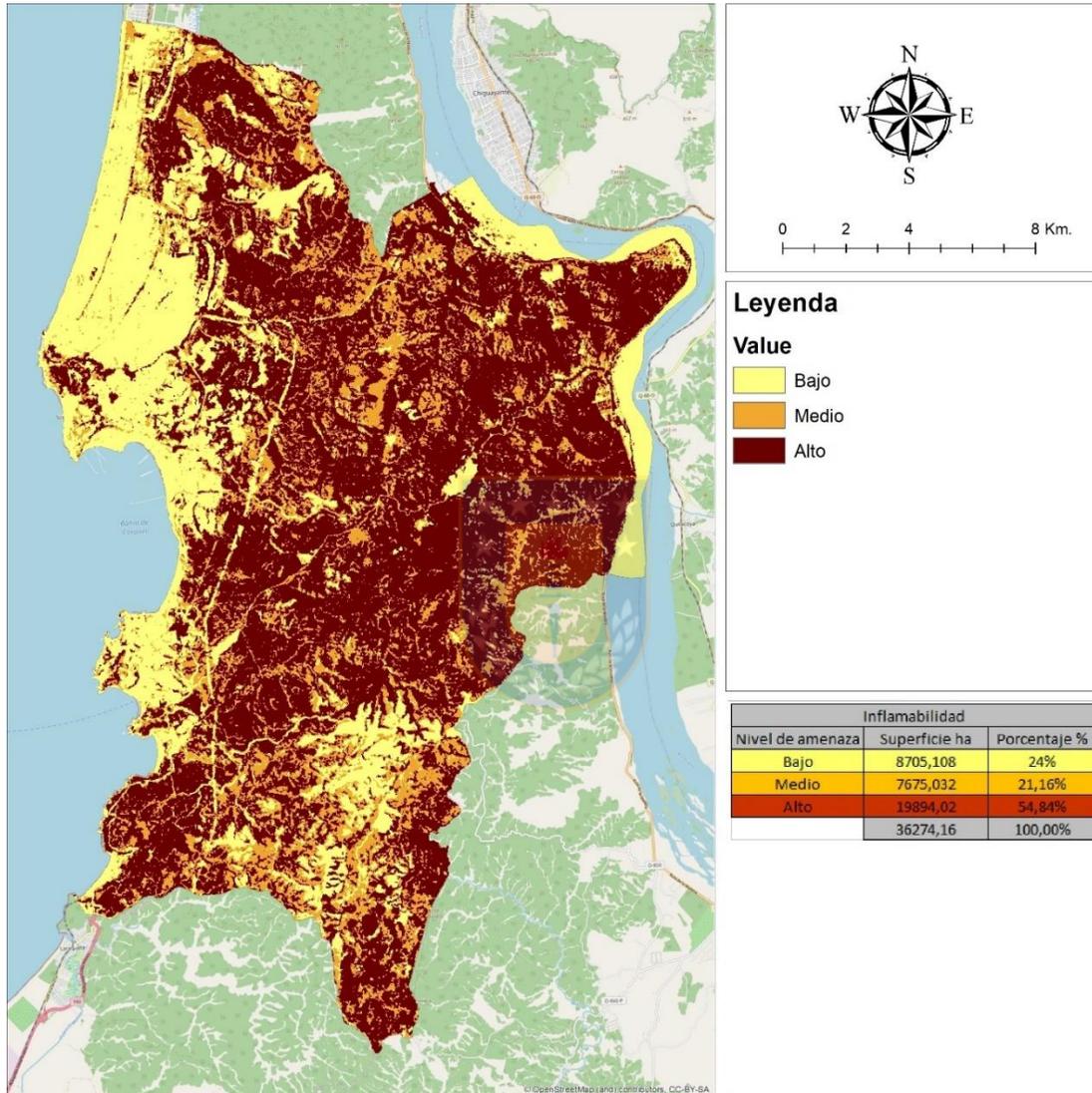


Fuente: Elaboración propia.

El resultado de la categorización por inflamabilidad (Ver mapa n°5) donde la categorización baja o nula se presenta mayoritariamente en los sectores costeros de ambas comunas lo que equivale al 24% de la superficie comunal. Por otra parte, la categorización media y alta

de inflamabilidad se distribuye principalmente en la cordillera de la costa con un 21,16 % y 54,84% respectivamente. Se destaca con categorización baja por inflamabilidad la parte este de la comuna de Coronel correspondientes a bancos de arena y aguas del río Biobío (Ver mapa n°5).

Mapa N°3: Reclasificación de la Inflamabilidad, según valores del modelo de amenaza propuesto para Coronel y Lota.



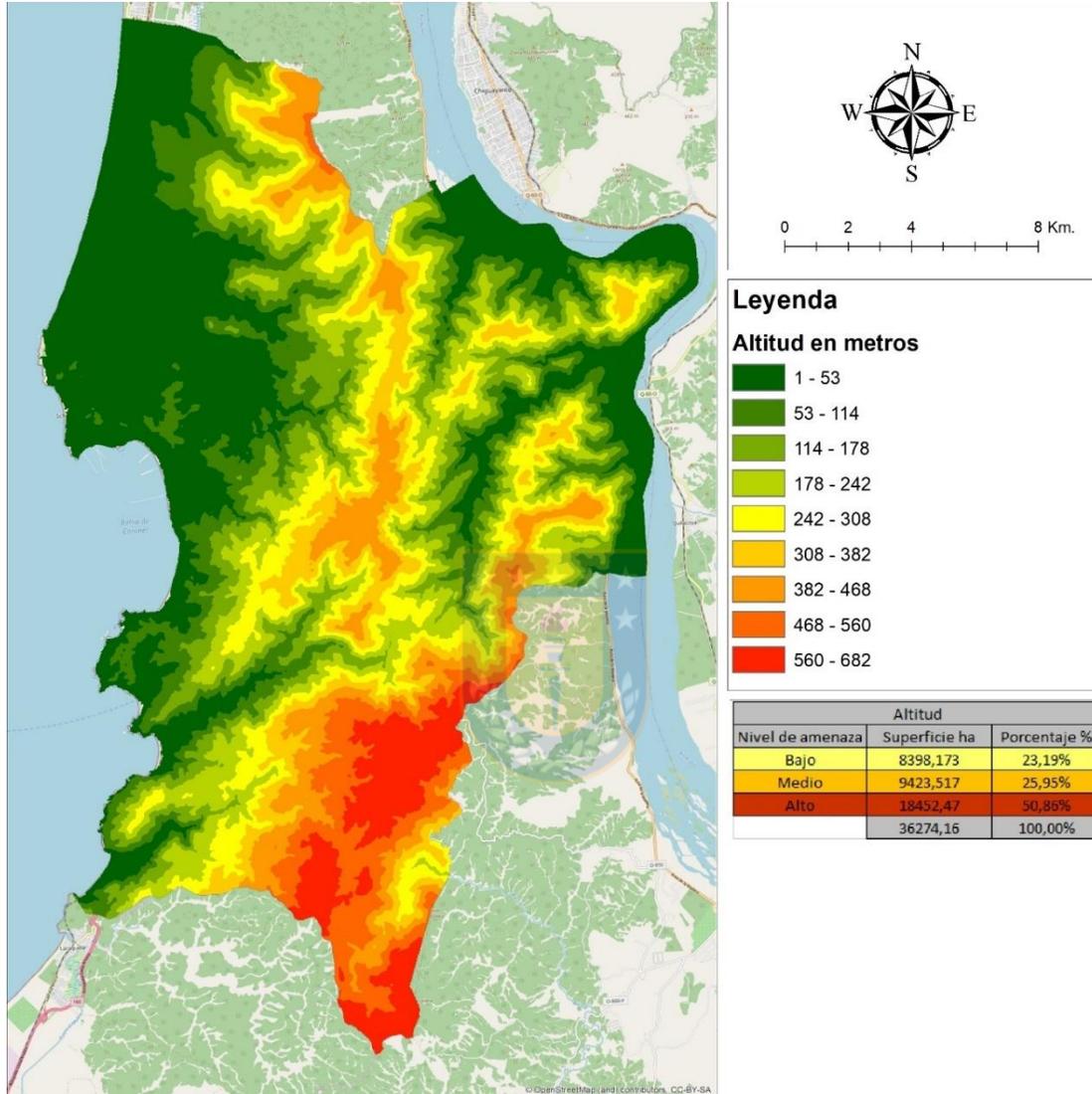
Fuente: Elaboración propia.

6.1.2 Altitud

Al observar el Mapa n°7 las mayores altitudes se presentan en la cordillera de la costa de la comuna de Lota, dichas altitudes representan el 23,19% del territorio en estudio, equivalente a 8398,173 ha. Las altitudes medias, presentes en la cordillera de la costa, representan el 25,95% del territorio (9423,517 ha.) y las altitudes bajas, presentes en la

cordillera de la costa y las planicies litorales, abarcan el 50,86% del total del territorio, lo que equivale a 18452,47 ha.

Mapa N°4: Reclasificación de la Altitud, según valores del modelo de amenaza propuesto para Coronel y Lota.



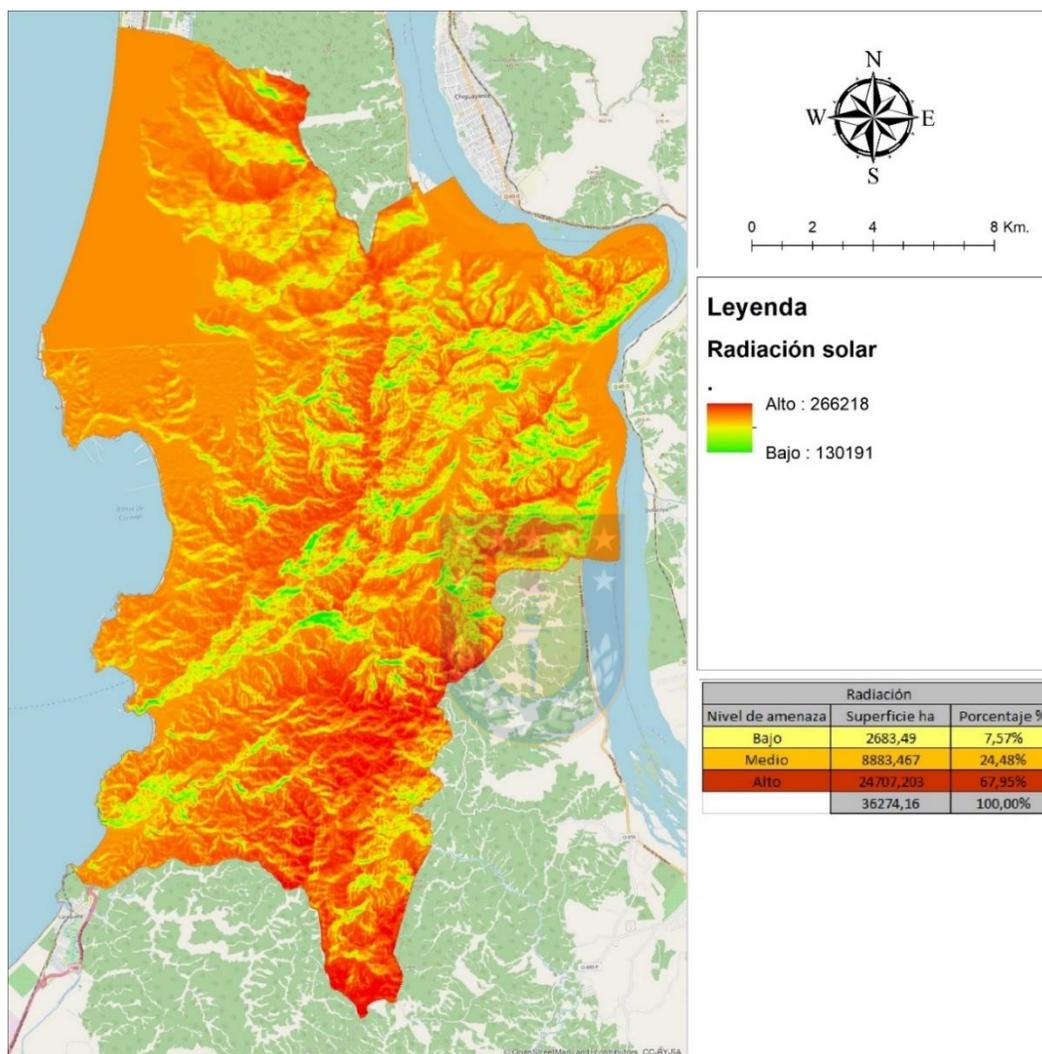
Fuente: Elaboración propia.

6.1.3 Radiación solar

Como se muestra en el Mapa n°6, los mayores niveles de radiación solar se encuentran en la cordillera de la costa en el sector sureste de la comuna de Lota, los que coinciden con las mayores altitudes presentes en el área de estudio. En los sectores planos se presentan valores medios de manera uniforme, mientras que en las zonas donde el relieve es más accidentado los valores de radiación son variables. En cuanto a proporción, la

categorización de radiación solar alta predomina en el territorio con 67,95% (24707,203 ha.), seguido de la categoría media con 24,48% (8883,467 ha.) y en menor cantidad la radiación solar baja con 7,57% (2683,490 ha.).

Mapa N°5: Reclasificación de la radiación solar, según valores del modelo de amenaza propuesto para Coronel y Lota.



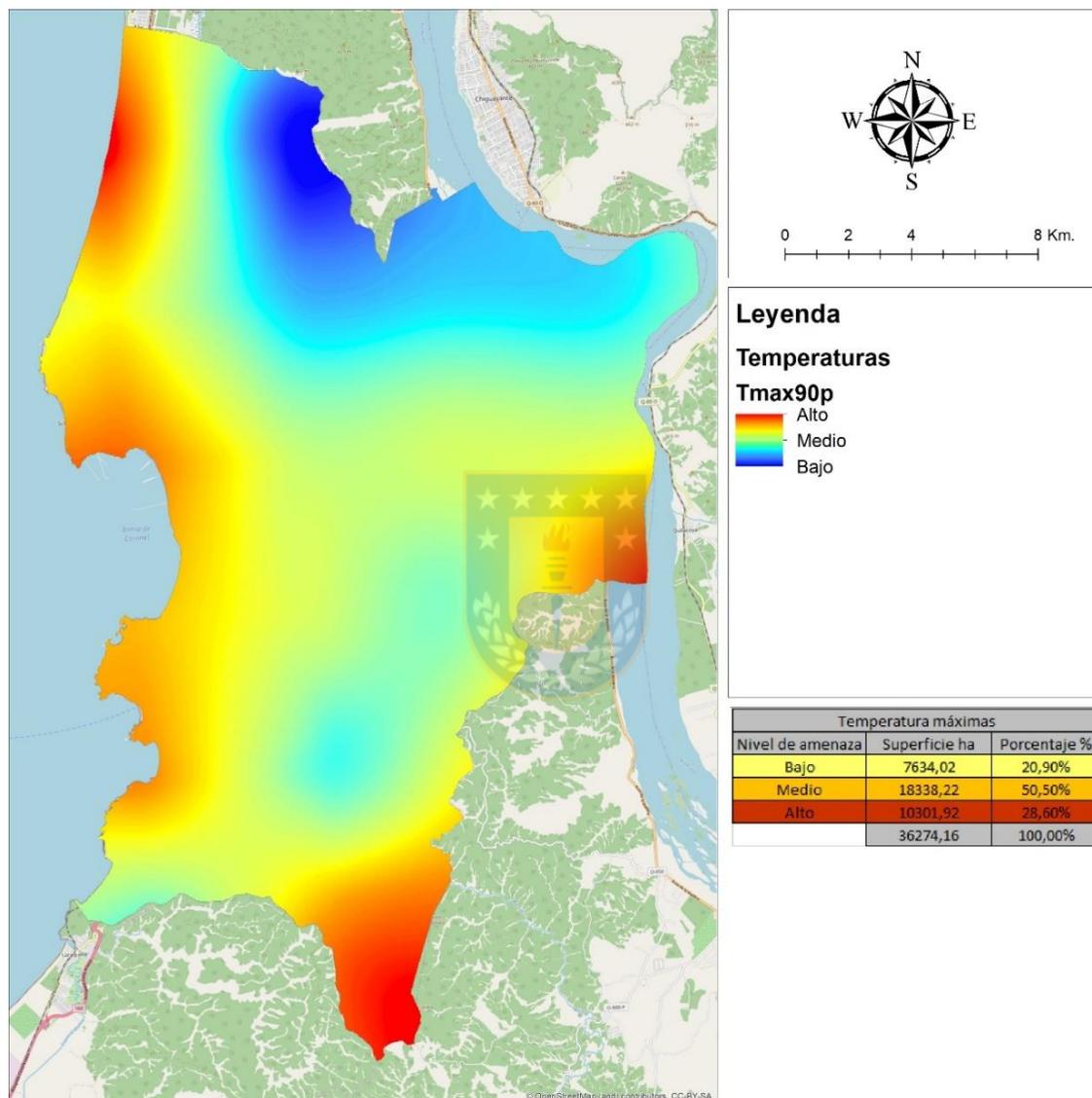
Fuente: Elaboración propia.

6.1.4 Temperaturas máximas.

Las mayores temperaturas se registran en las zonas costeras, así como también en los puntos más altos del área de estudio, el que corresponde a la cordillera de la costa de la comuna de Lota. Otro sector donde se registran temperaturas altas es el sector rural de Patagual en la comuna de Coronel (Ver mapa n°8). Dichos sectores con las temperaturas más elevadas alcanzan 10301,92 ha. lo que abarca el 28,60% de la superficie en estudio.

Los sectores con temperaturas medias alcanzan 18338,22 ha. representando el 50,50% de la superficie del área de estudio. Las temperaturas bajas se dan principalmente al norte del área de estudio, en lo cerros con mayores altitudes de la comuna de Coronel. La categoría baja de temperaturas ocupa 7634,02 ha. y representa el 20,90% de la superficie de estudio.

Mapa N° 6: Reclasificación de las temperaturas máximas en días de verano, según valores del modelo de amenaza propuesto para Coronel y Lota.



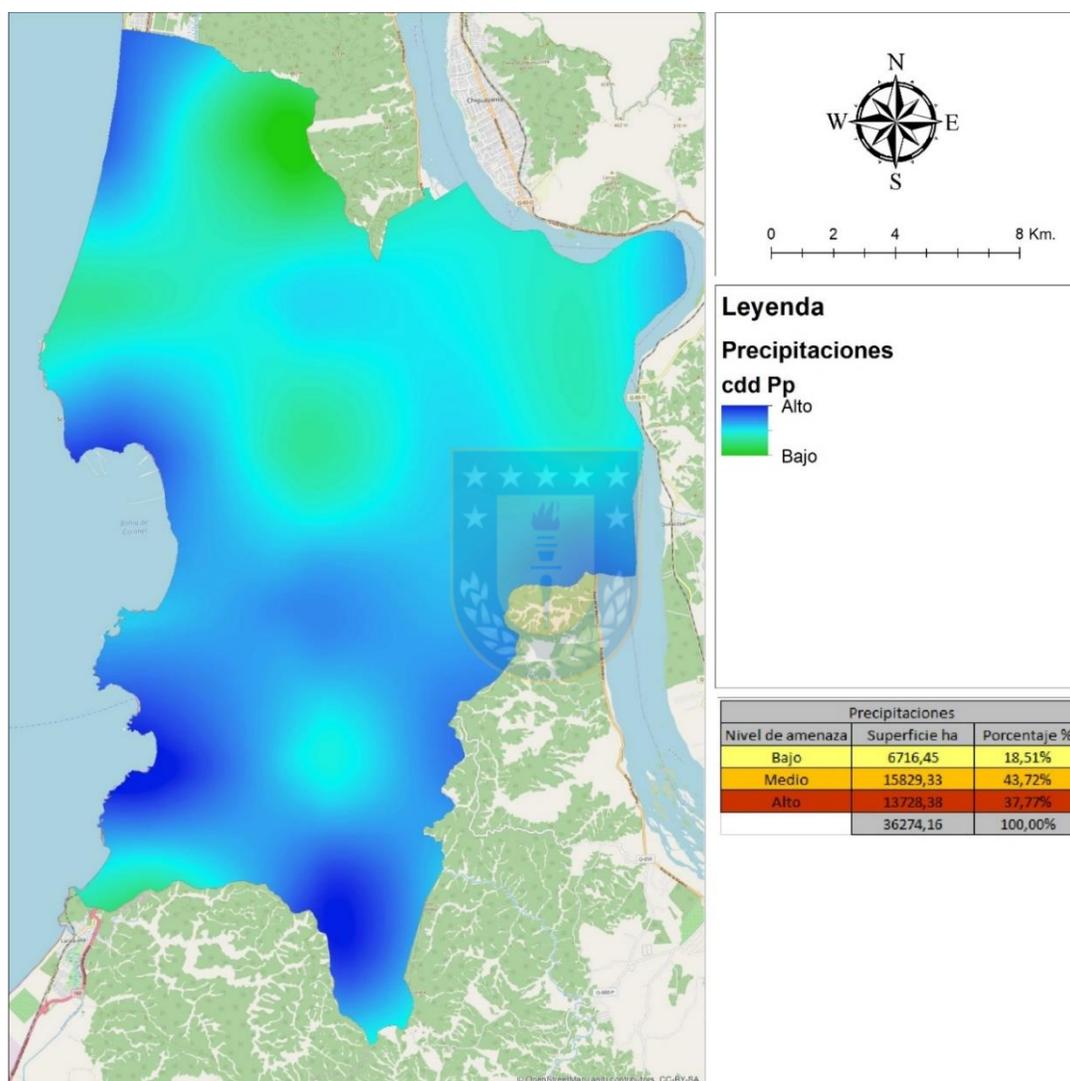
Fuente: Elaboración propia.

6.1.5 Precipitaciones.

Los sectores del área de estudio con mayor presencia de precipitaciones coinciden con las mayores altitudes, como lo es el sector sur de la comuna de Lota y a las zonas costeras, exceptuando sector Chivilingo en Lota y sector Parque Industrial en Coronel (Ver mapa n°9). Dichos sectores con mayor presencia de precipitaciones representan una

categorización baja para los incendios forestales, alcanzando 6716,45 ha. del área de estudio, lo que representa 18,51%. Los sectores con bajas y medias precipitaciones se establecen principalmente en el sector de la cordillera de la costa de la comuna de Coronel. Las precipitaciones bajas alcanzan 13728,38 ha. y las precipitaciones medias 15829,33 ha., representando un 37,77 % y 43,72% respectivamente.

Mapa N° 7: Reclasificación de las precipitaciones en días de verano, según valores del modelo de amenaza propuesto para Coronel y Lota.



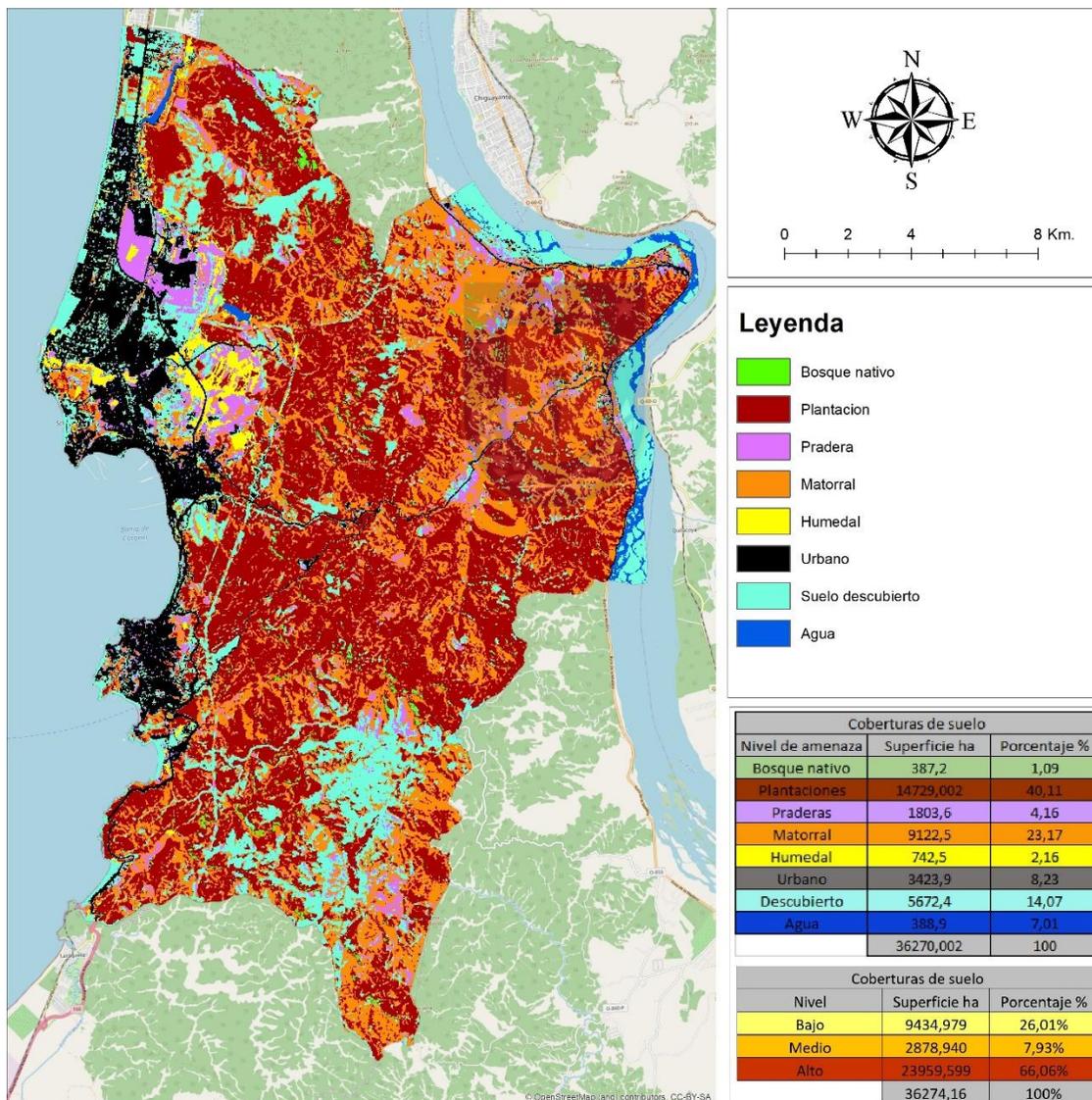
Fuente: Elaboración propia.

6.2 VARIABLES ANTROPICAS

6.2.1 Usos de Suelo.

El resultado de los ocho usos de suelo trabajadas en el área de estudio (Mapa n°10), revela que el 66,06% se encuentra en categoría alta respecto a los incendios forestales, esto principalmente porque las 148,27 ha. de plantaciones forestales representan en 40,97% del total de estudio y las 92,21 ha. de matorrales representan 25,47% del total de ambas comunas, ambas coberturas están presentes mayoritariamente en la cordillera de la costa, la cual atraviesa ambas comunas. La categoría media representa el 7,93% con 2878,940 ha., la cual está conformada por humedales (8,42 ha.), bosque nativo (1,39 ha.) y praderas (19,03 ha.). La categoría baja representa el 26,01% del área de estudio, con 9434,979 ha. Las coberturas que componen la categoría baja son cuerpos de agua (4,88 ha.), urbano (35,23 ha.) y suelo descubierto (56,72 ha.).

Mapa N°8: Usos de suelo en las comunas de Coronel y Lota.

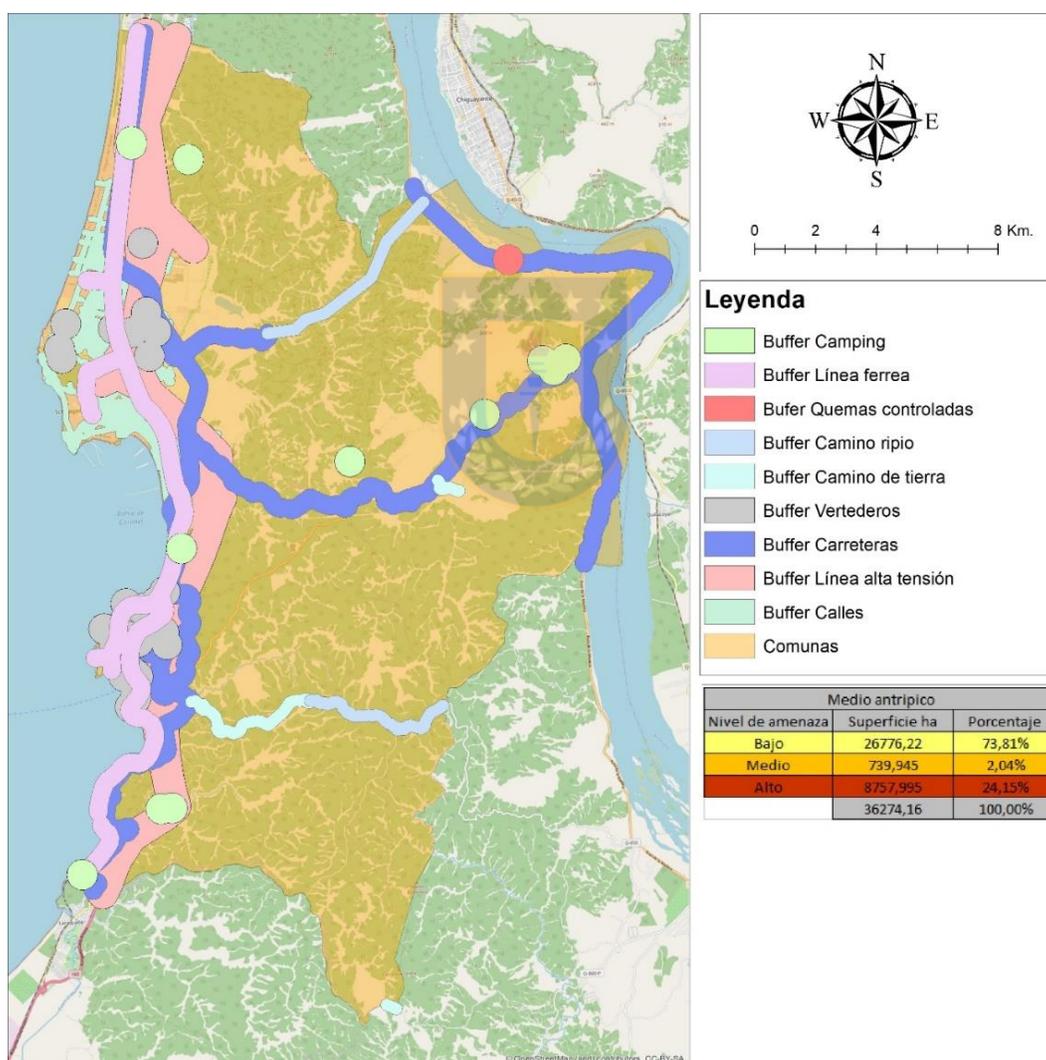


Fuente: Elaboración propia.

6.2.2 Medio Antrópico.

Respecto a los elementos del medio antrópico y los niveles de categorización en función de los incendios forestales que estos representan, los niveles más elevados se sitúan cercanos a los polos urbanos de las comunas de Coronel y Lota (Ver mapa n°11). El nivel alto representa una superficie de 8757,995 ha., lo que se traduce en el 24,15% del total del área de estudio. El nivel medio ocupa 739,945 ha. representando 2,04% del área total de estudio. Las 26776,22 ha. corresponden al nivel bajo de la categorización de elementos antrópicos y representa el 73,81% de la superficie total de estudio.

Mapa N°9: Buffer de elementos antrópicos, según valores del modelo de amenaza propuesto para Coronel y Lota.

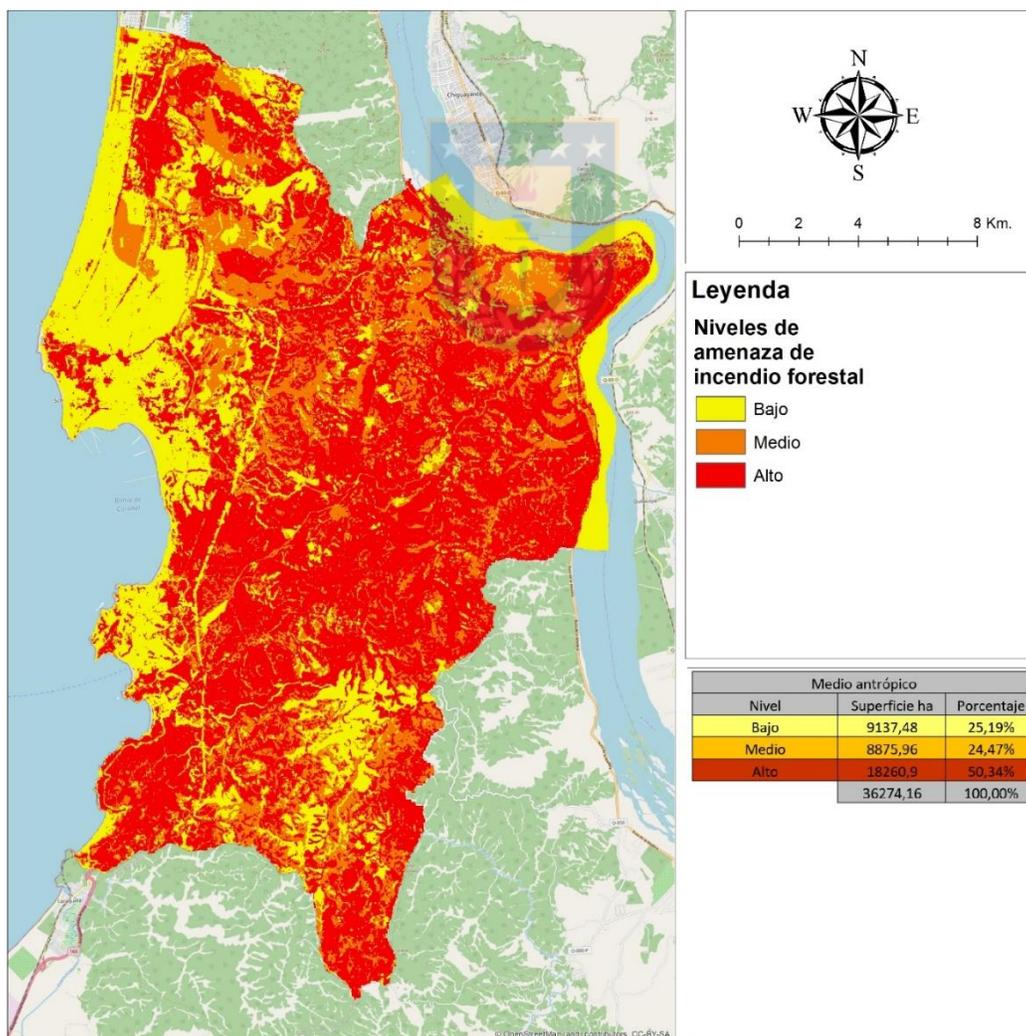


Fuente: Elaboración propia.

6.3 AMENAZA DE INCENDIOS FORESTALES

El desarrollo de la metodología de trabajo propuesta dio como resultado el Mapa n°12, donde se muestra un predominio de las zonas con alta amenaza por incendios forestales con 18260,9 ha., es decir, que el 50,34% de la superficie total de las comunas de Coronel y Lota se encuentran en amenaza alta por incendios forestales y estos sectores se sitúan principalmente en los cordones montañosos de la cordillera de la costa. El nivel de amenaza media cubre una superficie de 8875,96 ha., siendo la más baja categoría con un 24,47%, pero seguida de cerca del nivel bajo de amenaza por incendios forestales que ocupa 25,19% correspondiendo esto a 9137,48 ha. El nivel bajo de amenaza se establece principalmente en las zonas del radio urbano de las comunas de Coronel y Lota, así como también en el río Biobío, el sector del parque industrial de Coronel presente en el noroeste de la comuna y sector escuadrón en la misma comuna.

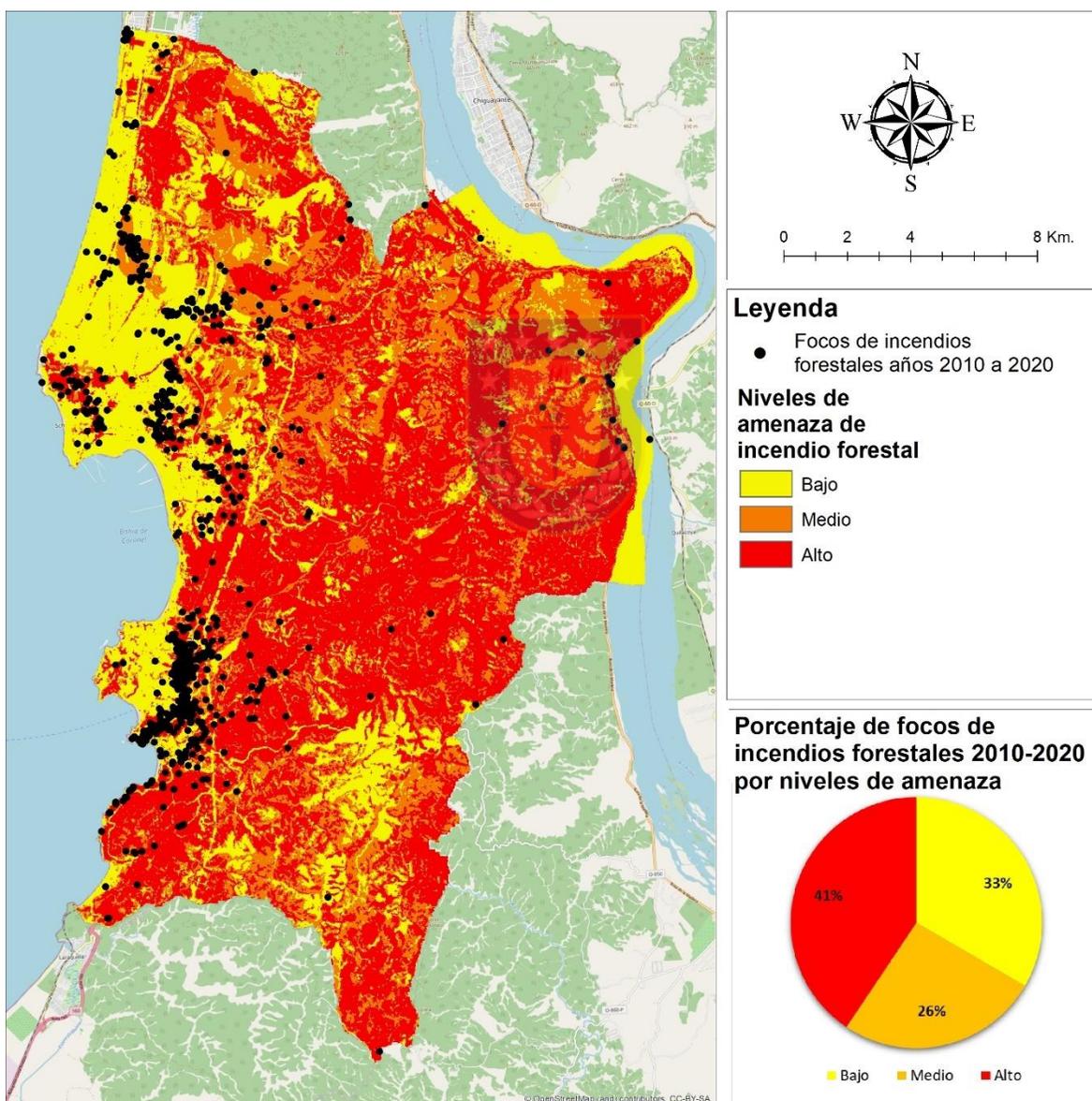
Mapa N°10: Reclasificación de niveles de amenaza de incendio forestal, según valores del modelo de amenaza propuesto para Coronel y Lota.



Fuente: Elaboración propia.

Como complemento y validación del presente estudio, se utilizaron los puntos de focos de incendios forestales de los últimos diez años del registro de CONAF y se cruzaron con el resultado del mapa de amenaza de incendio forestal, lo que se puede ver en el Mapa n°13 y revela que el 33,41% de los focos de incendios forestales están en nivel bajo de amenaza, el 25,98% se encuentra en amenaza media y el mayor porcentaje de focos de incendios forestales se encuentran en el nivel de amenaza alto, esto con un 40,61% del total del área de estudio.

Mapa N°11: Reclasificación de niveles de amenaza de incendio forestal y focos de incendios forestales años 2010 a 2020, según valores del modelo de amenaza propuesto para Coronel y Lota.



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de coberturas de suelo y de niveles de amenaza de elementos del medio construido se cruzaron con los focos de incendios forestales de los últimos 10 años, lo que reveló que en las plantaciones forestales en donde más se iniciaron los incendios con 328 focos (28,33%), seguido del suelo urbano con 253 focos (21,72%), el suelo descubierto con 209 focos (17,94%), los matorrales con 199 focos (17,08%) y las praderas con 135 focos (11,5%). La totalidad de las coberturas se observa en la Tabla N°11. También los niveles de amenaza de los elementos del medio antrópico se cruzaron con los focos de incendios forestales, lo que arrojó como resultado que el 77,77 % de los incendios forestales se iniciaron en sectores de alta amenaza (906 focos de incendio). El nivel medio de amenaza coincidió con 0,94 % de focos de incendios forestales (11 focos), mientras que el nivel medio de amenaza tuvo un 21,03% de los focos de incendios forestales (21,03 focos) (Ver Tabla N°12).

Tabla N°11: Número de focos de incendios forestales año 2010 a 2020, según cobertura de suelo de las comunas de Coronel y Lota.

Cobertura de suelo	N° de incendios	Porcentaje %
Bosque nativo	0	0
Plantaciones	328	28,33
Praderas	134	11,5
Matorral	199	17,08
Humedal	40	3,43
Urbano	253	21,72
Descubierto	209	17,94
Agua	0	0
	1162	100

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°12: Número de focos de incendios forestales año 2010 a 2020, según niveles de amenaza para elementos del medio antrópico, en las comunas de Coronel y Lota.

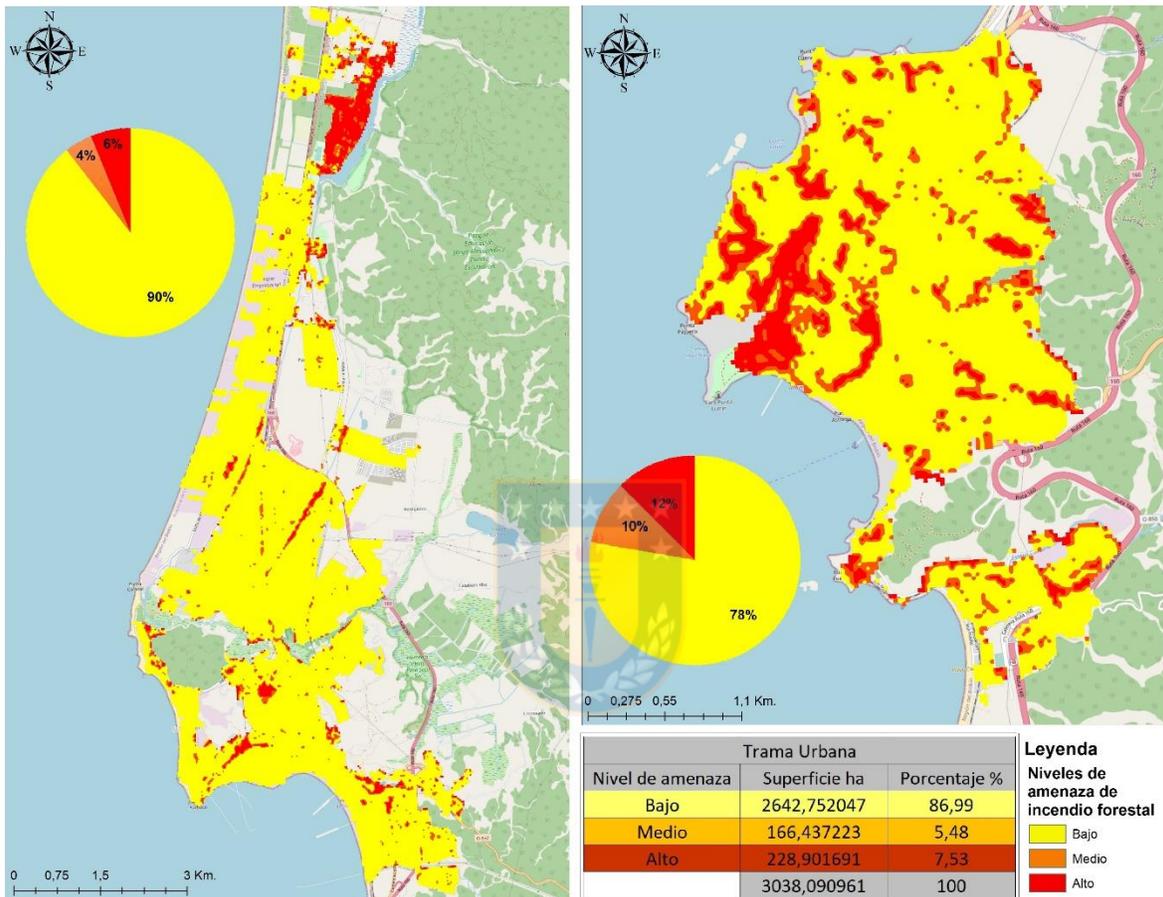
Medio antrópico y focos de incendio		
Nivel de amenaza	N° de incendios	Porcentaje %
Bajo	245	21,02
Medio	11	0,99
Alto	906	77,99
	1162	100

Fuente: Elaboración propia.

Al cruzar la trama urbana con los niveles de amenaza por incendio forestal se obtuvo que la comuna de Lota cuenta con el 12% de su territorio urbanizado en amenaza alta, el 10% en amenaza media y el 78% en amenaza baja. Por otra parte, la comuna de Coronel cuenta con el 6% de su trama urbana en amenaza alta, el 4% en amenaza media y el 90% en Amenaza alta. En conjunto las tramas urbanas de Coronel y Lota tienen un 7% en amenaza

alta (228,90 ha.), 5,48% en amenaza media (166,43 ha.) y el restante 86,99% en amenaza baja (2642,75 ha.). Destaca el sector norte de la comuna de Coronel con alto nivel de amenaza, mientras que en la comuna de Lota destacan los sectores con quebradas (Ver mapa n°14).

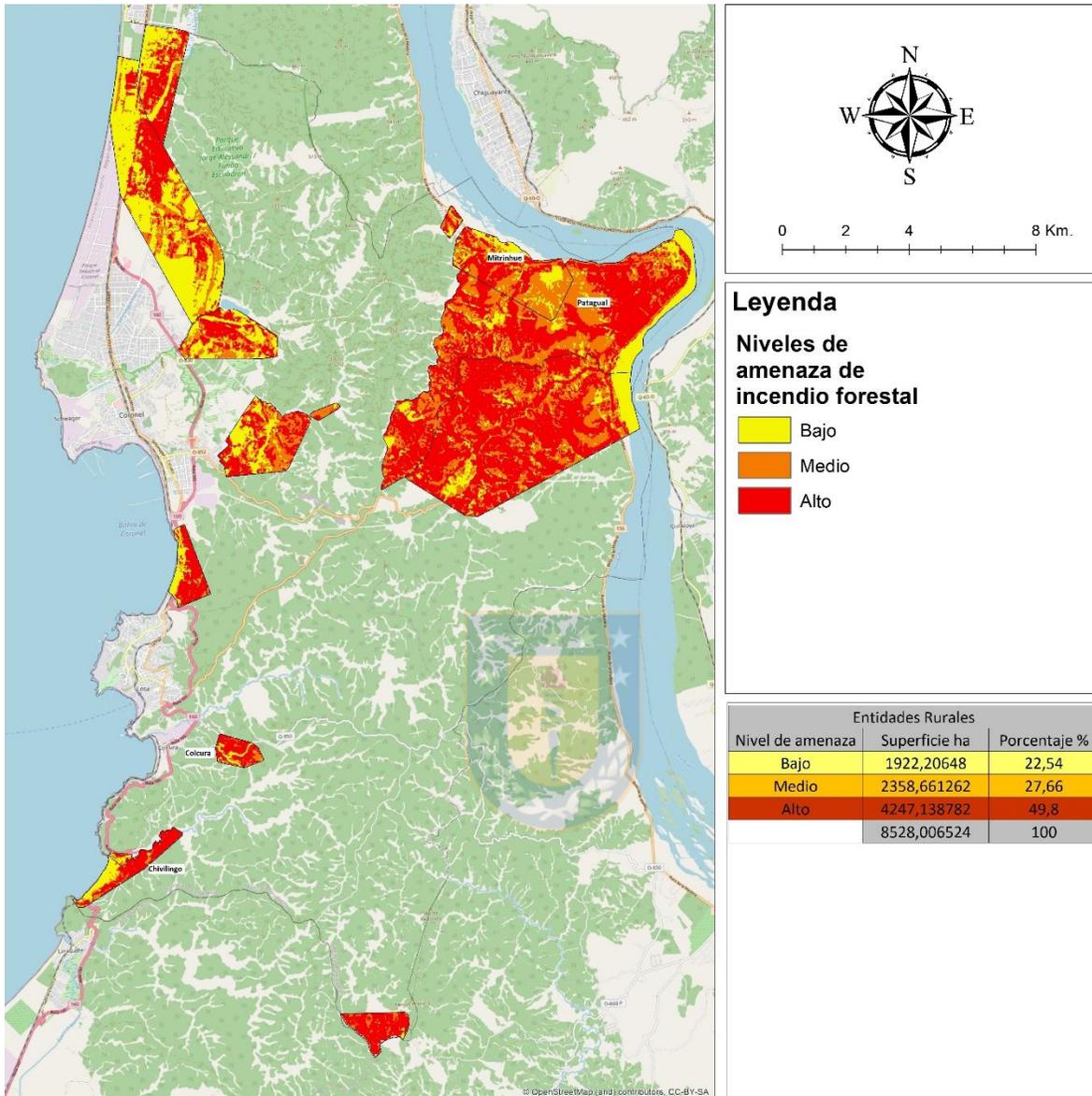
Mapa N° 12: Reclasificación de niveles de amenaza de incendio forestal en la trama urbana de Coronel y Lota.



Fuente: Elaboración propia.

Del mismo modo que se hizo con la trama urbana, las entidades rurales también se cruzaron con el resultado de amenaza de incendio forestal, lo que dio como resultado fue que, de las 8528,006 ha. de entidades rurales que suman en conjunto ambas comunas 4247,13 ha. se encuentran en amenaza alta, lo que representa el 49,8%. Los sectores con amenaza media cubren 2358,66 ha., es decir, 27,66% y las zonas con amenaza baja son 1922,20 ha., siendo el 22,54% del total. Destacan los sectores de Patagual y Mitrinhue en Coronel, donde el nivel más alto de amenaza es el predominante en estas entidades. En la comuna de Lota destacan los sectores de Colcura y Chivilingo con sus superficies cubiertas casi en totalidad, a excepción de las playas, por el nivel de amenaza alto (Ver mapa n°15).

Mapa N°13: Reclasificación de niveles de amenaza de incendio forestal en las entidades rurales de Coronel y Lota.



Fuente: Elaboración propia.

VI. DISCUSIÓN

En esta investigación, al evaluar la amenaza de incendios forestales en las comunas de Coronel y Lota, por medio de un modelo espacial que incluyó variables territoriales y climáticas, se pudo encontrar que las zonas con alta amenaza por incendios forestales representa el 50,34% del territorio estudiado, la amenaza media ocupa el 24,47% y la amenaza baja el 25,19%. Esto quiere decir que la mitad del área de estudio se encuentra en amenaza alta, abarcando principalmente los cordones montañosos de la cordillera de la costa, los cuales están ocupados mayoritariamente por plantaciones de monocultivo forestal, coincidiendo con Contreras (2015), quien dice que el contexto forestal en Chile, aumenta la amenaza de incendio forestal debido a las extensas superficies de material susceptible a ser quemado. También se concuerda con Handke (2019), donde señala que los modos de uso de la tierra y, en especial, el tipo de bosques económicamente explotados de Chile influyen en la dimensión del riesgo. Similar a lo propuesto por Moreno et al. (2012), quien dice que la ocurrencia de incendios es favorecida por vegetación inflamable presente en el territorio.

El 50.34% del área de estudio que se encuentra en amenaza alta y el 24.47% en amenaza media, reafirma la categorización asignada por CONAF en el año 2010, en su estudio para establecer comunas crítica por riesgos de incendios forestales, considerando a Coronel y Lota parte de las 29 comunas.

En esta tesis se espacializaron los datos climáticos de los últimos 30 años para construir índices que aporten a la integración de esta dinámica en el modelo de amenaza de incendios forestales. Se generaron dos índices, uno fue el índice temperaturas máximas, el que considera las temperaturas por sobre el percentil 90 de los días de verano de los últimos 30 años, y el otro fue el índice de precipitaciones, es decir, los días consecutivos sin lluvias en los días de verano de los últimos 30 años. Coincidiendo con lo señalado por CONAF (2011) en el Manual con medidas para la Prevención de Incendios Forestales, que dice que comúnmente los meses de diciembre, enero, febrero y marzo son los más críticos en términos de número de incendios y superficie afectada. La importancia de estos índices coincide con los expresado por Moreno et al. (2012), donde señala que ocurrencia de incendios es favorecida, entre otros factores, por las condiciones climáticas desecantes, como altas temperaturas, bajas humedades relativas del aire y sequía. Además, los estudios de (Le Quesne et al. (2006), Christie et al. (2010), Urrutia et al. (2011) desarrollados en la zona central del país, han dado cuenta de un incremento significativo en la recurrencia de las sequías y disminución de las precipitaciones, lo que hace aún más relevante la incorporación de los índices climáticos en la evaluación de amenaza de incendios forestales.

El desarrollo de esta investigación permitió el levantamiento de datos espaciales asociados a las dinámicas territoriales, lo que rebeló la superficie ocupada por cada uso dentro del área en estudio. Como era de esperar las plantaciones de monocultivo forestal son el uso de suelo con mayor superficie ocupada con 14729,002 ha. (40,11%), lo que hace un escenario preocupante para ambas comunas, ya que como menciona Castillo (2013), la

presencia de bosque exótico en las cercanías de comunidades, genera un aumento en la amenaza de manera latente para los habitantes de la comuna. Otra variable antrópica que se consideró en esta tesis fueron los elementos antrópicos relevantes en función de los incendios forestales, lo que evidenció que los caminos forestales, áreas de quemas controladas y zonas de camping representan un peligro latente en este tema, lo que es concordante con lo dicho por Castillo (2010), quien señala que más del 90% de los incendios provienen de alguna u otra forma de un origen antrópico. Es por esto mismo, que el hecho de habitar de manera directa con un área de monocultivo, genera automáticamente una amenaza y vulnerabilidad importante sobre la comuna y sus habitantes.

En el desarrollo de esta tesis se cruzaron las tramas urbanas de las comunas de Coronel y Lota con el resultado de la amenaza por incendio forestal, teniendo como resultado que la suma de las tramas urbanas de ambas comunas ocupa un 7,53% de amenaza alta, coincidiendo con lo que dicen Barton, Jonathan R, (2016), quienes señalan que parte importante del área de las ciudades se superpone con áreas de riesgo natural o de amenaza de incendio como es este caso y que además el 90,2% de la población habita en espacios urbanos, ya sea por el escaso planeamiento territorial, o por las excesivas presiones del mercado inmobiliario. Motivo de discusión también es el caso de Lota que en su trama urbana presenta un 12% de alta amenaza y se sitúan mayoritariamente en quebradas cubiertas por matorrales, lo que sigue la línea de lo expresado por Castillo (2015), quien dice que la falta de claridad y fiscalización en las normativas para la construcción en zonas de riesgo, conduce a que muchos sectores confinados a cerros y quebradas con pendientes fuertes y con alta carga de combustible vegetal, constituyan focos de alto riesgo de incendios.

Para la realización de esta memoria se adaptó la metodología propuesta por Etxeberria en el año 2002, que desarrolló en Guipúzcoa, País Vasco, la que ha sido aplicada en las investigaciones de Barra (2013) en la comuna de Ránquil, Contreras (2015) en la comuna de Hualqui, Adasme (2018) en la comuna de Chiguayante y Muñoz (2019) en la comuna de Arauco, entre otros autores. Todas las investigaciones anteriormente mencionadas que desarrollaron el modelo original de Etxeberria, se aplicaron en comunas de la región del Biobío con características similares como la presencia de plantaciones forestales, la cordillera de la costa y las quebradas presente en ésta, los elementos del medio antrópico condicionantes en función de los incendios forestales, entre otros factores. Además, algunos de los investigadores realizaron adaptaciones al modelo original lo que se hace interesante mencionarlos como contribución a estudios futuros.

A continuación, se muestra una tabla comparativa entre cinco trabajos realizados en comunas de la región del Biobío, en los que se aplicó el modelo propuesto por Etxeberria, donde cada investigador lo hace con distinto enfoque, pero siempre partiendo de la evaluación de la amenaza por incendio forestal.

Tabla N°13: Cuadro comparativo de investigaciones realizadas en la región del Biobío en base al modelo de Etxeberria, (2002).

Ránquil	Hualqui	Chiguayante	Arauco	Coronel-Lota
-	39% de plantaciones forestales	14% de plantaciones forestales	64% de plantaciones forestales	40,11% de plantaciones forestales
- Amenaza alta 41 % - Amenaza Media 44% - Amenaza baja 14%.	- Amenaza alta 37 % - Amenaza Media 40% - Amenaza baja 23%.	- Amenaza alta 21 % - Amenaza Media 33% - Amenaza baja 46%.	- Amenaza alta 7 % - Amenaza Media 36% - Amenaza baja 57%.	- Amenaza alta 50 % - Amenaza Media 24% - Amenaza baja 25%.
Valida metodología con los incendios forestales del año 2012 en Ránquil.	Evalúa el riesgo de incendio forestal sumando amenaza y vulnerabilidad global	Desarrolla la metodología antes y después de los incendios del año 2017.	Cruza amenaza de incendio con zonas de usos de suelo del PRC.	Se incorporan variables climatológicas de los meses de verano en los últimos 30 años
Cerca de carreteras y caminos.	Cerca de autopistas, carreteras y caminos, líneas de alta tensión, vías férreas, quemas controladas.	Autopistas, carreteras y caminos, líneas de alta tensión, vías férreas y quemas controladas.	Cerca de Carreteras y Autopistas, vías férreas, líneas de alta tensión, quemas controladas.	Cerca de autopistas, carreteras y caminos, vertederos, vías férreas, líneas de alta tensión, quemas controladas y camping.

Fuente: Elaboración propia.

Con los resultados obtenidos y conociendo otros estudios relacionados con el tema de la amenaza de incendios forestales, se hace fundamental, para futuros, estudios mantener lo propuesto en esta investigación donde se consideran dos variables climatológicas para el análisis, prevención y mitigación de los incendios, como lo hace el sistema estadounidense FRDRS National Fire Danger Rating System, Energy Release Component (sistema nacional de clasificación del peligro de incendios, componente de liberación de energía), el que mantiene un muestreo diario de indicadores de humedad, temperatura, precipitación y vientos entre otros, índices relevantes en la evaluación de los incendios forestales, otra entidad como CONAF (2011), señala la importancia de las condiciones climatológicas en la temporada de incendios que es precisamente en los meses de verano. También Adasme (2018), recomienda que ya sea riesgo, vulnerabilidad o amenaza de incendios, es fundamental incluir datos meteorológicos, permitiendo así un mejor conocimiento del área y del comportamiento del clima en el lugar, siendo así un estudio mucho más completo y fidedigno.

VII. CONCLUSIONES

En la presente investigación se evaluó la amenaza de incendios forestales en las comunas de Lota y Coronel, por medio de un modelo espacial que incorporó variables de climáticas y territoriales, donde lo más importante en el desarrollo de la metodología fue la integración de las variables de temperaturas máximas y precipitaciones de los días de verano de los últimos 30 años, esto porque en el modelo original, propuesto por Etxeberria del año 2002, solo considera factores territoriales como inflamabilidad, altitud, coberturas de suelo y elementos del medio antrópico y no considera variables relacionadas al clima. Lo que más ayudo a alcanzar este objetivo fue la disponibilidad de datos, dado que se trabajó a nivel de detalle como zonas de camping, basurales ilegales o puntos de quemas controladas para conseguir la variable de elementos del medio antrópicos, también la disponibilidad de imágenes satelitales actualizadas y de resolución adecuada para los fines de esta investigación. Otros elementos que ayudaron a la investigación fue la disponibilidad del detalle diario de los últimos 30 años de los datos de precipitaciones y temperaturas máximas para los meses de verano, siendo estos también un elemento que dificultó la investigación, debido a la gran cantidad de datos que se trabajaron, lo que hacía que los softwares y hardware no tuvieran la capacidad para responder de forma óptima, lo que llevó a la utilización del software RStudio.

Como se dijo en el párrafo anterior, en esta tesis también se espacializaron los datos climáticos de los últimos 30 años, con el propósito de construir índices que aporten a la integración de esta dinámica en el modelo de amenaza de incendios forestales. Lo más importante fue la generación del índice temperaturas máximas, es decir, las temperaturas por sobre el percentil 90 de los días de verano de los últimos 30 años y el índice de precipitaciones, es decir, los días consecutivos sin lluvias en los días de verano de los últimos 30 años. Al momento de integrar los índices climáticos con los territoriales surgió la dificultad de la diferencia de tamaño de pixel entre ambas, debido a que las variables territoriales contaban con tamaño de pixel de 30 por 30 años, siendo este menor al tamaño de pixel de las variables climáticas.

En la realización de esta tesis se levantaron datos espaciales asociados a las dinámicas territoriales como inflamabilidad, radiación, altitud, usos de suelo y medio construido. Lo que fue fundamental para lograr la adaptación del modelo de amenaza de incendio forestal por Etxeberria. La disponibilidad de imágenes satelitales Landsat 8, por parte de la página del USGS, fue el principal elemento facilitador de este levantamiento de datos, debido a que el procesamiento de estas se pudieron obtener las variables de inflamabilidad, a través de los índices ndvi y ndii, la radiación solar y los usos de suelo. Lo dificultoso para levantar estas variables fue encontrar capas de información de vertederos ilegales o zonas de camping, esto debido a que no había catastros actualizados al mismo año entre cada comuna.

En esta tesis se generó un mapa de amenaza de incendios forestales para las comunas de Coronel y Lota, el cual se validó con el registro histórico de los últimos 10 años de focos de incendios forestales de CONAF. Lo más importante de esta validación fue cruzar el

resultado de la amenaza de incendio forestal, obtenida de una propuesta metodológica, con datos de eventos reales que ocurrieron en las comunas en estudio. El principal elemento facilitador de esta parte de la investigación fue la disponibilidad de datos espacializados de los focos de incendios forestales de CONAF. La validación señala que el 40,61% de los focos de incendios forestales de los últimos 10 años se produjeron en zonas de alta amenaza, según el resultado obtenido por la propuesta metodológica.

También se cruzaron los focos de incendios forestales con el resultado de las coberturas de suelo y la cobertura con mayor cantidad de focos de incendios fueron las plantaciones forestales, siendo estas un elemento esencial e influyente en la generación y propagación de los incendios forestales. Los focos de incendios forestales también se cruzaron con los niveles de amenaza de elementos del medio antrópico, lo que evidenció que los sectores con elementos antrópicos ligados a la alta amenaza se condicen con el registro de focos de incendios forestales. En definitiva, se concluye que existe una marcada relación entre tránsito de personas, las plantaciones forestales y los focos de iniciación de incendios forestales.

Se concluye que, dentro de las tramas urbanas de ambas comunas, los sectores con quebradas tienen mayor grado de amenaza, donde estas coinciden con sectores boscosos, evidenciando así el factor vegetacional es un elemento determinante en el resultado de esta metodología. Los sectores dentro de las tramas urbanas de ambas comunas muestran que, en Lota los sectores de Fundición, Parque de Lota, Ruinas del Carbón, Parque Luis Cousiño son sectores con quebradas boscosas y tiene alto grado de amenaza, así también en la comuna de Coronel, las poblaciones Altos de Coronel y La Colonia el sector con quebradas boscosas y presentan amenaza alta. En el sector La Posada, en el noroeste de Coronel, a pesar de no ser un terreno irregular en cuanto a pendientes, es boscoso y cuenta con amenaza alta por incendios forestales.

Reafirmando lo que se dijo en el párrafo anterior, respecto a que los sectores boscosos son un elemento determinante en el resultado de evaluación de incendios forestales, esto porque también se evaluó la amenaza de incendios forestales en las entidades rurales, teniendo estas el 49,8% alto nivel de amenaza, donde la superficie principalmente está cubierta por bosques o matorrales.

Con el resultado de amenaza de incendio forestal de esta tesis se concluye que, la cordillera de la costa presente en los territorios de ambas comunas, es donde esta mayoritariamente la amenaza alta de incendios forestales, siendo estos suelos ocupados por plantaciones de monocultivo forestal de pino principalmente y eucaliptus en segundo orden. También la cordillera de la costa es de relieve irregular con quebradas cubiertas por matorrales, elementos que fundamentan el sector con alta amenaza por incendios forestales. Destacar también que los sectores de la cordillera de la costa con amenaza media o baja, mayormente corresponden a suelos descubiertos por tala de plantaciones de monocultivos forestales.

El resultado de esta metodología se podría cruzar con información a nivel de manzanas censales de los registros del INE y así obtener resultados más detallados como podría ser el número de viviendas expuestas a los diferentes niveles de amenaza, la población adulto

mayor expuesta. También con información especializada de los organismos de salud se podrían cruzar las georreferenciaciones de pacientes con dificultad de desplazamiento o imposibilidad de desplazamiento con los niveles de amenaza de incendios forestales. Siguiendo la línea de lo anterior en resultado de la amenaza de incendios forestales se podría cruzar con capas de información de accesibilidad a grifos, de accesibilidad a viviendas emplazadas en quebradas, como por ejemplo para el caso de Lota. En definitiva, el resultado de los niveles de amenaza de incendio forestal que se obtuvo como resultado de este estudio, podría ser un aporte robusto a las políticas públicas ligadas a la planificación de territorio, vialidad, salud etc.



VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. Adasme, C. (2018). Evaluación de amenaza de incendio forestal en el interfaz urbano-forestal de la comuna de Chiguayante. Universidad de Concepción. Tesis para optar al título de Geógrafo.
2. Aguayo, P. (2013). Apuntes de Teledetección: Índices de vegetación. Centro de Información de Recursos Naturales.
3. Alcaraz, F. (2012). *El factor fuego*. En F. Alcaraz, Geobotánica. Ciudad de Murcia.
4. Añamuro, H. (2019). *Detección De Áreas Afectadas Por Incendios Forestales En La Reserva Nacional Del Titicaca En El Año 2016, Utilizando Geotecnologías*. (Tesis de pregrado). Universidad Andina, Juliaca, Perú.
5. Ayala-Carcedo, F y Olcina, J. (2002). *Riesgos Naturales. Aspectos Conceptuales y Metodológicos*.
6. Balch J. Jenifer, Bradley Bethany A, Abatzoglou John T, Nagy R. Chelsea, Fusco Emily J, Mahood Adam L. (2017). "Human Started Wildfires Expand the Fire niche Across the United States. Proceeding of the National Academy of Sciences of the Unites States of America.
7. Barton, Jonathan R., Irarrázaval, Felipe, Adaptación al cambio climático y gestión de riesgos naturales: buscando síntesis en la planificación urbana. Revista de Geografía Norte Grande [en línea] 2016. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30045600006%253E%2520ISSN%25200379-868>
8. Barra, C. (2013). "Evaluación de un modelo de peligro de inicio de incendio forestal: comuna de Ránquil, región del bio-bío". Tesis para optar al grado de Licenciado en Educación. Universidad de Concepción
9. BNC (s.f.). Clima y Vegetación Región del Bío Bío, Chile nuestro país [En Línea]. Consultado el 20 de julio de 2021. <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region8/clima.htm>
10. Campos, M., Toscana, A., y Campos, J. (2015). Riesgo siconaturales: vulnerabilidad socioeconómica, justicia ambiental y justicia espacialIII. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 24 (2), pp.53-69. DOI: 10.15446/rcdg.v24n2.50207
11. Castillo M, Garfias, R, Julio G, Correa L. (2013). Incendios forestales en Chile. Análisis general de riesgos. Capítulo Libro Riscos: Naturais, Antrópicos e Mistos '. Faculdade de Letras. Pp.639-650. ISBN 978-989-96810-1-9.;p 667-678. Universidad de Coimbra. Portugal.
12. Castillo, M. (2015). El Problema de los incendios forestales en el colinaje costero de Valparaíso-Viña del Mar. Revista Chile Forestal", N° 319.

13. Castillo, C. (2016). "Evaluación de vulnerabilidad ante la amenaza de incendio forestal. Propuesta educativa para la comunidad educativa. Caso de estudio: Penco, región del bio-bío". Tesis para optar al grado de Licenciado en Educación. Universidad de Concepción.
14. Castillo, C. (2016). Propuesta para un plan de emergencia, respuesta y evacuación en caso de incendio para la comuna de Talcahuano. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil Logístico. Universidad Católica de la Santísima Concepción.
15. Catillo, M., Garfias, R., Julio, G. & Correa, L. (2011). Estudio del comportamiento del fuego mediante simulación de incendios forestales en Chile. Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza Universidad de Chile.
16. Chuvieco, E., Aguado, I., Yebra, M., Nieto, H., Martín, M., Vilar, L., Martínez, J., Padrón, D., Martín, S., Salas, J. (2007). Generación de un Modelo de Peligro de Incendios Forestales mediante Teledetección y SIG.
17. CONAF, (2011). Manual con Medidas para la Prevención de Incendios Forestales. Región Metropolitana.
18. CONAF, (2017). Descripción y Efectos Tormenta de Fuego 18 de enero al 5 de febrero de 2017 Regiones O'Higgins, El Maule y Biobío.
19. CONAF, (2019). Estadísticas históricas. [En Línea]. Consultado el 17 de agosto de 2020. En <http://www.conaf.cl/incendios-forestales/incendios-forestales-en-chile/estadisticas-historicas/>
20. CONAF, (2019). Incendios forestales en Chile. [En línea]. Consultado el 16 de agosto de 2020. En <http://www.conaf.cl/incendios-forestales/incendios-forestales-en-chile/>
21. CONAF, (2020). Plan Regional de Prevención de incendios forestales. Región del Biobío. Departamento Protección Contra Incendios Forestales. Sección de Prevención de Incendios Forestales.
22. Contreras, A. (2015). "Evaluación de riesgo de desastre asociado a incendios forestales en la comuna de Hualqui: Un aporte a la planificación territorial en el contexto de la implementación de la circular MINVU 269." Tesis para optar al grado de Magister en Análisis Geográfico. Universidad de Concepción.
23. Dagherne, A., Duché, Y., Castex, J. & Ottavi, J. (1994). Propection des forest contre l'incendiie Système d'information géographique. Foret méditerranéenne t.XV, n° 4, Octubre 1994.
24. Díaz-Hormazábal, Ignacio, & González, Mauro E. (2016). Análisis espacio-temporal de incendios forestales en la región del Maule, Chile. *Bosque (Valdivia)*, 37(1), pp.147-158. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002016000100014>
25. Esri, (2020). ArcGIS Desktop. [En Línea]. Consultado el 14 de julio de 2021. <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-solar-radiation-is-calculated.htm#>

26. Etxeberria, P. (2002): Metodología para la creación de cartografía de peligros naturales en Gipuzkoa. Aplicación al valle de Oiartzun. Tesis doctoral inédita, Universidad del País Vasco.
27. Fréne Conget, C. y Núñez Ávila, M. (2010). Hacia un nuevo Modelo Forestal en Chile. AIFBN - Agrupación de Ingenieros Forestales por el Bosque Nativo: Revista Bosque Nativo 47: 25 - 35, 2010.
28. Fuenteteja, M. (2013). Caracterización del efecto de las sequias sobre el vigor de Encinares mediante teledetección. Tesis para optar al título de Magister en tecnologías de la información geográfica para la detección del territorio: sistemas de información geográfica y teledetección. Universidad de Zaragoza.
29. Garay, R., Castillo, M., Tapia, R., y Vergara, J. (2019). Territorio, viviendas y áreas de incendios forestales de interfaz. Localidades periurbanas en torno al Gran Santiago, Chile. *Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo*. Pp.1- 11. DOI: 10.5821/SIIU.6972
30. García, V. (2005). *El riesgo como construcción social y la construcción social de riesgos*.
31. Gligo, N. (2015). Problemática agrícola y socioeconómica del secano en Chile. Innovaciones sustentables para la agricultura de secano chileno 28 de octubre de 2015. Academia chilena de Ciencias Agronómicas. Seminario 2015.
32. Gómez-González, S., González, M., Paula, S., Díaz-Hormazábal, I., Lara, A., & Delgado-Baquerizo, M. (2019). Temperature and agriculture are largely associated with fire activity in central Chile across different temporal periods. *Forest Ecology and Management*, 433, pp. 535-543.
33. González, M. Lara, A. Urrutia, R.&Bosnich, J. (2011). Cambio Climático y su impacto potencial en la ocurrencia de incendios forestales en la zona centro-sur de Chile (33°-42°S). *Bosque* 32(3): 215-219, 2011.
34. Handke, M. (2019). The (de-) contextualization of geographical knowledge in forest fire risk management in Chile as a challenge for governance. *Revista de geografía Norte Grande*, (74), pp. 65-91.
35. Hantelhoff H. (2010). Las comunas críticas en cuanto a la ocurrencia de incendios forestales. Documento de Trabajo N°557. Santiago, Chile. CONAF.
36. Hantelhoff H. (2010). Los grandes incendios forestales en Chile 1985-2009. Documento de Trabajo N°539. Santiago, Chile. CONAF.
37. Hedi, H. (2019). "Condiciones de riesgo de incendio de las viviendas asociadas a las áreas de interfaz rural forestal de las comunas de quillón y florida (región de Ñuble y del Biobío, Chile)". Tesis para optar al grado académico de Magíster en Ciencias Forestales Universidad de Concepción.
38. I. Municipalidad de Florida, (2012). Actualización PLAN DESARROLLO COMUNAL, COMUNA FLORIDA.

39. I. Municipalidad de Florida, (2019). Mi Comuna, Geografía y Clima. [En Línea]. Consultado el 16 de agosto de 2019. En <http://www.muniflorida.cl/micomuna/geografia-clima.php>
40. INE, (2017). Censo 2017 – Regiones, Provincias y Comunas. [En Línea]. Consultado el 20 de julio de 2021. <http://ine-chile.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=c2155cac57d04032bf6ca5f151cddd6d>
41. INFOR (2018). Plantaciones Forestales Nacional 2018. [En Línea]. Consultado el 25 de julio de 2021. <https://ifn.infor.cl/index.php/311-plantaciones-forestales>
42. INFOR, (2018). ANUARIO FORESTAL 2018, CHILEAN STATISTICAL YEARBOOK OF FORESTRY. Instituto Forestal, Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile.
43. Jaque, E., Castillo, C., Ojeda, C. y 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), pp. 1-19.
44. Jolly, M., Cochrane, M., Freeborn, P., Holden, Z., Brown, T., Williamson, J. & Bowman, D. (2015). Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013. *Nature communication*, 6.
45. Keeley J, W Bond, R Bradstock, J Pausas, P Rundel. (2012). Fire in Mediterranean Ecosystems: Ecology, Evolution and Management. Cambridge, U.K. Cambridge University Press. 528 p.
46. Lavell, A. (2001). Sobre la Gestión del Riesgo: Apuntes hacia una Definición.
47. Lavell, A., & D, P. (2009). Sobre la Gestión del riesgo: Apuntes hacia una Definición.
48. López, M. Vidal, C. (2012). Paisaje patrimonial y riesgo ambiental. Recuperación cultural y turística del espacio postminero en Lota, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 52: 145-165 (2012).
49. Martinez-Harms MJ, Caceres H, Biggs D, Possingham HP (2017) After Chile's fires, reforest private land. *Science* 356: 147-148
50. Maturana, F. & Rojas, A. (2015). Ciudades intermedias en Chile: Territorios olvidados.
51. Mcwethy, D., Pauchard, A., García, R., Holz, A., González, M., Veblen, T., Stahl, J. & Currey, B. (2018). Landscape drivers of recent fire activity (2001-2017) in south-central Chile. *plos one*, (13).
52. Ministerio del Interior y Seguridad Pública, (2017). Chile y la "TORMENTA de FUEGO", Informe Incendios Forestales ENERO – FEBRERO DE 2017. Ministerio del Interior y Seguridad Pública, Gobierno de Chile.
53. Ministerio del Medio Ambiente, 2017. Plan de acción nacional del cambio climático 2017-2022. Gobierno de Chile.

54. Moreno, J. Rodríguez, I. & Zavala, G. 2012. Cambio Climático y Riesgo de Incendios Forestales en Castillas – La Mancha.
55. Muñoz, C. (2019). Evaluación de amenaza de incendio en la interfaz urbano-forestal de la comuna de Arauco y su relación con el plan regulador vigente. Análisis desde la construcción social del riesgo. Universidad de Concepción. Tesis para optar al título de Geógrafo.
56. Ortega, G. (2014). Diseño de un Plan de Gestión de Riesgos y Desastres ante Eventos de Deslizamientos, Sismos e Incendios para la Pontificia Universidad Católica de Ecuador sede Esmeraldas. Pontificia Universidad Católica de Ecuador.
57. Pausas, J. (2017). *Incendios Forestales, una visión desde la ecología*. Madrid, España: CSIC. pp. 147-158.
58. Pausas, J. (2012). Incendios forestales, Una visión desde la ecología.
59. Pincheira, M. (2016). Determinación del mercado del geoparque litoral del Biobío para la comuna de Lota. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil Industrial. Universidad Católica de la Santísima Concepción.
60. Rivera, C. (2017). Del reconocimiento del territorio a la entrega de tierras: brechas de implementación en el proceso de entrega de tierras a las comunidades indígenas colla de la comuna de Copiapó. *Revista Espacio y Sociedad*. Año 1 - N° 1 - 2017
61. Rodrigues M.; S. (2010). "Incêndios florestais: Comportamento, Segurança e Extinção".
62. Rojas, j. & Parra, O. (2009). Cambio climático local: La Región del Bío Bío en Chile contexto global.
63. Rosales, J., Esquivel, E., Acevedo, M., González, M, y Cartes, E. (2019). Situación pre y post-incendio, de un ecosistema del tipo forestal Roble-Hualo, Región del Maule, Chile. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 16(38), pp. 55-68. Epub September 26. <https://dx.doi.org/10.18845/rfmk.v16i38.3997>
64. Saurí, D. (1995). "Geografía y riesgos tecnológicos". *Documents D'analisi Geogràfica*,
65. Sriwongsitanon, N., Gao2, H., Savenije, H., Maekan, E., Saengsawang, S. and Thianpopirug, S. (2015). The Normalized Difference Infrared Index (NDII) as a proxy for soil moisture storage in hydrological modelling. *Hydrology Earth System Sciences, Discuss.*, 12, 8419–8457, 2015.
66. United Nations (2015). Riesgos y Desastres. [En Línea]. Consultado el 19 de octubre de 2021 <https://un-spider.org/es/riesgos-y-desastres>
67. United States Geological Survey. (2018). Using the USGS Landsat 8 Product Landsat Missions Using the USGS Landsat 8 Product | Landsat Missions. Recuperado de: <https://Landsat.usgs.gov/using-usgs-Landsat>.

68. Urrutia-Jalabert, R., González, M.E., González-Reyes, A., Lara, A. & Garreaud, R. (2018). Climate variability and forest fires in central and south-central Chile. *Ecosphere*, 9(4): e02171. 10.1002/ecs2.2171
69. Valencia, D. Saavedra, J. Brull, J. & Santelices, E. 2018. Severidad del daño causado por los incendios forestales en los bosques remanentes de *Nothofagus alessandrii* Espinosa en la Región del Maule de Chile. *Gayana Bot.* 75(1): 531-534, 2018
70. Varela, (2016). Impacto del desarrollo forestal en la identidad cultural de la comuna de Florida, Región del Biobío. Universidad de Concepción.
71. Vélez, R. (2018). "Cambio global e incendios forestales: Perspectiva en la Europa Meridional". *Recursos Rurais*, (5), 49-54. <https://doi.org/10.15304/rr.id5302>.
72. WWF, (2019). Fondo Mundial para la Naturaleza. "Las Quemadas Mediterráneas: WWF's- Propuesta Cuenca Mediterránea para la Prevención de los Incendios Rurales". Autor: Lourdes Hernández (WWF Spain). Disponible en http://awsassets.wwf.es/downloads/wwf_informe_incendios_forestales_2019_arde_el_mediterraneo_2019.pdf

