



UNIVERSIDAD DE CHILE
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Escuela de pregrado
Carrera de Geografía

**Amenazas climáticas y exposición en la comuna de Pichilemu, provincia
Cardenal Caro, Región del Libertador Bernardo O'Higgins.**

Memoria para optar al título profesional de Geógrafa

TAMARA ESTER SEPÚLVEDA ARAYA

Profesor: Dr. Pablo Sarricolea

Santiago – Chile
2024

AGRADECIMIENTOS

A mi familia. Mi padre Jorge Sepúlveda. Encontrar una chispa de esperanza ante situaciones complejas me ha enseñado a quererte más, ante todas las adversidades, con tus gestos, detalles, cada muestra de cariño. A mis hermanas Vicky, Coty y Paula, mis sobrinos Violeta y Facundo. Mi hermano Pablo González Araya, cuyo hijo, Gaspar Artemis, me llena de felicidad cada vez que lo veo.

Eternamente agradecida con mi madre, pilar fundamental de mi vida, es a quién más puedo agradecer por todo. Profesora de historia, totalmente dedicada a enseñar, recordar y rememorar algo tan importante como el pasado y presente del país, pero más que nada, dedicada a enseñarme sobre la vida, sobre encontrar una luz ante las adversidades y obstáculos que he tenido que atravesar. Por estar ahí siempre presente, por quererme, aceptarme tal como soy tanto con mis falencias y mis virtudes, las cuales ella destaca, siempre queriendo hacer notar, no sólo lo maravilloso que puede llegar ser cada humano, es más, se trata de lo maravillosa que puede ser la vida. Sin ella, no sería capaz de ver de una manera crítica, pero con esperanza, todo lo que es el pasado, presente y futuro de Chile, con un interés político y social que despertó en mí a temprana edad, y que, al entender que soy parte de esta realidad como futura profesional y ciudadana agradezco infinitamente poder participar y ser un aporte.

A mis amigos, sobre todo a mis compañeras geógrafas, fuertes e inteligentes profesionales que destacan por su empatía, sororidad y apoyo incondicional. No encuentro las palabras suficientes para describir lo mucho que me han ayudado y apoyado durante este proceso. Su amistad, comprensión y constante ánimo han sido un pilar fundamental en estos años de estudio. Gracias por estar siempre ahí, escuchando mis preocupaciones, ofreciendo palabras de aliento y, sobre todo, por creer en mí incluso cuando yo misma dudaba. Gracias por ser parte de mi vida y por compartir conmigo este importante capítulo.

A mis profesores, Pablo Sarricolea por su apoyo constante, académico y profesional guiándome, por estar ahí para orientarme en cada tutoría, indicando, corrigiendo constructivamente. Gracias por creer en mí y por proporcionarme un ambiente académico en el que he podido crecer tanto profesional como personalmente. Este logro no habría sido posible sin su continuo apoyo y guía. También a Gino Sandoval por su disposición y paciencia conmigo en momentos difíciles donde su aporte académico me brindó las herramientas necesarias para poder terminar esta memoria.

También a mis otras docentes que además de ser geógrafas, son mujeres determinadas que inspiraron e influyeron sobre mis ideas y me ayudaron a comprender la realidad de este mundo, en el que, a pesar de todo, se debe seguir luchando tanto por la inequidad e injusticias, tanto ambientales como sociales, y que al final como geógrafas es nuestro deber resistir con una mirada feminista y crítica que sea un aporte a la construcción de esta sociedad.

Académicas como Yasna Contreras, Carmen Paz Castro, Gabriela Guevara, Joselyn Arriagada, María Christina Fragkou, Pamela Smith, María Victoria Soto y Olivia Henríquez que en geografía de los suelos me enseñó con toda su disposición a pesar de que haya sido tras una pantalla en la complicada situación que vivimos en pandemia. Así mismo, recalcar que tras ese contexto profesores y profesoras seguían luchando e insistiendo por una educación de calidad, aunque sea tras un monitor o pantalla, y agradecida estoy, de haberlos visto de nuevo en persona, sanos y dispuestos a seguir enseñando.

Esta memoria se inspiró en el área de estudio de Pichilemu debido a la calidez de las personas que lo habitan, de su respeto y trato hacia los demás, de lo bello de sus paisajes, de sus lugares que no solo se caracterizan por sus humedales, esteros y fauna nativa, sino también su belleza y biodiversidad tan variada, inspira protección, inspira resguardar, inspira un sentimiento de nostalgia que a su vez cálidamente me abre las puertas cada vez que vuelvo. Como habitante rural de Pichilemu, despierta en mí el interés de la discusión urbano-rural, por las injusticias, por el agua potable rural, por la luz, los caminos, entre otros servicios que para un ciudadano parecen básicos, pero que son una complejidad en otras realidades.

RESUMEN

En el presente trabajo se analiza el impacto del cambio climático a nivel territorial en la comuna de Pichilemu, identificando las principales amenazas y proponiendo medidas para mejorar la resiliencia comunitaria. Se creó una matriz de impactos y vulnerabilidad frente al cambio climático basada en datos socioeconómicos, físicos y ambientales. Se destacan las amenazas de incendios forestales, inundaciones y erosión costera, dentro de estas, las inundaciones a nivel urbano y rural presentan un grado de vulnerabilidad por materialidad de la vivienda y exposición por rango etario. Este estudio subraya la importancia de la Ley 21.455 y la necesidad de mejorar la disponibilidad y transparencia de datos específicos para las comunas más aisladas. A nivel regional, se proyecta un aumento significativo en la frecuencia de sequías y olas de calor, lo que requiere una respuesta coordinada para la mitigación y adaptación climática. A nivel local es posible observar una superposición de las amenazas climáticas de inundaciones con la infraestructura crítica, exposición y vulnerabilidad en la comuna, así como el registro histórico y tendencia en los incendios forestales. La conclusión reafirma que el cambio climático plantea desafíos complejos que requieren una transformación profunda en la toma de decisiones a nivel global, nacional y local. La gobernanza climática multinivel es esencial para coordinar los esfuerzos de diversos actores y construir un futuro sostenible y resiliente. Por último, se proponen medidas de adaptación ante las eventuales amenazas del cambio climático.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN	5
Introducción	5
Planteamiento del problema	6
Estado del Asunto	9
Área de estudio y antecedentes generales	13
Objetivos	21
CAPÍTULO 2: MARCO METODOLÓGICO	21
Objetivo 1: Perfil de amenazas climáticas:	21
Objetivo 2: Identificar factores de sensibilidad, impactos y exposición frente al cambio climático en la comuna de Pichilemu:	22
Objetivo 3: Determinar la vulnerabilidad de las viviendas y población en manzanas urbanas y la exposición de la población de las entidades rurales de Pichilemu ante la amenaza de inundación:	23
CAPÍTULO 3: RESULTADOS	25
Resultados objetivo 1	25
a) Incendios forestales	26
b) Inundaciones	30
c) Sequía	33
d) Olas de calor	35
e) Erosión costera	36
Resultados objetivo 2	39
Resultados objetivo 3	45
CAPÍTULO 4: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	54
Discusión y limitaciones del estudio	54
Conclusión	56
BIBLIOGRAFÍA	59
ANEXOS	64

CAPÍTULO 1: PRESENTACIÓN

Introducción

El cambio climático está trayendo consigo un mayor esfuerzo por parte de las autoridades ante los desafíos que se presentan. La mitigación y la adaptación ante esta problemática son imperativas para abordar y minimizar los impactos negativos en el medio ambiente y en las comunidades humanas, sin embargo, la falta de preparación para estos eventos podría socavar los esfuerzos necesarios para mitigar y adaptar comunidades. Bajo esta contingencia, la falta de preparación ante los eventos resulta una problemática para abordar cuya responsabilidad recae en la gobernanza climática junto con su evaluación de la vulnerabilidad y exposición ante amenazas climáticas en la comuna.

“La gobernanza climática multinivel es un proceso continuo de discusiones y negociaciones que involucra a un grupo diverso de gobiernos nacionales y locales, organismos internacionales, con el propósito de promover oportunidades y acciones ante el cambio climático” (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia [UNICEF], 2020, p.10). Tiene objetivos que guían tanto las decisiones como su implementación y supervisión. Se considera entonces, que la gobernanza climática debe adoptar nuevas leyes relacionadas al cambio climático, como lo es la “Ley de Marco de Cambio Climático”, en donde se generen programas que preparen sectorialmente a las personas ante catástrofes, que se asignen presupuestos para proyectos relacionados, y que además se unifiquen mediante alianzas que promuevan el bienestar común, como la seguridad alimentaria (Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, 2021) para así tener una mejor resolución de problemas.

Según el Quinto Informe de Evaluación preparado por el Panel Intergubernamental en Cambio Climático [IPCC], los diagnósticos de cambio climático a nivel comunal deben considerar cuatro componentes: las amenazas climáticas (actuales y proyectadas); la exposición de elementos y sistemas importantes dentro del territorio comunal; los factores de sensibilidad; y la capacidad de adaptación de la población (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2014). En el último Informe de Evaluación (VI) (AR6) en el capítulo 17, para tal diagnóstico se debe considerar la evaluación de riesgos climáticos, lo que puede incentivar la reducción del riesgo cobrando primas más bajas por situaciones menos riesgosas, la vulnerabilidad y capacidad de adaptación que considere a las comunidades y su capacidad de adaptarse ante los cambios climáticos, y medidas de adaptación que se identifiquen y planifiquen de manera práctica (PNUD, 2022).

En esta memoria se abordarán los últimos tres puntos mencionados anteriormente, con el objetivo de elaborar un diagnóstico sobre la actual exposición al cambio climático en la comuna de Pichilemu. Esto en base a la práctica profesional realizada durante el 2023 en la Municipalidad de Pichilemu, para su apoyo de diagnóstico de amenazas climáticas. Este análisis busca contribuir al Plan de Acción Comunal de Cambio Climático (PACCC) cuya institucionalidad ambiental pretende que los 345 municipios del país deben desarrollar sus planes de acción climáticas comunales, y generar iniciativas tanto en el ámbito de mitigación como de adaptación local. Tras realizar tal apoyo y diagnóstico en la Municipalidad de Pichilemu surge la siguiente pregunta: '¿Cuál es el impacto del cambio climático a nivel territorial en la comuna de Pichilemu?'

Asimismo, surgen otras interrogantes relevantes, tales como: ¿Cuáles son los principales eventos climáticos y sus respectivos impactos que afectarán a la comuna? ¿Qué fenómenos predominan? ¿Cómo se está abordando esta problemática desde el ámbito de la gobernanza?. Se propone analizar y comprender la exposición y vulnerabilidad ante el cambio climático a través de un enfoque integral que considere amenazas climáticas, exposición de elementos cruciales y factores de sensibilidad. Al abordar estos aspectos, es posible no solo identificar los riesgos, sino también se facilitan las ideas para proponer medidas concretas y fortalecer la resiliencia de las comunidades frente a los impactos climáticos.

Planteamiento del problema

Dentro del contexto de gobernanza climática, la política climática en Chile ha experimentado avances significativos en los últimos años, especialmente en términos de compromisos internacionales y medidas internas para abordar el cambio climático. Tales como:

1. Compromisos internacionales: Chile ha sido parte activa en la comunidad internacional en la lucha contra el cambio climático. Ratificó el Acuerdo de París, ratificado en 2017 por Chile, comprometiéndose a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y a tomar medidas para limitar el calentamiento global por debajo de los 2°C, y preferiblemente a 1,5°C, en comparación con los niveles preindustriales (Ministerio de Medio Ambiente [MMA], 2017)
2. NDC (Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional): Como parte del Acuerdo de París, Chile ha presentado sus Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional, estableciendo sus objetivos de reducción de emisiones para 2030. Estos incluyen reducciones de GEI, acciones de adaptación y contribuciones al financiamiento climático internacional. PNUD en 2023 da la siguiente cronología:

En 2015: Presenta su primera NDC tras la ratificación del Acuerdo de París.

En 2020: Presenta actualización de la NDC.

En 2021: Presenta su ECLP con miras a la carbono neutralidad al 2050

3. Plan Nacional de Cambio Climático (PNCC): Chile ha desarrollado un Plan Nacional de Cambio Climático, que establece una serie de medidas y políticas para abordar los impactos del cambio climático en el país. Este plan incluye estrategias para la mitigación de emisiones, adaptación al cambio climático, fortalecimiento institucional y participación ciudadana (MMA, 2014).
4. Estrategia de Descarbonización: En 2019, Chile lanzó la Estrategia de Descarbonización, con el objetivo de alcanzar la neutralidad de carbono para 2050. Esta estrategia incluye medidas para reducir la dependencia del país de los combustibles fósiles y fomentar el uso de energías renovables (Ministerio de Energía, 2017).

Además, Chile ha sido líder en América Latina en desarrollo de energías renovables, tales como la solar y eólica, en 2022 un 29% de la generación eléctrica nacional provino de la energía solar y eólica, superando de esta manera por primera vez en la historia al carbón

(Gobierno de Chile, 2022). Junto con la protección de recursos naturales en donde se pretende resguardar a los ecosistemas vulnerables frente al cambio climático incluyendo áreas protegidas y políticas de conservación. Por último, las iniciativas regionales y locales tales como los Planes Sectoriales de Adaptación que evalúan políticas públicas tales como silvoagricultura, energía, riesgo de desastres. Sin olvidar mencionar a los Comités Regionales de Cambio Climático [CORECC] cuya función principal es promover y facilitar la elaboración e implementación, a nivel regional y local, de las políticas, planes y acciones en materia de cambio climático, según las necesidades y posibilidades regionales y locales.

5. LEY SENAPRED: Promulgada el 27 de julio de 2021, la Ley 21.364 “ESTABLECE EL SISTEMA NACIONAL DE PREVENCIÓN Y RESPUESTA ANTE DESASTRES, SUSTITUYE LA OFICINA NACIONAL DE EMERGENCIA POR EL SERVICIO NACIONAL DE PREVENCIÓN Y RESPUESTA ANTE DESASTRES, Y ADECUA NORMAS QUE INDICA” (Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2021). Posteriormente en tal normativa se crea el reglamento que regula los organismos técnicos para el monitoreo de amenazas; organismos técnicos para el monitoreo sectorial; los instrumentos para la gestión del riesgo; y los procedimientos de elaboración de los mapas de amenaza y los mapas de riesgo (Decreto 86) (Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2023) en donde alude al cambio climático de tal forma que: “La Política Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres deberá incorporar criterios de adaptación al cambio climático, tanto en su fase de diseño como en su elaboración, implementación y evaluación” (Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2023).

Sin embargo, sigue siendo un desafío para todos los países implementar plenamente tales políticas y alcanzar sus objetivos, considerando la infraestructura existente que depende de combustibles fósiles tales como el carbón y petróleo, así como el recurso económico, la política regulatoria y fiscalización necesaria, entre otros obstáculos que retrasan la meta de todas las políticas climáticas que se proponen. Entre estas, la “Ley de Marco de Cambio Climático” es reciente, promulgada el 30 de mayo de 2022 con el propósito de, según el Ministerio de Medio Ambiente, a hacer frente a los desafíos que presenta el cambio climático, con la finalidad de alcanzar y mantener la neutralidad de emisiones de gases de efecto invernadero al año 2050 (2022).

Para el gobierno nacional, regional y municipios, seguir esta ley y la guía PACCC puede significar un gran desafío y a su vez un mayor esfuerzo ante el Cambio Climático, no sólo debido a la falta de preparación sino también por los esfuerzos necesarios para levantar información respecto a esto. La ausencia de un marco adecuado de gobernanza climática a nivel local y nacional agrava esta situación, ya que limita la capacidad de las municipalidades para abordar de manera efectiva los desafíos climáticos.

Respecto a la gobernanza climática, su efectividad dependerá de cómo se aplique a todas las escalas posibles. La gobernanza climática es la manera en que las sociedades definen objetivos y prioridades en materia de mitigación y adaptación al cambio climático, tomando decisiones, implementando y supervisando acciones para lograr tales objetivos y prioridades (Billi et al., 2021; Sapiains et al., 2020). Dentro de unas de sus problemáticas, la fragmentación de las instituciones se suman otras brechas significativas en la actual gobernanza climática del país: en primer lugar, la gestión actual tiende a privilegiar medidas

reactivas, las que se aplican solo cuando se producen los efectos del cambio climático (como sequías, incendios o inundaciones) y se focalizan en responder a la emergencia con una óptica de corto plazo (Billi & Moraga, 2021), aunque esto no significa que la gestión del riesgo en Chile sea reactiva como tal (por mencionar las medidas que se tratan de implementar mediante SENAPRED). Ahora bien, Billi & Moraga son enfáticos respecto a que la gobernanza climática está siendo dada de una manera descoordinada, inequitativa, poco participativa y transparente

Dentro de ésta, la participación ciudadana es un componente clave, Billi & Moraga afirman:

Mecanismos de participación poco efectivos, que son, a menudo, tardíos, de alcance limitado y solo de carácter informativo o consultivo, llevando, a la vez, a invisibilizar los saberes locales e indígenas, deslegitimando sus cosmovisiones, no empoderándolas frente al poder desigual de las grandes corporaciones económicas, y generando conflictos y desconfianza entre los actores (2021).

En el marco legal y regulatorio de la gobernanza climática, respecto a las políticas climáticas en Chile surge la problemática de los desafíos presentes como anteriormente se menciona. Dentro de éstas normativas, en el Ordenamiento Territorial, el Plan Regulador Comunal [PRC] de Pichilemu en el 2024 empieza a abordar temáticas y regulaciones respecto al cambio climático y sus respectivos riesgos, lo cual es un avance significativo para la comuna. Por ejemplo, considerando medidas de mitigación y adaptación para problemáticas de viviendas irregulares, de humedales, problemas ambientales y de sustentabilidad, entre otras. Proporcionando un marco detallado para entender cómo se organiza y clasifica el territorio en función de su uso y de los riesgos asociados, reflejando una planificación integral del desarrollo territorial en el borde costero (Ilustre Municipalidad de Pichilemu, 2024) definiendo las pautas por ejemplo de “AR-3: Área de Riesgo de Inundación: designa zonas sujetas a riesgos de inundación, estableciendo medidas y restricciones para salvaguardar a la población.” Se rige así, la utilización del territorio en diversas zonas, y se enfoca en aspectos como la actividad agrícola, proyectos inmobiliarios, instalaciones complementarias, actividades productivas y de servicios, así como la infraestructura intercomunal, por ende, tales Áreas de Riesgo determinadas tienen el objetivo de “Lograr un equilibrio entre el desarrollo territorial, la protección de la población y el medio ambiente. Esto se logra mediante la definición de normas claras que regulan la ocupación del territorio en distintos contextos, fomentando una planificación integral de la infraestructura” (Ilustre Municipalidad de Pichilemu, 2024). Dicho informe es más completo respecto a cómo se abordarán los crecientes riesgos en la comuna, sin embargo es necesario enfatizar más en la participación ciudadana y una evaluación integral de la vulnerabilidad de las personas que permita comprender las condicionantes subyacentes del riesgo.

Por último, Billi & Moraga mencionan que respecto a la disponibilidad de datos:

Se compone de significativas deficiencias en la disponibilidad, calidad o accesibilidad de los datos, tanto de las condiciones hidro-climáticas y ecosistémicas, como de la información sobre derechos de propiedad, y aquella requerida para el monitoreo y evaluación de la gestión. A lo anterior, se suma el escaso uso de los datos existentes y la no consideración de las proyecciones y de los escenarios futuros en el diseño de políticas públicas (2021).

En el caso de Pichilemu, la disponibilidad de datos específicos sobre la exposición de la población de Pichilemu ante amenazas climáticas es limitada o bien, está desactualizada. Existen estudios e investigaciones respecto a vulnerabilidad, exposición y capacidad de adaptación, pero enfocados en otras áreas más urbanizadas o en su totalidad, más pobladas. En este contexto, surge la necesidad de investigar y comprender en profundidad las amenazas climáticas que enfrenta la comuna, así como la medida en que la población está expuesta a ellas. Este análisis detallado es fundamental para informar adecuadamente las políticas de mitigación y adaptación, así como para desarrollar estrategias efectivas de gestión del riesgo climático a nivel local.

Estado del Asunto

El IPCC publica informes exhaustivos sobre el estado del conocimiento científico relacionado con el cambio climático. Estos informes proporcionan una base sólida para comprender los impactos del cambio climático a nivel global, regional y local. El IPCC en su informe “Cambio climático 2021: Bases físicas” del 2021, afirma que:

El cambio climático causado por las actividades humanas ya influye en muchos fenómenos meteorológicos y climáticos extremos en todas las regiones del mundo. Desde la publicación del IE5, hay más evidencia de que los fenómenos extremos – como olas de calor, precipitaciones intensas, sequías y ciclones tropicales – están cambiando, y que esa evolución se debe a la influencia humana (p.8).

Así mismo, el IPCC en ese mismo informe menciona:

Es probable que la influencia humana haya incrementado la posibilidad de que se produzcan fenómenos extremos compuestos desde la década de 1950. Esto incluye una mayor frecuencia de las olas de calor y sequías simultáneas a escala global (nivel de confianza alto), las condiciones meteorológicas favorables para la ocurrencia de incendios forestales en algunas regiones de todos los continentes habitados (nivel de confianza medio) y las inundaciones compuestas en algunos lugares (nivel de confianza medio) (2021, p.9).

Mientras que, resalta que en las ciudades costeras:

La combinación de episodios más frecuentes de nivel del mar extremo (debido al aumento del nivel del mar y a las mareas meteorológicas) y los fenómenos extremos de lluvia/flujo fluvial hará que las inundaciones sean más probables (nivel de confianza alto) (IPCC, 2021, p.21).

Y en el reporte del IPCC “AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023” del 2023 se mencionan los siguientes puntos que son relevantes:

- Los riesgos climáticos y no climáticos están destinados a interactuar cada vez más, generando situaciones compuestas y en cascada que se vuelven más complejas y difíciles de manejar.
- Se requiere avanzar hacia un desarrollo climático-resiliente mediante la integración de medidas tanto para adaptarse al cambio climático como para reducir las emisiones, con el fin de obtener mayores beneficios.
- Para lograrlo, es necesario un compromiso político, una gobernanza inclusiva, cooperación internacional, una gestión efectiva de los ecosistemas y el intercambio de conocimientos.

Respecto a estudios de vulnerabilidad y adaptación en regiones costeras, en el artículo “Assessing the Role of Land-Use Planning in Near Future Climate-Driven Scenarios in Chilean Coastal Cities” escrito por Jorge León, Patricio Winckler, Magdalena Vicuña, Simón Guzmán y Cristian Larraguibel en donde además de realizar un estudio sobre varias ciudades costeras y un respectivo análisis a la planificación de ordenamiento territorial, afirman que:

En general, la costa de Chile es 2% urbana y 98% rural. En las últimas décadas, las zonas costeras chilenas han experimentado un intenso proceso de antropización, lo que ha llevado a una creciente exposición a amenazas naturales, así como al deterioro de los ecosistemas costeros (2023, p.2)

A pesar de los intentos por integrar estudios de riesgo en los PRC y la promulgación de la Ley de Humedales Urbanos, la planificación del uso del suelo en Chile aún no logra ofrecer un enfoque completo y coordinado que salvaguarde los recursos ambientales y mitigue los riesgos costeros. En cambio, la gestión y planificación urbanas siguen divididas entre múltiples entidades gubernamentales, dependiendo de la definición de propiedad en áreas específicas (León et al., 2023)

Además, se afirma, que en los actuales PRC no se aborda los crecientes riesgos de inundaciones asociadas al clima. (...) Esto se puede deber a los antiguos que son estos instrumentos, ya que, si bien el PRC se debe actualizar cada 10 años por obligación, , las ciudades costeras tienen esquemas de planificación que tienen una antigüedad promedio de 17 años (León et al., 2023).

Respecto a investigaciones sobre eventos climáticos extremos en Chile, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO] afirma que:

En el componente ambiental la mayor vulnerabilidad se sitúa en las comunas del secano costero, siendo Pichilemu la comuna que posee mayor proporción de su superficie comunal catalogada con una alta susceptibilidad ambiental a la sequía (2010, p.94).

En junio y agosto del 2023 hubo un sistema frontal que terminó afectando a varias ciudades y localidades de la zona central de Chile, lo que provocó la crecida y desborde de ríos, inundaciones y activación de las quebradas. En la región de O'Higgins, dejó 763 personas damnificadas, 312 aisladas y 293 albergadas, además de 279 viviendas afectadas producto de las precipitaciones, en donde se han activado muchas quebradas que hace mucho tiempo que estaban sin agua (Reyes, 2023). En algunos sectores de Pichilemu, no fue la excepción (ver anexo 1 y 2), en donde se inundó la plaza central denominada "Plaza Prat" y la localidad de Barrancas.

En diciembre del 2022 la Delegación Presidencial de O'Higgins declaró alerta roja para Pumanque, Paredones y Pichilemu por incendios forestales en donde se consumieron 99 hectáreas (Cooperativa, 2022). Y en 2024, 70 viviendas quedaron destruidas por incendios forestales en la región de O'Higgins, donde se vieron afectadas 10 mil hectáreas, entre éstas incluido Pichilemu (Saldías, 2024).

Respecto a estudios de Pichilemu, García (2007) realizó un estudio de amenazas naturales en la comuna de Pichilemu en su memoria denominada "Riesgos naturales en el Área Urbana y de Expansión de la comuna de Pichilemu, VI Región del Libertador Bernardo O'Higgins." en donde se concluye que la zona de borde costero es la que presenta un mayor nivel de coexistencia de amenazas por el nivel de coincidencia de morfología baja y sedimentos no consolidados susceptibles de ser afectados en la eventualidad de un tsunami o sismo (García, 2007). Así mismo, en la planicie de terraza media se presenta un menor nivel de amenazas al estar alejadas de la influencia de un tsunami y presentar mejores condiciones de suelo (García, 2007). Otro punto a mencionar es que respecto a la vulnerabilidad la zona céntrica presenta una mayor vulnerabilidad ya que hay mayor cantidad de construcciones de adobe (sismo sensibles) junto con la mayor instalación de infraestructuras críticas y mayor densidad de población (García, 2007).

Javiera Paz Lorca Carrizo en el 2013 realizó su memoria denominada "Riesgos y desarrollo en la zona costera de la comuna de Pichilemu, VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins" en la cual, si bien no identifica amenazas climáticas, sí analiza zonas de amenazas de origen natural evaluando la vulnerabilidad de la población que accede a proyectos inmobiliarios de inversión en desarrollo y su percepción del riesgo, junto con un respectivo análisis de gestión del riesgo, en donde menciona que:

"Existen instrumentos normativos que no se conectan de forma óptima con la gestión de riesgos y generan impactos indeseados en el territorio, como nuevos escenarios de riesgo para la población flotante y turistas, y que son abalados por las instituciones encargadas de aplicar instrumentos relacionados con la planificación territorial" (Lorca, 2013, p.123).

Ibarra (2013) menciona que en Pichilemu:

Entre el litoral de Punta de Lobos y Cáhuil existe una condición de coalescencia de amenazas por inundación producto de tsunamis, marejadas y anegamientos, además de zonas con erosión de suelos; mientras que entre el pueblo de Cáhuil y el sector de las salinas de La Villa existe una condición de proximidad y superposición de amenazas derivadas de la inundación por tsunami y desborde fluvial, además de la presencia de fenómenos de licuefacción de suelos, y en algunos sectores remociones en masa tipo desprendimientos y deslizamientos, siendo la terraza estuarial la unidad geomorfológica más inestable, debido a la susceptibilidad de presentar al menos tres de estas amenazas (p.138).

Concluye además que :

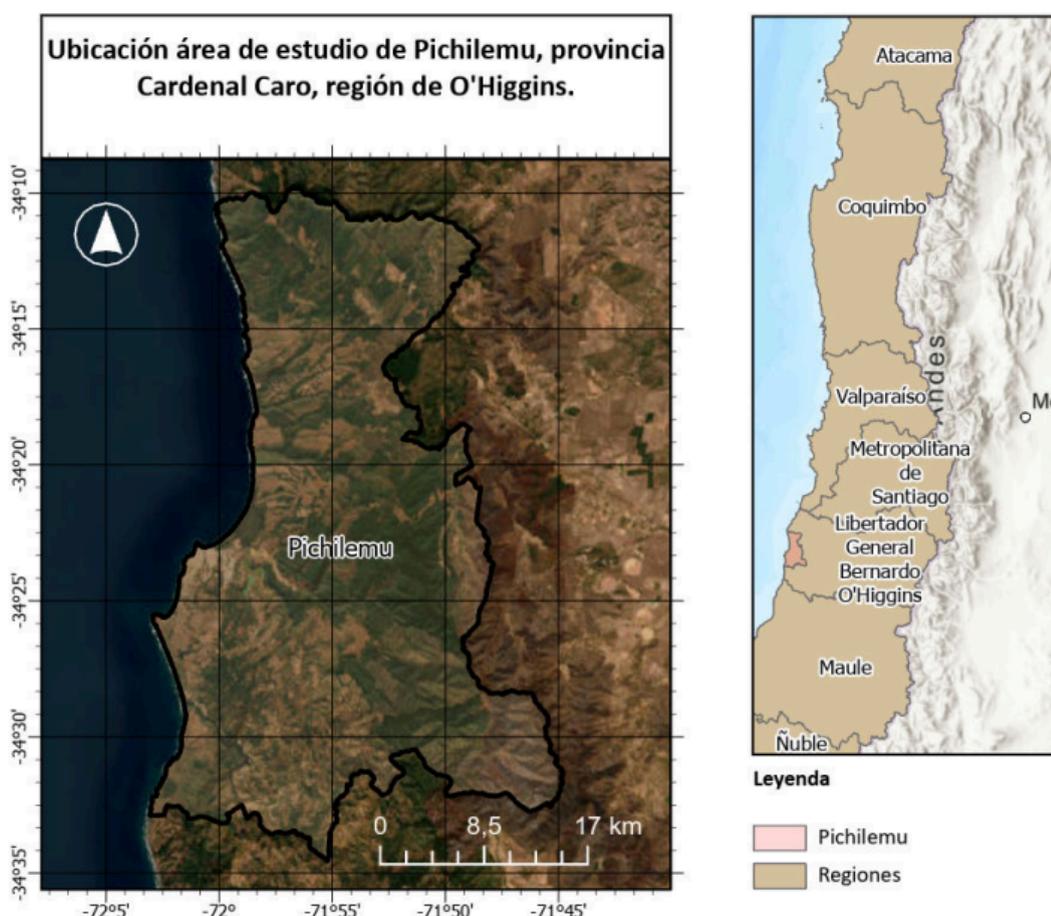
A mediano plazo puede existir un aumento de la condición de riesgo debido a la mayor exposición que ha generado la proyección del área urbana sobre unidades dunares altamente susceptibles a presentar amenazas de inundación por tsunami, fenómenos de licuefacción de suelos, además de la invasión de arenas, si los procesos eólicos son favorables a generar esta última condición; lo cual indica de manera indirecta una presión sobre el territorio y por ende en sus recursos naturales, siendo necesaria una visión de desarrollo que integre adecuadamente la dimensión ambiental y la construcción social de territorios más seguros (Ibarra, 2013, p.139).

Área de estudio y antecedentes generales

- a) Ubicación geográfica: El área de estudio se define de la siguiente manera según la Municipalidad de Pichilemu (2021, p. 15):

Pichilemu se encuentra ubicado entre los paralelos $34^{\circ} 20'$ y $34^{\circ} 30'$ de latitud sur aproximadamente, en la zona central de Chile y se encuentra a unos 210 kilómetros al suroeste de Santiago. Limita al norte con la comuna de Litueche, al este con la comuna de Marchihue, al sur con Pumanque y Paredones, y al oeste con el océano Pacífico.

Figura 1. Ubicación área de estudio, comuna de Pichilemu, provincia Cardenal Caro, región de O'Higgins

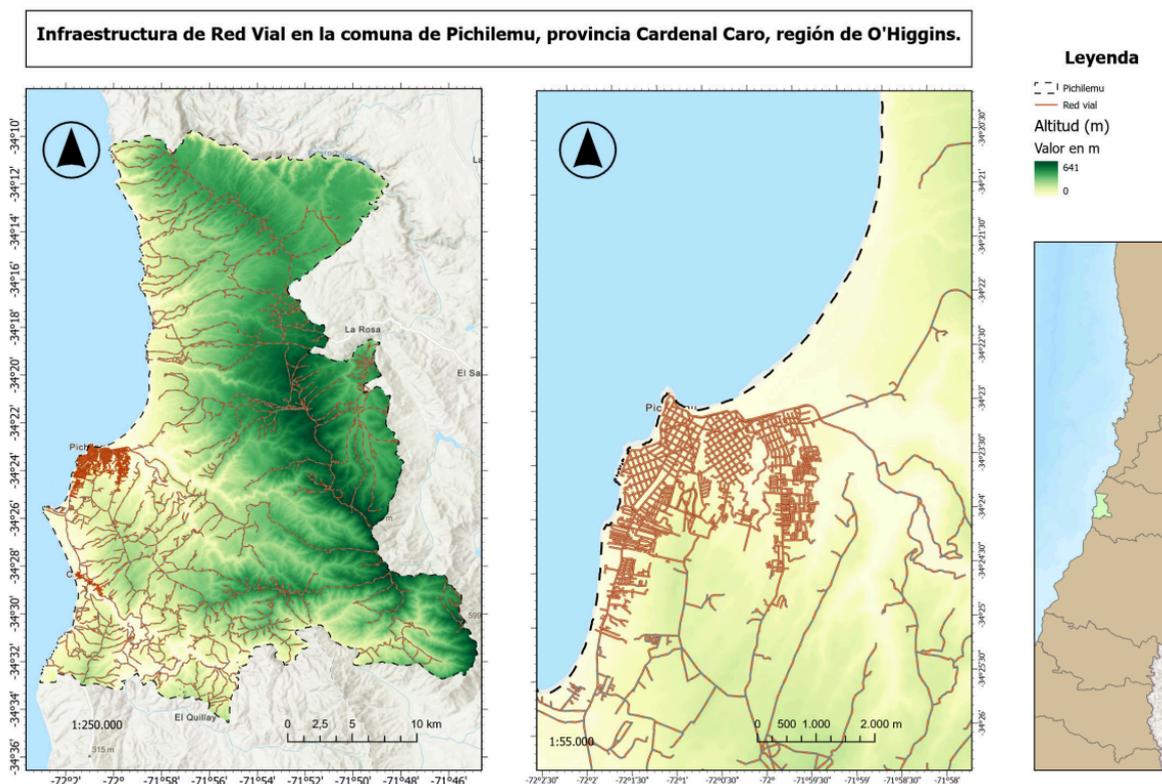


Fuente: Elaboración propia mediante datos del IDE, División Político-Administrativa, 2023.

La Ilustre Municipalidad de Pichilemu (2021, p.16) menciona respecto a sus centros poblados:

Desde el punto de vista demográfico censal, la comuna de Pichilemu se divide en seis distritos censales; el distrito censal Pichilemu, que es el único con características urbanas, el más poblado y donde se emplaza la ciudad homónima, y cinco distritos con características exclusivamente rurales, como son los distritos de San Antonio de Petrel, Cardonal, El Maqui, El Guindo y Rodeillo.

Figura 2. Infraestructura de red vial en Pichilemu



Fuente: Elaboración propia en base a DEM ALOS PALSAR y “Red Vial Nacional”, 2023.

Brun et al. (2017, p.50) define vías principales como:

Av. Cáhuil, I-520, y Av. Comercio, I-500; ambas responden al sistema de centros poblados, de manera que el territorio concentre la red vial en las zonas centrales de la comuna (donde se emplazan las áreas pobladas), determinando una zona norte donde la conectividad es muy escasa y una zona centro sur en donde la red vial se presenta con mayor intensidad.

Además, Brun et al. (2017, p.50) describe que:

La Ruta 90 es la única vía de comunicación de entrada y salida que la comuna posee con el resto del territorio provincial. Esta Ruta culmina en Pichilemu, en donde nacen las dos vías principales antes mencionadas y se extienden en dirección norte-sur, conectando los territorios poblados entre Pichilemu y el límite comunal.

Respecto a la tipología de viviendas Brun et al. (2018, p.48) define:

El área urbana de Pichilemu no se encuentra completamente densificada, existiendo áreas periurbanas correspondientes al 64,5% del suelo urbano. El uso intensivo de éste se concentra en la ciudad de Pichilemu, 23% del suelo urbano, Playa Hermosa, 6% del suelo urbano -ambos núcleos ya conurbados- y pequeños polos de crecimiento como Punta de Lobos y Catrianca que, en suma, representan el 3,4% del suelo urbano. Luego, se encuentra Nueva Esperanza y Cáhuil, límite sur del área urbana, que concentra el 2,7% del suelo urbano.

Aunque la comuna siempre se ha caracterizado por ser el balneario de la región, desde 1981 la industria del surf comenzó a ser una de las principales atracciones y que ha generado mayores cambios en el sector turístico. Desde 1970 comienzan a llegar los primeros viajeros que introdujeron el deporte en esta zona, especialmente en el sector de Punta de Lobos por la característica de sus olas (Ilustre Municipalidad de Pichilemu, 2021).

Con el tiempo la comuna se empezó a popularizar y trajo población migrante de otras partes del mundo, como Norteamérica y Europa (10,7% y 17,9% de los migrantes totales respectivamente según datos del INE, 2017) para poder realizar deportes acuáticos. Desde el 2011 Pichilemu es reconocida por la comunidad surfista como la “capital del Surf” y forma parte de los circuitos mundiales en torno a este deporte (Loayza, 2022).

Además, respecto a las tendencias de urbanización la Ilustre Municipalidad de Pichilemu (2021, p.154) señala que:

Esta urbanización de la última década ha implicado un alza especulativa del precio del suelo. Entre 2016 y 2017, el precio del m² en Pichilemu en el sector costa, se incrementó en un 44%, pasando de 31,02 UF/m², a 44,79 UF/m². El alza del valor del suelo también estimula la subdivisión predial, aspecto que, sí es legal, no es negativo en sí mismo, pero que debe estar acorde al tipo de desarrollo comunal que se desea impulsar y a las regulaciones y orientaciones de los instrumentos de planificación del territorio.

La oferta inmobiliaria en el sector es amplia y se ha ido extendiendo hacia el sur a medida que se van ocupando los sectores que están más cerca de las playas, por esto, hay nuevos sectores con una predominancia rural que es objetivo de quienes buscan adquirir terrenos en la zona (Loayza, 2022). Con el teletrabajo y telestudio a disposición, muchas de las segundas viviendas han sido ocupadas por períodos prolongados durante el año, lo que ha abierto la puerta a la posibilidad de un asentamiento permanente de nuevos habitantes en el territorio (Orellana, 2021 en Loayza, 2022).

Loayza (2022, p.42) distingue dentro de los últimos 10 años 2 periodos importantes de urbanización:

Desde el 2011 al 2019, se caracteriza por un constante desarrollo de urbanización que está cerca de Punta de Lobos, desde aquí, el eje que une el centro con este sector se ha ido desarrollando rápidamente, extendiéndose así a un modelo lineal. Se tiende a construir hospedaje y hoteles, dejando otros sectores como Punta de Lobos Alto para la residencia y segundas viviendas.

Respecto al segundo Loayza (2022, p.42) afirma:

El segundo periodo es mucho más corto en comparación y surge a partir de la crisis sanitaria del coronavirus en el 2020. Se construyen viviendas en El Pangal, Punta de Lobos Alto y Cáhuil. Pero fue repentino y acelerado, lo que ha transformado en poco tiempo el suelo rural a urbano, debido a la proporción de los lotes. Quizás, la transformación más importante de la zona en términos numéricos y con relación al tiempo es el caso de El Pangal, en donde la presencia humana y la construcción en las parcelas ha tenido una ocupación de 134 hectáreas.

Respecto a su demografía, la población en la comuna de Pichilemu alcanza a las 16,394 personas, las que representan el 1,79% de la población de la Región de O'Higgins y el 35,74% de la población de la Provincia de Cardenal Caro, de la cual es parte (INE, 2017 en Municipalidad de Pichilemu, 2021, p.28).

Respecto a su economía, la comuna se destaca principalmente por su papel turístico a nivel intercomunal. Atrae principalmente a residentes de la región y, durante los meses de verano, su impacto se extiende más allá de la influencia regional gracias a su ubicación altamente accesible con respecto a destacados centros generadores de demanda turística (Ilustre Municipalidad de Pichilemu, 2021).

Según la Municipalidad de Pichilemu (2021, p.16), sus principales sectores económicos lo constituyen el silvoagropecuario, el turismo estival y la pesca artesanal, y se distinguen de la siguiente manera:

- Turismo: asociado a su destino como balneario regional e influido por la práctica de los deportes náuticos, en especial el surf, sobre todo en Punta de Lobos, logrando posicionarse nacional e internacionalmente como uno de los lugares más importantes para la práctica del deporte, siendo conocido como la capital nacional del Surf.
- Actividad silvícola: Importante presencia en la comuna, con una gran cobertura espacial, sin embargo, en términos de desarrollo y empleabilidad, su efecto ha sido menor, debido a la escasa mano de obra que este tipo de actividades demandan.
- Actividad pesquera: Posee características netamente artesanales, y está orientada solo a satisfacer las demandas de la población local y en menor medida a Rancagua y a los mercados de localidades cercanas.

Respecto a su geografía, Brun et al. (2017, p. 27) define geográficamente a la comuna de la siguiente manera:

Pichilemu participa de dos formas principales: Las planicies marinas y/o fluvio-marinas en la Costa y la Cordillera de la Costa hacia el interior. Las unidades geomorfológicas existentes en la comuna son las siguientes: Planicies Litorales, Terrazas Marinas, Vegas Litorales, Terrazas Fluviales y Cordillera de la Costa. De norte a sur, las ensenadas que configuran el borde costero son Pichilemu y la caleta Los Piures. En ambas ensenadas las playas arenosas están limitadas por terrazas marinas muy cercanas a la línea de costa. Las playas son: San Antonio o Terrazas, Hermosa, Caletilla, Infiernillo y Punta de Lobos. Al sur de Pichilemu las terrazas marinas son interrumpidas por acantilados vivos y estabilizados, que se presentan con escarpes de fuerte pendiente, creados por la acción del mar sobre rocas metamórficas. Entre Pichilemu y Cahuil se presentan variadas vegas litorales. Son depresiones aledañas a la línea de costa y drenadas por ríos o esteros. Destacan, Laguna Bajel, Los Piures, Lobos y del Perro. En las riberas del Estero Nilahue y Laguna Cahuil existen terrazas formadas por sedimentación fluvial y aluvial.

La Ilustre Municipalidad de Pichilemu (2021, p. 19) también describe geológicamente a la comuna de la siguiente manera:

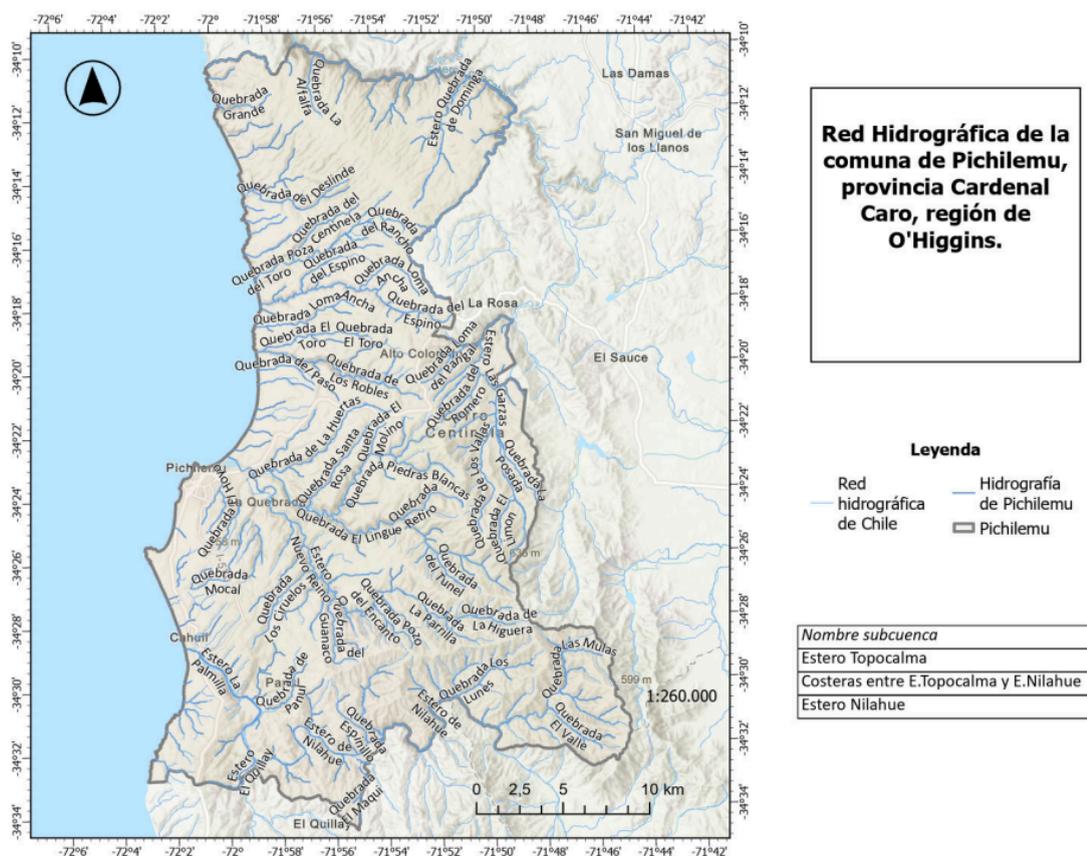
Conformado por dos grandes unidades, una que corresponde al batolito andino costero y otra conformada por terrazas marinas que pertenecen a la Formación Navidad y que limita con la zona costera. El batolito costero está conformado por un basamento de rocas metamórficas e intrusivas del paleozoico (300 a 600 millones de años). Estas rocas intrusivas graníticas, se presentan intemperizadas a materiales arenosos de tipo maicillo; en tanto, las rocas metamórficas, de mayor distribución en el área, se presentan más intensamente descompuestas y con cubiertas arcillosas. Ambos tipos de rocas presentan una reducida permeabilidad, lo que asociado a las fuertes pendientes, las precipitaciones y la falta de vegetación, contribuyen a la generación de procesos erosivos de gravedad y de carácter casi irreversible o reversible a muy largo plazo. Las características propias de estas formas dan base a un sistema de conformación tipo pradera que sirve de sustento para actividades pecuarias.

Conjuntamente a estas rocas fundamentales, y limitando con ellas se encuentran sedimentos marinos y continentales no consolidados más recientes de fines del terciario y cuaternario, los que corresponden se componen principalmente de areniscas amarillas y rocas calcáreas (Ilustre Municipalidad de Pichilemu, 2021, p.19).

Respecto a su hidrografía, los recursos hídricos de la comuna están asociados al sistema de cuencas costeras, a causa de la posición geográfica de Pichilemu. Estas cuencas son pequeñas y cerradas, situadas dentro de la cordillera de la Costa, y se caracterizan por tener regímenes principalmente pluviales, lo cual es una característica distintiva de la zona de seco (Ilustre Municipalidad de Pichilemu, 2021).

Uno de los principales cursos de agua en la comuna es el Estero San Antonio de Petrel, que cruza la parte norte de la localidad de Pichilemu. Antes de llegar al océano, fluye hacia la Laguna Petrel, creando una barrera que impide su flujo directo al mar. Otra corriente importante es el Estero Nilahue, que desemboca en la Laguna Cáhuil, y antes de llegar al mar forma una barrera de arena. A pesar de tener un caudal limitado, este estero da forma a extensas llanuras aluviales hacia el este, fomentando el desarrollo de terrenos salinos (Ilustre Municipalidad de Pichilemu, 2021).

Figura 3. Hidrografía de Pichilemu



Fuente: Elaboración propia en base a datos proporcionados por DGA, 2023.

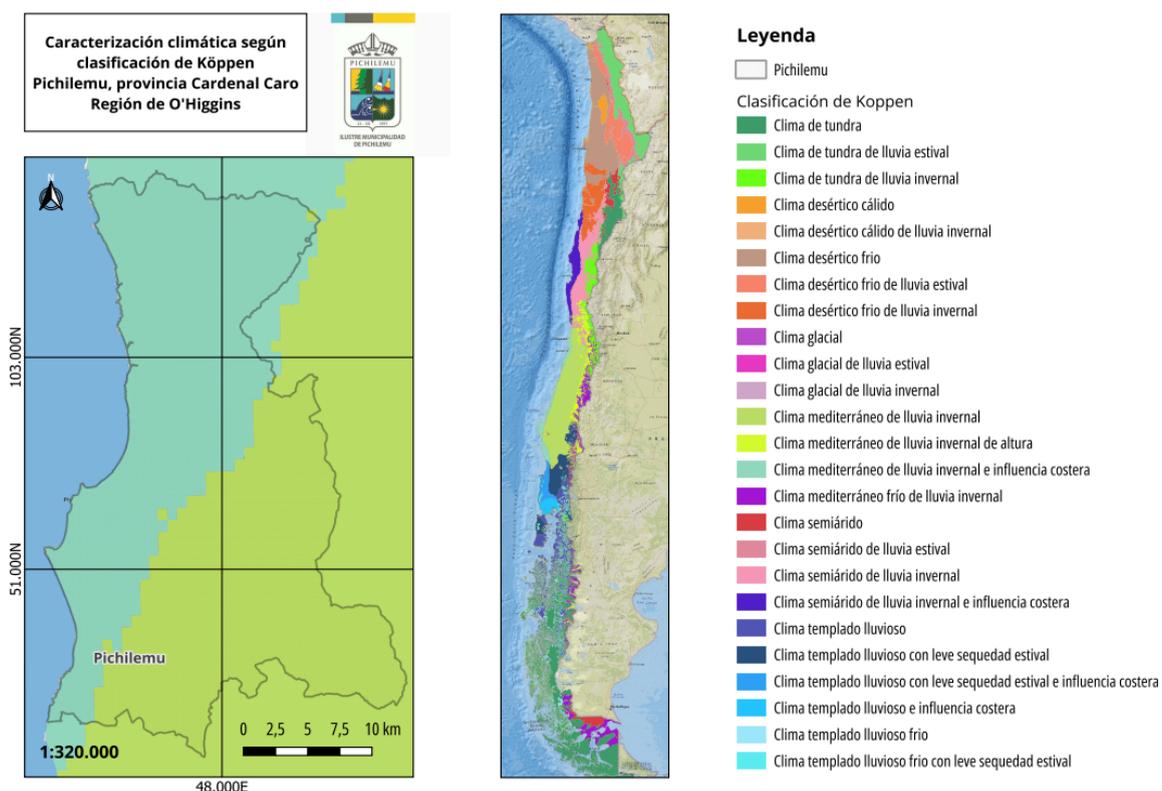
Es posible observar una gran cantidad de quebradas en la comuna, provenientes desde el este de las subcuencas del Estero Topocalma, Costeras entre Estero Topocalma y Estero Nilahue, y Estero Nilahue como tal. La hidrografía de Pichilemu está influenciada por su ubicación costera y su proximidad al océano Pacífico, la presencia del océano puede influir en el clima local y proporcionar oportunidades recreativas y económicas relacionadas con actividades costeras.

Por último, cabe mencionar que, respecto al clima, el relieve de la cordillera de la Costa ejerce una influencia notable en la distribución de las precipitaciones, aunque es menos prominente en la comuna de Pichilemu. Estas tienden a ser más significativas en la porción suroeste del territorio comunal, donde las alturas de la cordillera costera son más bajas. En esta área, la influencia marina se manifiesta con mayor intensidad debido a la menor elevación del relieve, contribuyendo así a un mayor registro de precipitaciones

Aunque no es de tanta altitud ni predomina su topografía en la comuna de Pichilemu, el relieve de la Cordillera de la Costa influye de todas formas sobre las precipitaciones en la comuna, hay una tendencia significativa en la porción suroeste del territorio comunal en donde la altitud de la cordillera costera es más baja, así mismo, la influencia marina se presenta con mayor intensidad al tener menos elevación el relieve (Ilustre Municipalidad de Pichilemu, 2021).

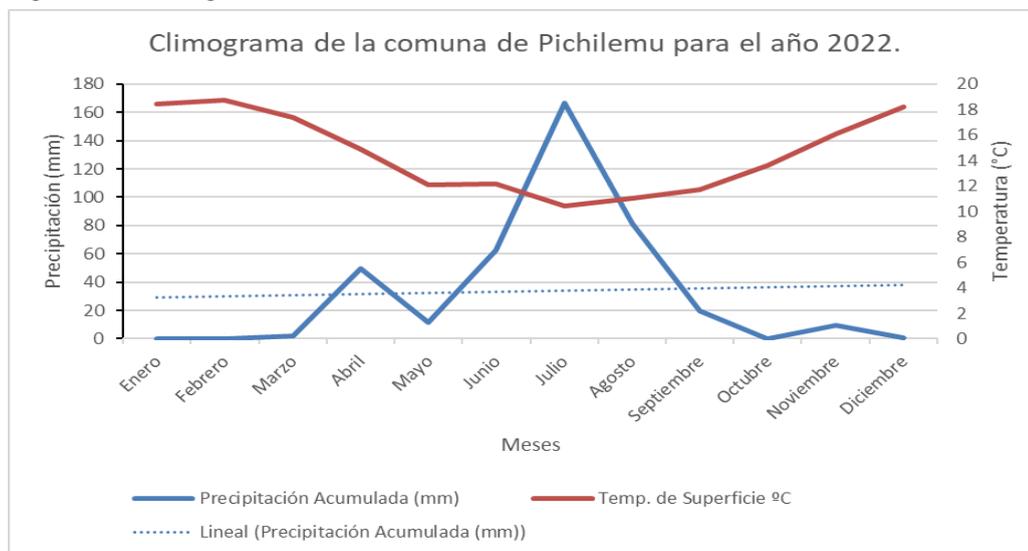
Se presenta un clima templado cálido con una estación seca prolongada que abarca de siete a ocho meses, acompañado de una marcada nubosidad en las llanuras costeras y en la vertiente occidental de la Cordillera de la Costa. Este patrón climático es influenciado por la proximidad al mar, lo que mitiga las temperaturas y genera una considerable humedad, resultando en numerosos días nublados a lo largo del año (Ilustre Municipalidad de Pichilemu, 2021).

Figura 4. Caracterización climática según clasificación de Köppen



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura 5. Climograma de Pichilemu año 2022

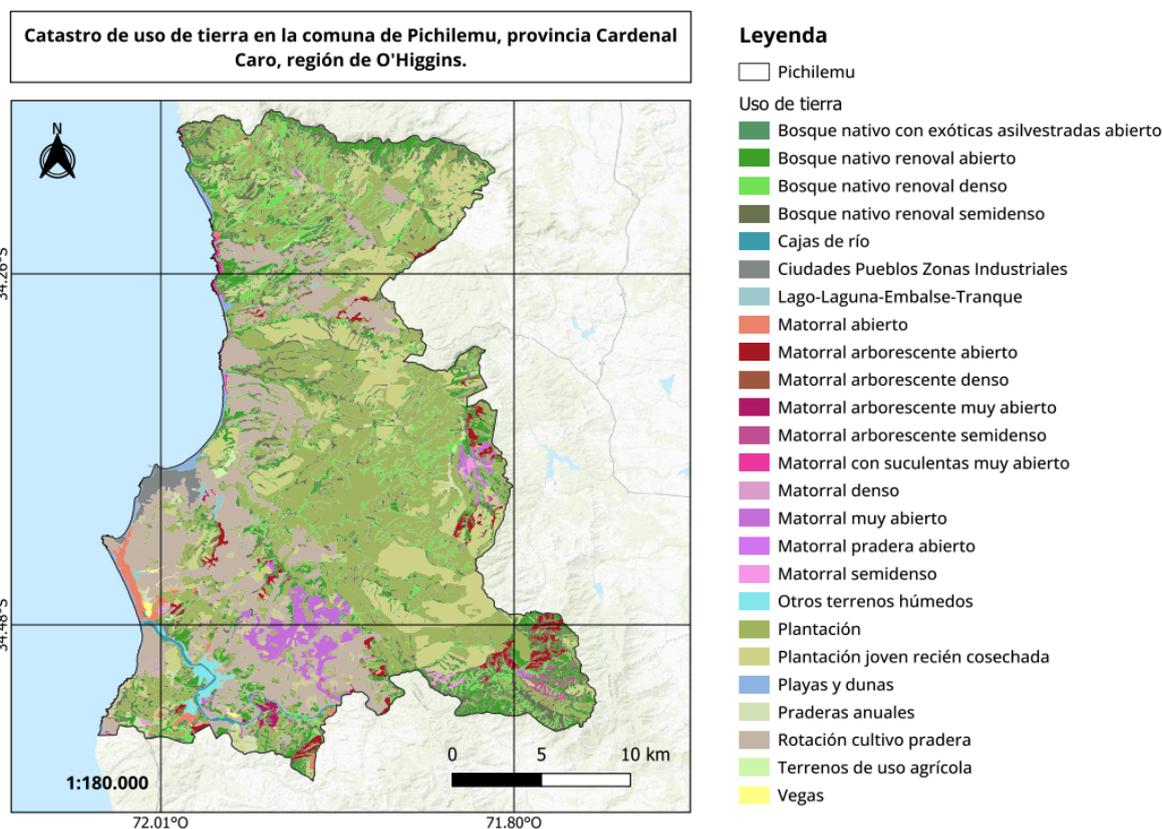


Fuente: Elaboración propia, 2023.

A través de este climograma se observa que la mayor cantidad de precipitaciones en la comuna de Pichilemu ocurre en julio, mientras que hay un descenso de éstas en diciembre, enero y febrero.

Para finalizar la caracterización y antecedentes generales se realizó una cartografía de catastro de uso de tierra.

Figura 6. Catastro de uso de tierra en Pichilemu



Fuente: Elaboración propia en base a datos CONAF (2013), 2023.

En la comuna de Pichilemu hay una predominancia del sector de plantaciones forestales, abarcando un 55% según la plataforma de ArClim (2023) con un total de 39.508 hectáreas para el 2023, mientras que los bosques nativos solo cubren un 3% lo que equivale a 1.913 hectáreas, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1. Cobertura de bosques nativos y plantaciones forestales en la comuna de Pichilemu

Bosques nativos	Plantaciones Forestales
1.913 hectáreas	39.508 hectáreas
3%	55%

Fuente: Elaboración propia mediante datos obtenidos de la plataforma ArClim, 2023.

Objetivos

Objetivo general: Evaluar las amenazas climáticas y la exposición en la comuna de Pichilemu, región de O'Higgins.

Objetivos específicos

1. Elaborar un perfil de amenazas climáticas de la comuna de Pichilemu.
2. Identificar factores de sensibilidad, impactos y exposición frente al cambio climático en la comuna de Pichilemu.
3. Determinar la vulnerabilidad de las viviendas y población en manzanas urbanas y la exposición de la población de las entidades rurales de Pichilemu ante la amenaza de inundación.

CAPÍTULO 2: MARCO METODOLÓGICO

Para toda la metodología se abordó cada objetivo con distintas técnicas de producción, tales como uso de software en Arcgis Pro y QGIS para crear cartografías. Además, se recopiló información y se realizó una revisión bibliográfica, así como un respectivo análisis y procesamiento de datos en Excel en base a la información otorgada por plataformas institucionales, destacando ArClim, INIA, entre otros visores web.

Objetivo 1: Perfil de amenazas climáticas:

Se realizó un perfil preliminar respecto a los principales eventos climáticos extremos y cambios graduales del clima que afectan al territorio comunal y los impactos que generan sobre la población, sus medios de vida, actividades productivas y comerciales, la infraestructura comunal, los servicios básicos, entre otros aspectos.

- a) Amenazas climáticas: Se comenzó con un mapa conceptual que identificó las principales amenazas en la comuna de Pichilemu, dentro de éstas, las amenazas climáticas destacaron en este proyecto, lo cual permitió crear diversas cartografías que representaban tales amenazas, como incendios forestales, de sequía, de olas de calor, de inundaciones, y erosión costera.
- b) Incendios forestales: Para la cartografía de incendios forestales (figura 8) se realizó una cartografía en base a datos de "Incendios forestales" del IDE para los años 2016, 2017, 2018, 2019 y se exportaron datos GEOJSON desde el visor web "Incendios en Plantaciones Forestales" desde ArClim (2023), y en base a los "Mapas de amenaza por incendio forestal" del Instituto para la Resiliencia ante Desastres (Itrend) para los años 2018-2019, se cruzaron los datos. Posteriormente se cruzó el "Catastro de Uso de Suelo y Vegetación" de la CONAF (2013) para ver el uso de suelo.

Se realizó una cartografía en base al índice "dNBR" comparando los años 2019, 2020, 2021 y 2023. El índice Normalizado de Área Quemada (NBR) es un índice diseñado para resaltar áreas quemadas en grandes zonas de incendio. La fórmula es similar a NDVI, excepto que combina el uso de longitudes de onda de infrarrojo cercano (NIR) e infrarrojo de onda corta (SWIR) (Office for Outer Space Affairs, s.f). (ver anexo 3 para metodología práctica)

- c) Inundaciones: Para la cartografía de inundaciones, se realizó en base al índice “TWI” (Índice Topográfico de Humedad) (ver anexo 4 para metodología práctica) a distintas escalas.

El índice de humedad topográfica (TWI) es un atributo del terreno que estima en dónde se acumulará agua en un área con que tiene diferencias de elevación. En función de la pendiente y del área contribuyente aguas arriba (Odonohue, 2023) (ver anexo para metodología práctica)

- d) Sequía: La cartografía de sequía se realizó en base a datos GEOJSON descargados a través de la plataforma ArClim desde el “Explorador de Amenazas Climáticas”: “Frecuencia de sequía” a nivel comunal, y posteriormente se categorizó en QGIS.
- e) Olas de calor: Se realizó una cartografía en base a datos GEOJSON descargados a través de la plataforma ArClim desde el “Explorador de Amenazas Climáticas”: “Días consecutivos Olas de calor >25°C” a nivel comunal, se carga a QGIS y posteriormente se categorizó en QGIS.

Se obtuvo gráfico de plataforma ArClim desde el “Explorador de Amenazas Climáticas”: “Días consecutivos Olas de calor >25°C” a nivel comunal, cambio futuro y actualidad (año 2023).

- f) Erosión costera: Se realizó una cartografía de cambio en la línea de costa en base a DSAS para la playa central de Pichilemu. También para la playa Punta de Lobos.

Para las cartografías de erosión costera se decidió escoger el método LRR.

El LRR calcula la tasa de cambio de regresión lineal ajustando una línea de regresión de mínimos cuadrados a todos los puntos de la línea litoral para cada transecto. El ajuste de mínimos cuadrados minimiza la suma de los residuos al cuadrado, evitando la compensación de valores por defecto y por exceso. La tasa de regresión lineal es la pendiente de la línea. El método de regresión lineal permite utilizar todas las fotografías satelitales disponibles, se basa en un concepto estadístico convencional y es fácil de emplear (Dolan et al., 1991, en MMA, 2019) (ver anexo 5 para metodología práctica).

Objetivo 2: Identificar factores de sensibilidad, impactos y exposición frente al cambio climático en la comuna de Pichilemu:

Se evaluó de forma integrada los impactos, elementos y sistemas expuestos, así como factores de sensibilidad frente al cambio climático que afectan a la comuna.

Se requería obtener información relevante respecto a los atributos socioeconómicos, físicos y ambientales de los elementos y sistemas expuestos que determinan el grado en que pueden ser impactados, así como identificar los distintos grupos de población que podrían verse afectados por el cambio climático, así como aquellos factores o atributos diferenciados para cada grupo que contribuyen a una mayor sensibilidad ante los impactos analizados. Para esto, fue necesario crear una matriz de impactos y vulnerabilidad frente al cambio climático en base a bibliografía consultada:

En base a un determinado evento climático, que causa cierto impacto asociado, ante una exposición presente y una determinada sensibilidad, así como las consecuencias que se esperan de toda esta relación.

Para la figura 10, se realizó una cartografía en base al índice dNBR anteriormente creado y se cruza con datos geospaciales obtenidos desde el IDE como “Cuerpos de Bomberos”, “Establecimientos educacionales”, “Municipios”, “Educación parvularia”, “Establecimientos de Salud” y “Carabineros de Chile”. Cruzando así amenaza climática con infraestructura crítica.

Se realizó el mismo procedimiento de cruzar información de infraestructura crítica con amenaza climática, para la figura 21 y 22, se realizó una cartografía de inundación e infraestructura que se pueda ver amenazada, para esto, se extrae el polígono realizado anteriormente desde el índice TWI de “Áreas susceptibles a inundación” y se cruza con datos de infraestructura crítica proporcionados por el IDE.

Además, se realizó una cartografía de dependencia demográfica e infraestructura, tras realizar el índice de dependencia demográfica anteriormente se cruza con datos de infraestructura crítica proporcionados por el IDE, tales como “Cuerpo de Bomberos”, “Establecimientos educacionales”, “Carabineros de Chile”, “Establecimientos de salud”, “Educación parvularia”, etc.

Objetivo 3: Determinar la vulnerabilidad de las viviendas y población en manzanas urbanas y la exposición de la población de las entidades rurales de Pichilemu ante la amenaza de inundación:

Se realizó un índice de vulnerabilidad materialidad de la vivienda y exposición por rango etario cuya información se cruza con la amenaza de inundación. Una vez determinada la amenaza climática de inundación y creada la respectiva cartografía de un escenario simulado de inundaciones en base a la topografía, se utilizó un enfoque de vulnerabilidad basado en qué áreas urbanas y quiénes pertenecientes a éstas son vulnerables a inundaciones, por lo que la exposición de la población será un factor a considerar.

Se abarca netamente la vulnerabilidad de la materialidad de la vivienda en las manzanas urbanas debido a falta de información que proporciona el Censo 2017, ya que en el archivo de entidad rural para Pichilemu que otorga el INE no se alcanza una totalidad de datos para examinar la vulnerabilidad, lo que sólo permite evaluar la exposición por rango etario para las entidades rurales.

Para la cartografía 27 se utilizaron datos del Censo 2017 cruzados con el polígono de áreas susceptibles a inundaciones (ver metodología práctica en anexos). En el cálculo del índice para el análisis de vulnerabilidad, se determina la cantidad de viviendas con materialidad irrecuperable comprendida en el área de influencia y con un rango de valores cualitativos determinados.

Para entender el concepto de vulnerabilidad es fundamental asociarlo como algo multidimensional causado por varios factores (multifactorial) cuya expresión se puede dar de distintas formas, en este caso, se pretende estudiar y argumentar un índice sociosanitario que se expresa de manera física y material; el índice de materialidad irrecuperable.

Una vivienda puede estar compuesta de distintos materiales, los cuales se clasifican desde “aceptable, recuperable e irrecuperable”. El Censo (Instituto Nacional de Estadísticas, 2017) define que la materialidad es irrecuperable si las paredes exteriores, la cubierta del techo o el piso de la vivienda fueron clasificados como irrecuperables, de tal forma que:

- Las paredes exteriores se consideran irrecuperables si se declaran materiales precarios (lata, cartón, plástico, etc.).
- La cubierta del techo se considera irrecuperable si se declaran materiales precarios (lata, cartón, plástico, etc.), o sin cubierta sólida en el techo.
- El piso se considera irrecuperable si se declara tierra.

Estas clasificaciones de los materiales son un claro ejemplo de un déficit habitacional con expresiones físicas en la realidad, pues, si bien las personas viven bajo techo, ¿este les asegura su comodidad?, ¿las paredes, el piso, son suficientes? Bajo esta duda es que se cuestionan las necesidades habitacionales, y se pueden ver asociadas también a la falta o ineficiencia de servicios como el agua que es muy fundamental para la higiene personal y, por ende, para la salud. En efecto, la OMS indica que una vivienda en mala condición de habitabilidad puede exponer a las personas a una serie de riesgos para la salud (Organización Mundial de la Salud, 2018).

Todo esto condiciona una situación de vulnerabilidad que se puede expresar en la materialidad, por ejemplo, tener una pared de cartón, lata o superficie “no aceptable” condiciona la aparición de hongos y humedad, cuya prolongada presencia propicia enfermedades respiratorias. Esta puede ser la posible relación entre salud y materialidad irrecuperable, en donde también el Ministerio de Desarrollo Social (2016) incluye a viviendas dispersas como a viviendas emplazadas en campamentos, en sí, viviendas irrecuperables cuya situación no se puede mejorar. Por lo que no son solo superficies “establecidas” sino también asentamientos informales.

Para la figura 28 y 30 se utilizaron también los datos del Censo 2017 por rango etario en manzana urbana, mientras que para la 29 y 31 se utilizaron a nivel entidad rural (ver metodología práctica en anexos). Ruiz & Grimalt afirman lo siguiente respecto a el rango etario de adultos mayores:

Normalmente la población anciana presenta más problemas de movilidad reducida, así como importantes necesidades de asistencia social, por lo que es un grupo de elevada vulnerabilidad. (...) El aislamiento es el factor que crea mayor vulnerabilidad a los ancianos en situaciones de desastres, junto a problemas crónicos de salud (2012, p.4).

Mientras que respecto a población menor:

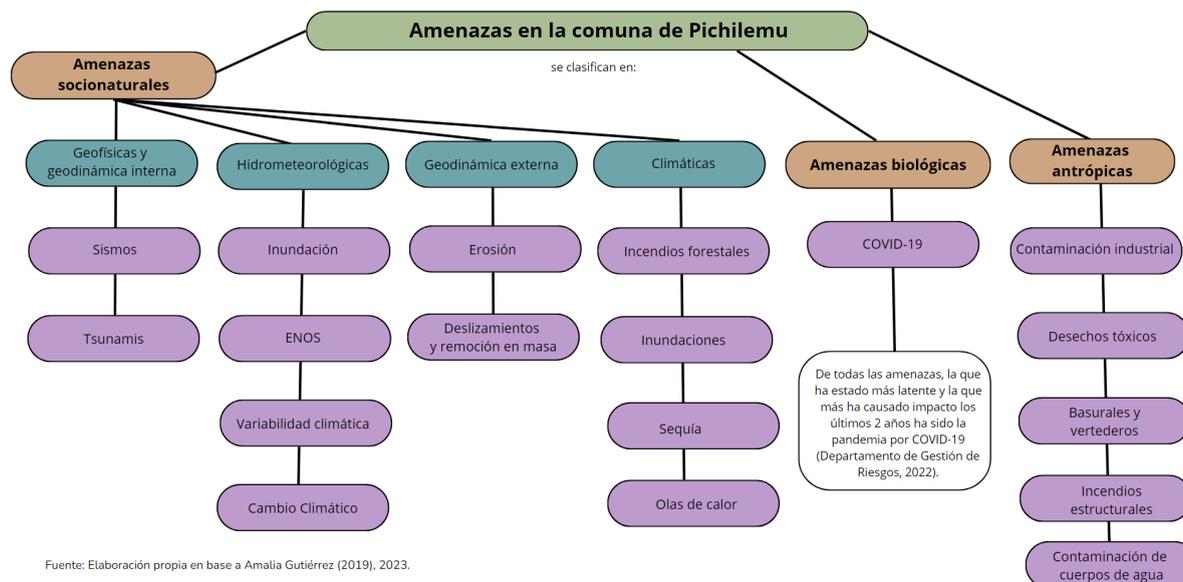
La vulnerabilidad de los niños y jóvenes es variable de unas comunidades a otras, pero normalmente suele constituir la sección más numerosa de las poblaciones afectadas por los desastres. Según la Convención de los Derechos del Niño se considera que un niño es una persona de menos de 18 años. A pesar de ello, según el contexto cultural y social, el umbral de infancia puede variar (2012, p.4).

CAPÍTULO 3: RESULTADOS

Resultados objetivo 1

Para crear el perfil de amenazas fue necesario comprender qué es una amenaza y cuáles son las que existen, por lo que en el marco conceptual se definieron conceptos con el objetivo de facilitar su respectiva comprensión. Dentro de este marco se destacaron las amenazas climáticas porque es lo más fundamental para este proyecto.

Figura 7. Amenazas en la comuna de Pichilemu



Fuente: Elaboración propia en base a Amalia Gutiérrez (2019), 2023.

Fuente: Elaboración propia, 2023.

“Un perfil de amenazas climáticas es un mapa comunal que contiene aquellos elementos relacionados con los eventos climáticos, sus impactos y las áreas y sistemas expuestos en el territorio” (PNUD, 2023, p.71). Para esto, el PNUD (2023, p.71) distingue dos elementos que se deben unir:

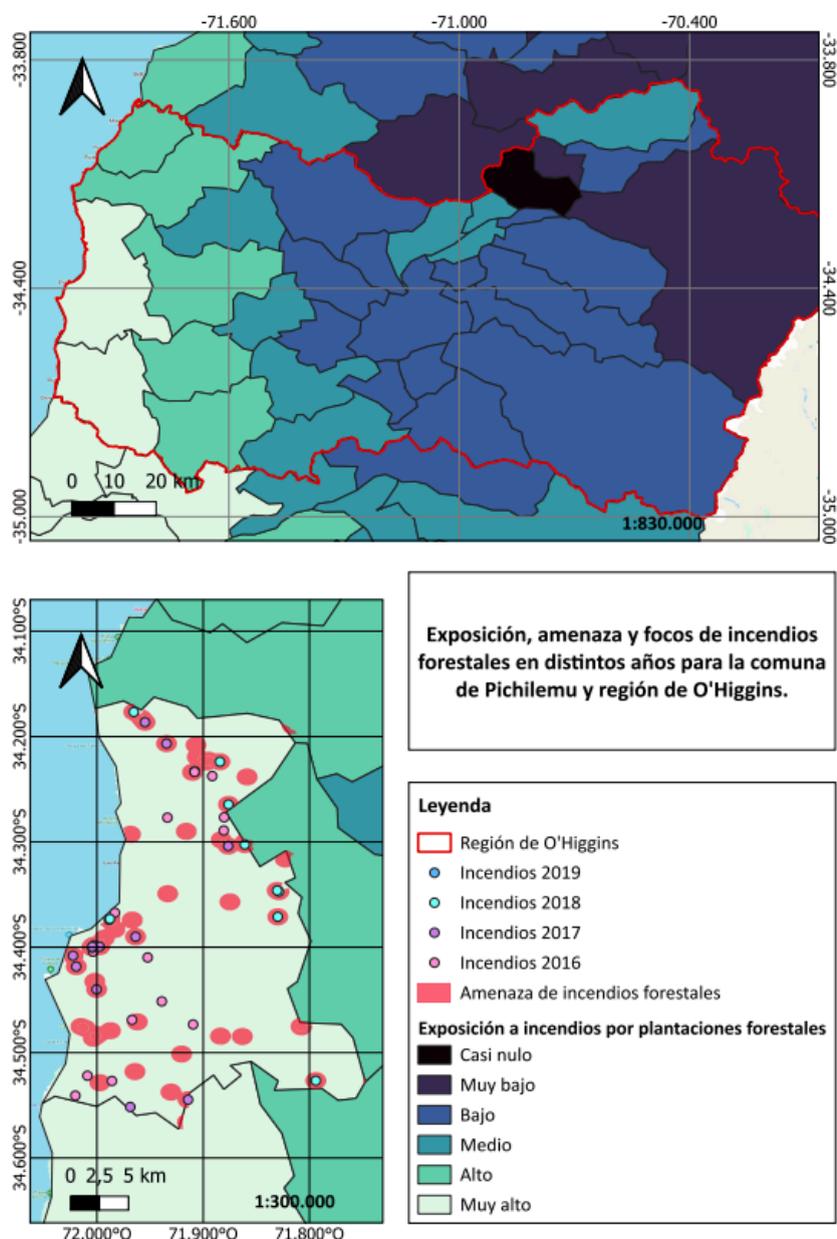
Eventos climáticos e impactos: Tales como áreas de inundación de eventos pasados, zonas de riesgo de inundación, variaciones en la línea de marea alta, zonas con riesgo de marejadas, entre otros. Y áreas y sistemas expuestos: Tales como principales localidades o núcleos de población en la comuna, asentamientos informales, redes viales principales, infraestructura crítica (servicios de electricidad, agua potable, alcantarillado, antenas de comunicaciones, entre otros), infraestructura pública relevante (escuelas, hospitales, edificios de servicios

públicos, edificios patrimoniales, entre otros), áreas protegidas o ecosistemas frágiles, áreas vinculadas a actividades económicas (predios de producción agrícola, actividad ganadera o forestal, áreas de explotación acuícola, áreas de manejo, entre otros), zonificaciones para el uso del suelo según el Plan Regulador Comunal.

En este caso, se escogieron las siguientes amenazas climáticas: Incendios forestales, inundaciones, sequía, olas de calor y erosión costera. Tales conceptos se explican en el marco conceptual.

a) Incendios forestales

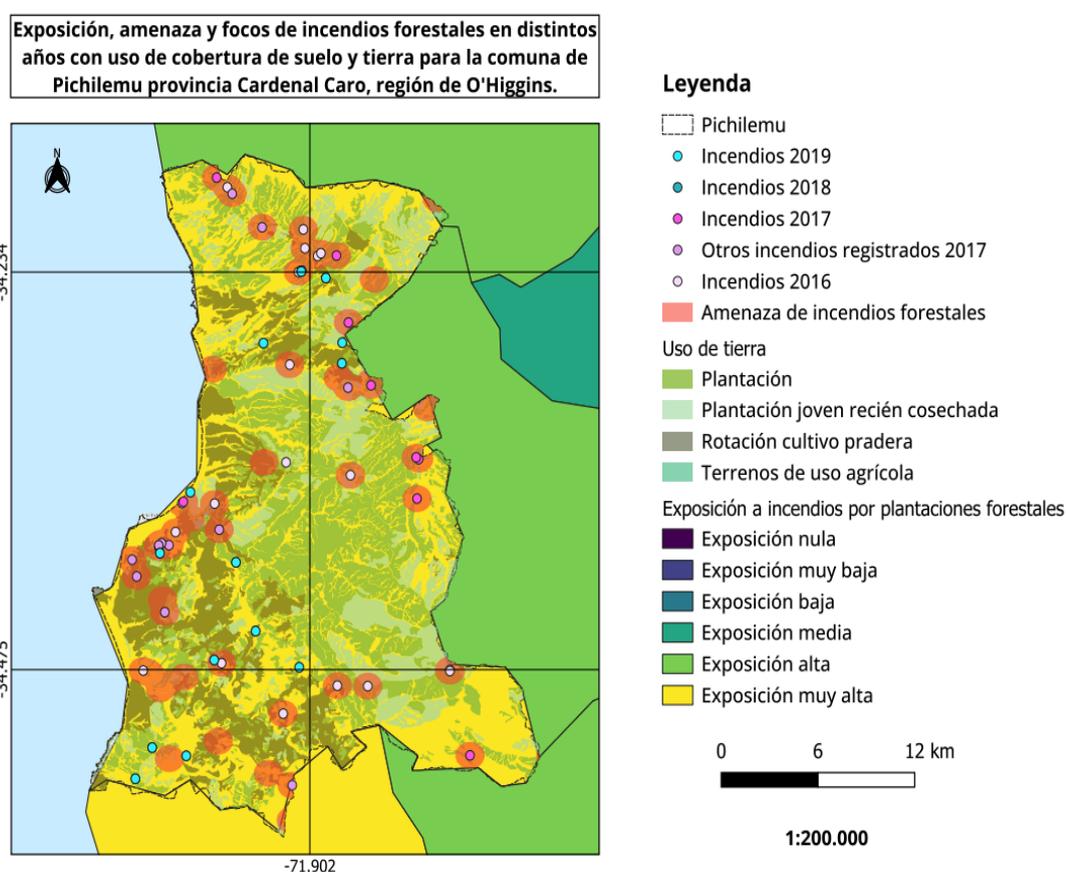
Figura 8. Exposición, amenaza y focos de incendios forestales para distintos años en Pichilemu



Fuente: Elaboración propia en base a datos IDE "Incendios forestales" (2016, 2017, 2018, 2019) y ArClim (2023), 2023.

En la cartografía se observan polígonos de amenaza de incendios forestales para los años 2018-2019, que a la vez coinciden con los puntos de incendios forestales para los otros años. La exposición se encuentra en valores cuantitativos altos, en el visor web de ArClim “Incendios en Plantaciones Forestales” definen a la exposición como un índice que representa la superficie comunal cubierta por plantaciones forestales, donde 0 representa ausencia de plantaciones forestales y 1 corresponde a la comuna con la mayor proporción de plantaciones forestales. La densidad se estima empleando información disponible de cobertura y tipo de vegetación del periodo 2010-2018 (ArClim, 2023). En este caso Pichilemu presenta una exposición “Alto” con un valor de 0,745. Y en la cartografía se especializa dicho valor en “Muy alto”

Figura 9. Exposición, amenaza y focos de incendios forestales para distintos años en Pichilemu junto con cobertura de uso de suelo



Fuente: Elaboración propia en base a datos CONAF (2013), IDE “Incendios forestales” (2016, 2017, 2018, 2019), ArClim (2023) y del Instituto Para la Resiliencia Ante Desastres (Itrend), 2023.

Se infiere que hay una tendencia de los puntos de incendios registrados para los años 2016, 2017, 2018 y 2019 en las áreas de susceptibilidad de incendios, en una comuna de “muy alta” exposición a incendios forestales. Los polígonos rojos son las áreas susceptibles a incendios mientras que cada punto marca distintos focos de incendios en cada año que se presenta, coinciden a la vez, en plantaciones, plantaciones jóvenes recién cosechadas y áreas de rotación de cultivo-pradera. Esto demuestra una mayor exposición a incendios en ciertas partes de la comuna junto con el valor determinado por ArClim de “0,745”.

Tabla 2. Matriz de riesgos de incendios forestales en Pichilemu

	Clima Actual	Clima Futuro
Amenaza	0,0023	0,0221
Exposición	0,745	
Sensibilidad	0,78	
Riesgo	0,0073	0,0703

Fuente: Elaboración propia en base a datos proporcionados por ArClim, 2023.

Tabla 3. Factores de sensibilidad de incendios forestales en Pichilemu

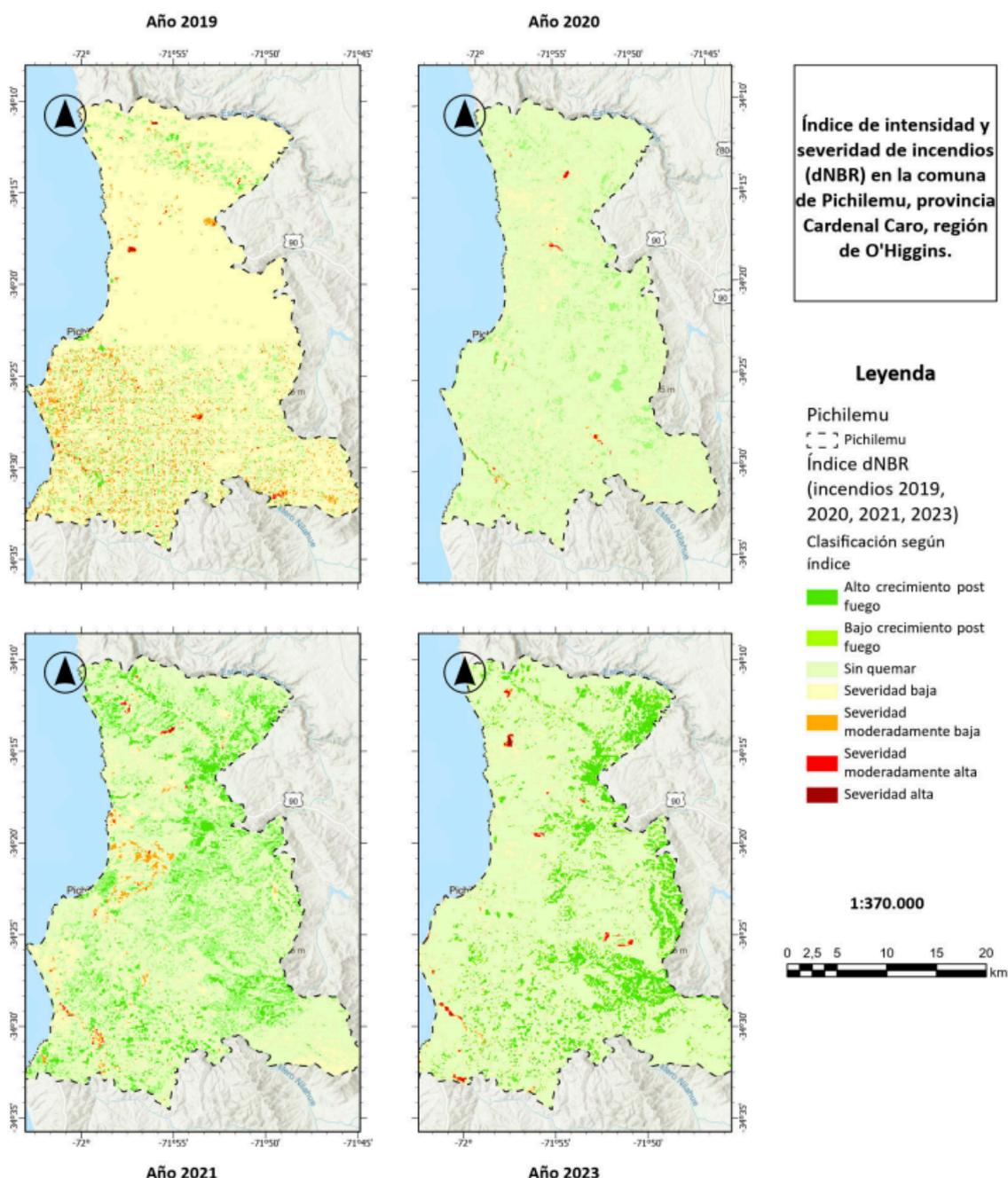
Bosques Nativos	3%
Plantaciones Forestales	55%
Cultivos	2%
Praderas	8%
Matorrales	28%
Cobertura Impermeable	0%
Suelo Desnudo	0%
Densidad de viviendas	18,532 viviendas/km ²
Distancia a ciudades	10134,4909 m
Distancia a caminos	2714,3031 m
Elevación promedio	249,534 m
Pendiente promedio	8,4346 °

Fuente: Elaboración propia en base a datos proporcionados por ArClim, 2023.

Estos elementos o condiciones hacen que una comunidad, región o sistema sea más propenso a sufrir los impactos negativos de un desastre. Estos factores pueden aumentar la vulnerabilidad de una población o área en particular a eventos naturales o provocados por el hombre. “La sensibilidad se define como uno de los componentes de la vulnerabilidad frente al cambio climático (propensión o predisposición a verse afectado negativamente por sus efectos” (PNUD, 2023, p.23).

Los factores de sensibilidad son importantes de identificar y abordar en la planificación de la gestión de riesgo de desastres para reducir la susceptibilidad de una comunidad a los peligros. Tales como la ubicación geográfica, de qué se compone por ejemplo de sus bosques nativos o de plantaciones forestales (que en este caso predominan), y una cantidad de habitantes expuesta a esta amenaza.

Figura 10. Índice de intensidad y severidad de incendios (dNBR) en Pichilemu

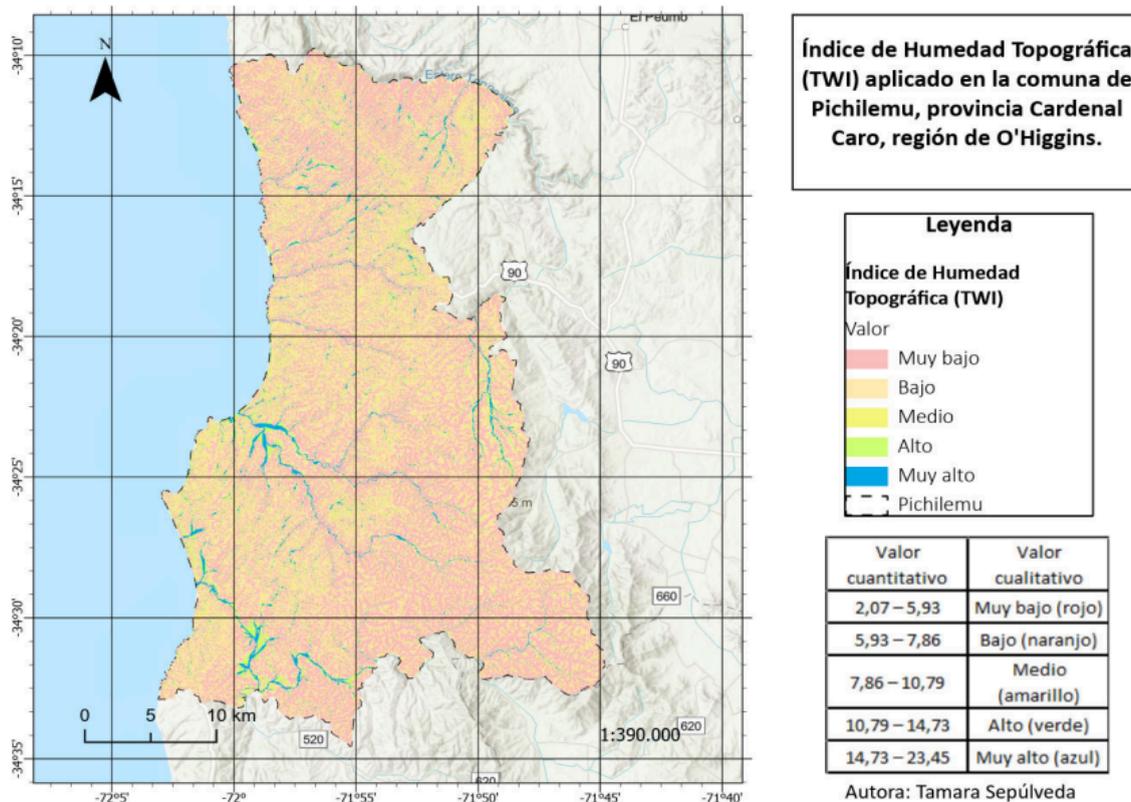


Fuente: Elaboración propia, 2023.

La intensidad del fuego indica la energía liberada durante la combustión de materia orgánica (Keeley, 2009). En cambio, la severidad del incendio describe cómo esa intensidad afecta el funcionamiento del ecosistema quemado. Los efectos suelen variar tanto dentro del área como entre diferentes ecosistemas (UN-SPIDER, s.f). En este caso, es posible observar una disminución de la severidad a nivel general de la comuna, aunque en ciertos puntos del año 2021 se masificó la severidad al centro-oeste en Pichilemu en moderadamente baja, también se marca una tendencia de crecimiento vegetacional post incendio en el este para los años 2021 y 2023 y algunos puntos hacia el norte para estos años. Con el paso del tiempo, ha habido un mayor crecimiento vegetacional post fuego hacia el este.

b) Inundaciones

Figura 11. Índice Topográfico de Humedad TWI aplicado para la comuna de Pichilemu



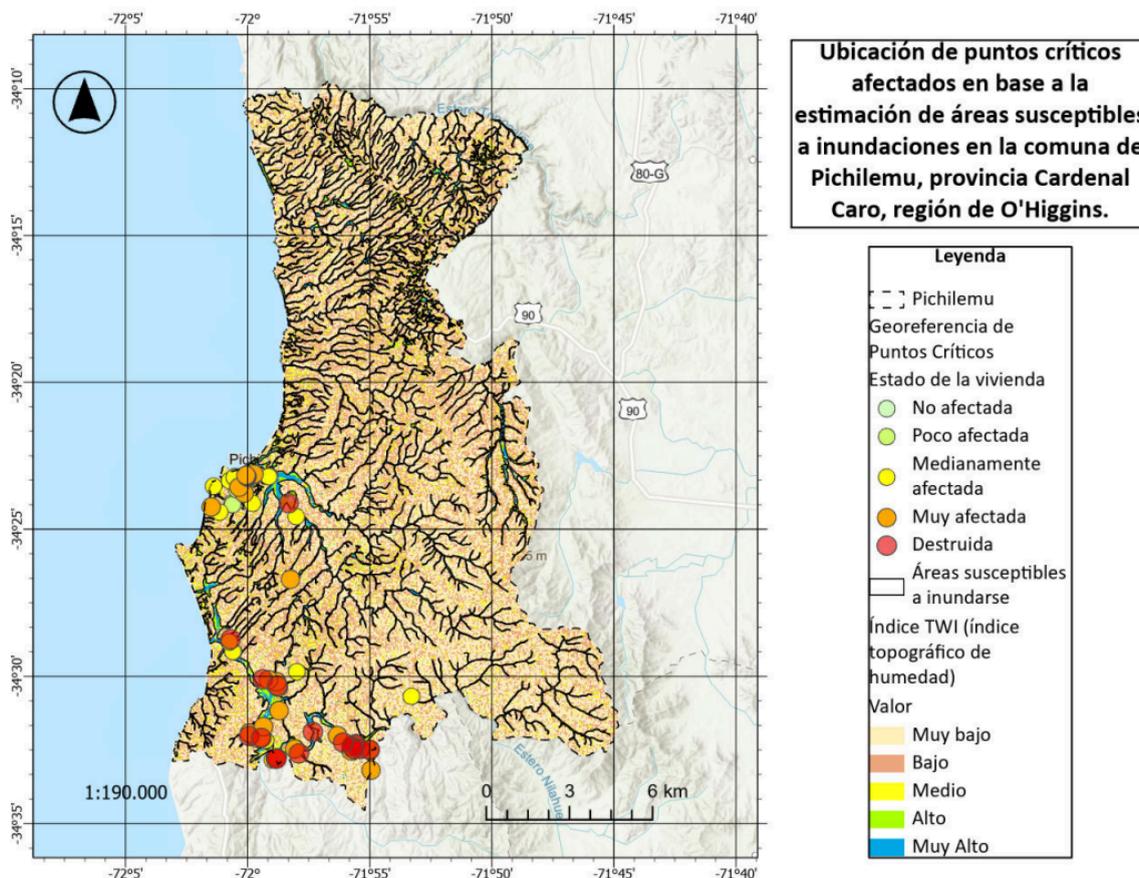
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Es posible observar que hay una mayor susceptibilidad de inundación en áreas de quebradas y esteros, aunque algunos puntos no necesariamente coinciden con un valor “alto” (verde) sino “medio” (amarillo) como la extensión que queda de las quebradas y sus desbordamientos, esto puede deberse a diversos factores, como zonas deforestadas, pues eliminar la vegetación y urbanizar en áreas previamente rurales puede alterar el flujo natural del agua y aumentar el riesgo de inundaciones al limitar la absorción del suelo y aumentar el escurrimiento superficial. El índice TWI demuestra que hay una tendencia de la susceptibilidad a inundaciones en aquellas áreas cuya topografía e hidrografía predomina la acumulación de humedad (ver tabla 8).

Tabla 4. Categorización del índice TWI

Valor cuantitativo	Valor cualitativo
2,07 – 5,93	Muy bajo (rojo)
5,93 – 7,86	Bajo (naranja)
7,86 – 10,79	Medio (amarillo)
10,79 – 14,73	Alto (verde)
14,73 – 23,45	Muy alto (azul)

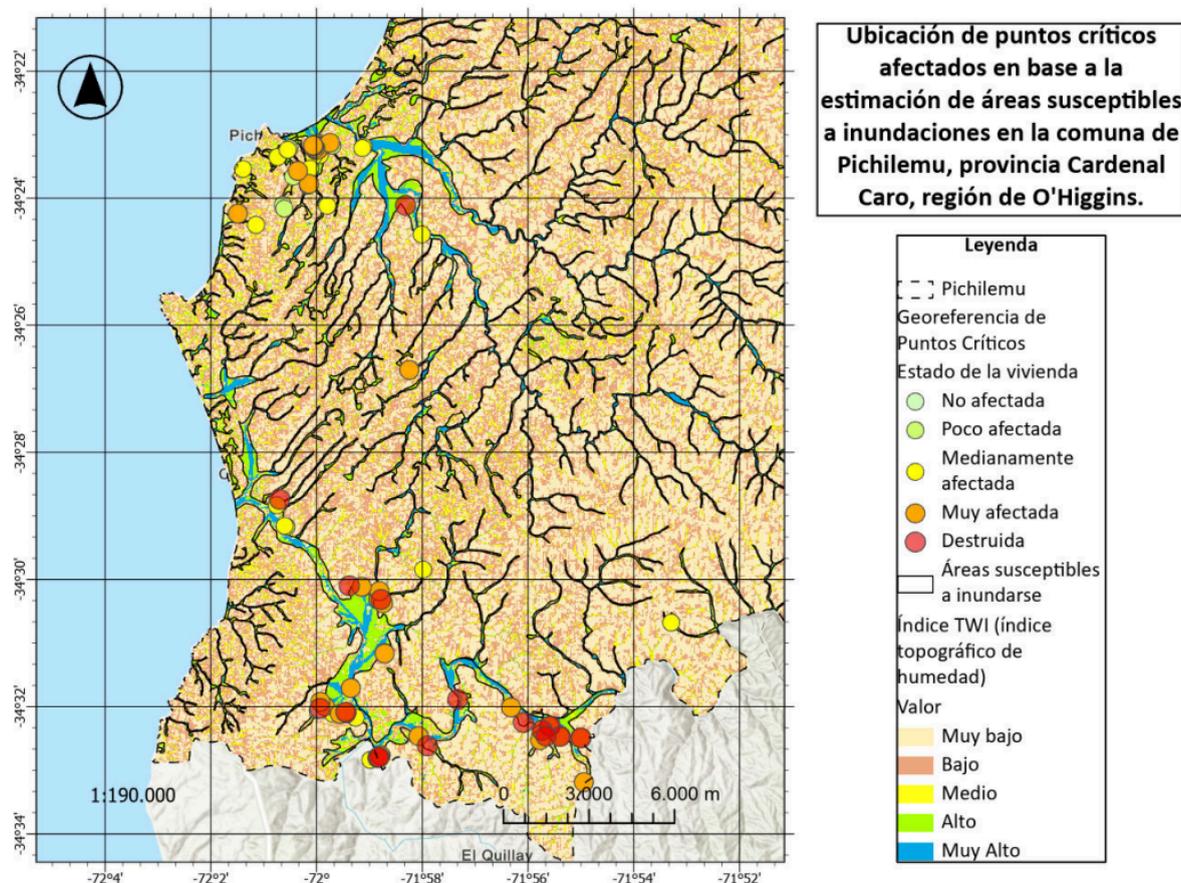
Figura 12. Ubicación de puntos críticos afectados según áreas susceptibles a inundaciones en base al índice topográfico de humedad (TWI) en Pichilemu, escala comunal



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tras intensas precipitaciones en agosto de 2023, donde se acumularon hasta 246,9 mm según la estación meteorológica de Puente Negro (INIA, 2023), la Municipalidad de Pichilemu realizó un catastro a viviendas que se vieron en distintos estados en algunos puntos críticos al suroeste de la comuna. Catalogando así "Estado de la vivienda" desde "No afectada", "Poco afectada", "Medianamente afectada", "Muy afectada" y "Destruida".

Figura 13. Ubicación de puntos críticos afectados según áreas susceptibles a inundaciones en base al índice topográfico de humedad (TWI) en Pichilemu, mayor escala

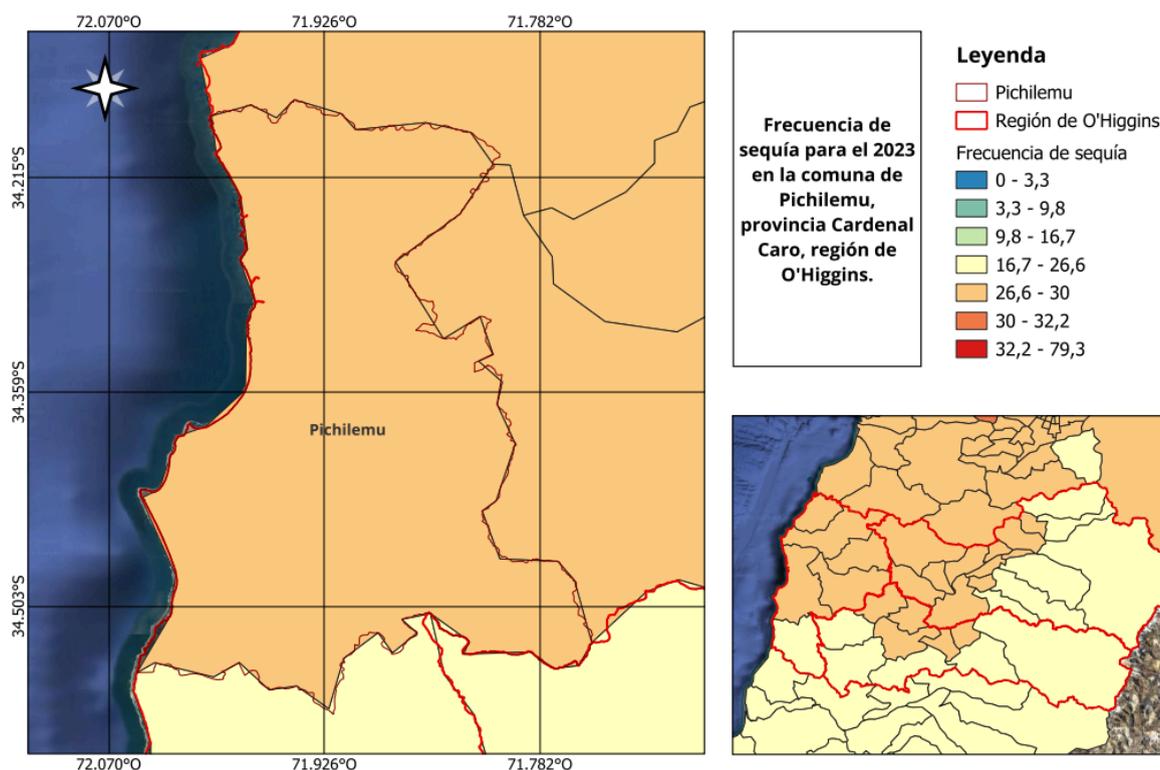


Fuente: Elaboración propia, 2023.

Hay una mayor concentración de viviendas “Destruida”, “Muy afectada” y “Medianamente afectada” en Cáhuil y el Estero Nilahue. Mientras que más al centro de Pichilemu y por la Laguna Petrel hay una mayor concentración de viviendas “Muy afectada”, “Medianamente afectada” y “Poco afectada”. Cabe mencionar que en algunas zonas donde el valor del índice TWI es incluso “Medio” se presentan viviendas en estado “Medianamente afectada” a través de las extensiones de las quebradas.

c) Sequía

Figura 14. Frecuencia de sequía en Pichilemu



Fuente: Elaboración propia en base a datos proporcionados por ArClim, 2023.

La frecuencia de la sequía es qué tan recurrente es el déficit de la magnitud del caudal con respecto a la condición "normal". Es posible observar una frecuencia de 21,8 – 26,7 % en la comuna de Pichilemu, es decir, alrededor del 21,8 – 26,7 % del tiempo se experimenta una situación en la que la magnitud del caudal es más baja de lo que se considera normal o promedio en el contexto hidrológico específico. Este porcentaje sugiere que la sequía no es un fenómeno infrecuente y que ocurre con cierta regularidad en el período analizado. Cuanto mayor sea el porcentaje, más frecuente es la ocurrencia de sequías en el tiempo examinado. La interpretación exacta puede depender del contexto específico del estudio y de cómo se define la condición "normal" o de referencia.

La FAO (2010) afirma respecto a las sequías:

Las sequías en Chile se presentan con cierta periodicidad asociada a la oscilación climática del sur (Fenómeno del Niño y la Niña); particularmente "La Niña" genera condiciones de extremas y prolongadas sequías. Este fenómeno se relaciona a la temperatura del océano Pacífico, cuando se produce un enfriamiento de las aguas de dos a tres grados centígrados por debajo de su temperatura normal, los centros de altas presiones se estacionan fijos por largos períodos, impidiendo el desarrollo de masas nubosas en territorios costeros y continentales, provocando escasez de precipitaciones (p.17).

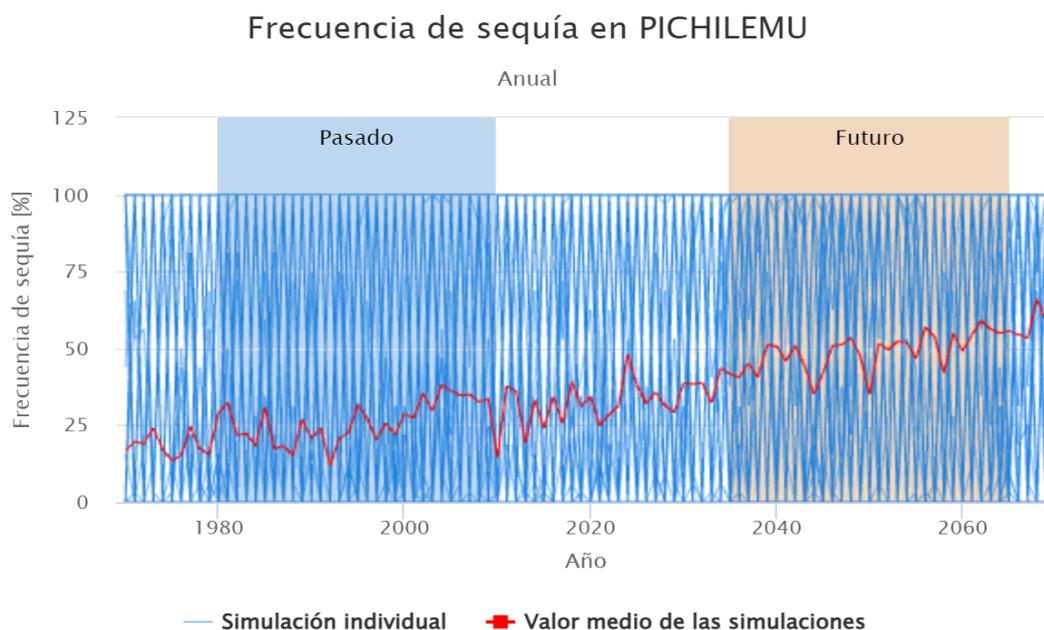
Según la FAO (2010, p.18):

La sequía depende de la relación entre la oferta y demanda de agua. Si bien la ausencia de precipitaciones no se convierte en un factor que en sí mismo desencadene la incidencia del fenómeno, su vínculo es particularmente estrecho en las zonas de secano.

En 2019, se declaró emergencia agrícola en las 33 comunas de O'Higgins debido a la escasez hídrica. Esta medida se tomó ante un preocupante déficit de precipitaciones, que alcanzó un 70% en comparación con un año normal en la región (Vilchez, 2019). Respecto a la región de O'Higgins, en Actualidad Jurídica (2022) se menciona al respecto:

El 20 de abril de 2022, el Diario Oficial publicó el Decreto N° 27 del Ministerio de Obras Públicas, declarando zona de escasez en la Región del Libertador Bernardo O'Higgins. Esta medida se basó en los resultados proporcionados por la Dirección General de Aguas, a través de su División de Hidrología, en el "Informe Condiciones Hidrometeorológicas, Región del Libertador General Bernardo O'Higgins". El análisis incluyó datos de precipitaciones de estaciones meteorológicas en Rancagua, San Fernando, Convento Viejo y Pichilemu, así como información de estaciones fluviométricas. Según el informe, el Índice de Precipitaciones Estandarizados (IPE) fue inferior al índice límite definido de -0,84, justificando la declaración de zona de escasez.

Figura 15. Simulación de la frecuencia de la sequía en Pichilemu

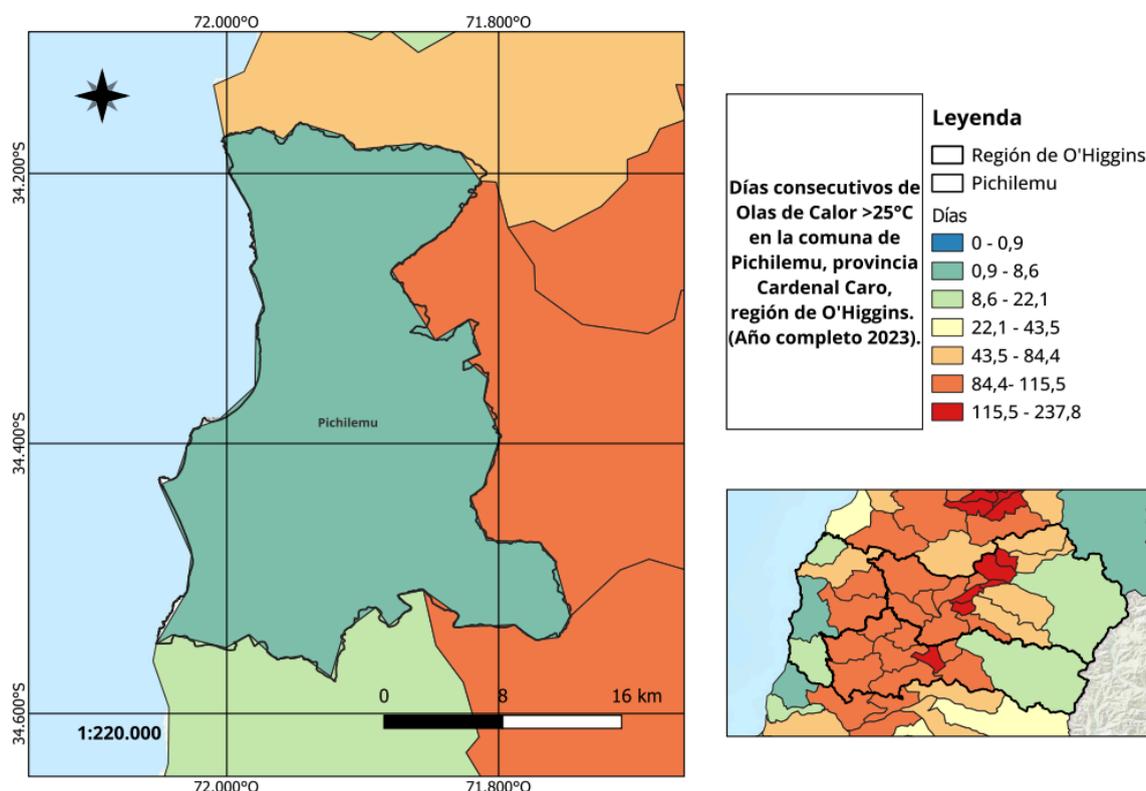


Fuente: Obtenido en base a datos de ArClim, 2024.

Según ArClim ésta amenaza se mantendría consistente a futuro con aumentos.

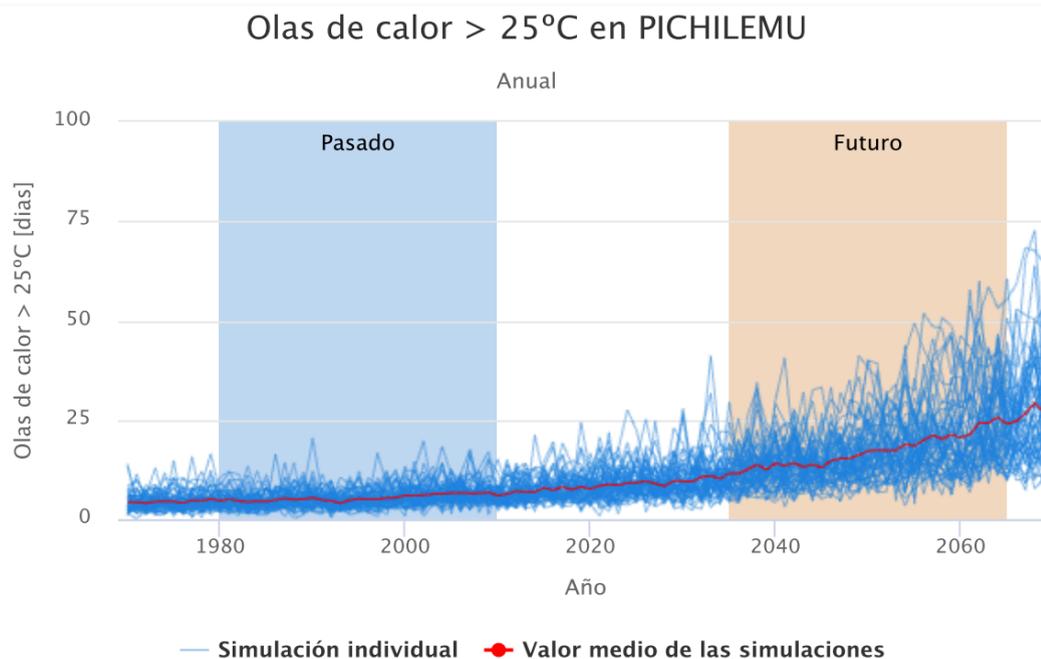
d) Olas de calor

Figura 16. Días consecutivos Olas de calor >25°C en Pichilemu



Fuente: Elaboración propia en base a datos ArClim, 2023.

Figura 17. Gráfico de Olas de calor >25°C actualidad y a futuro en Pichilemu



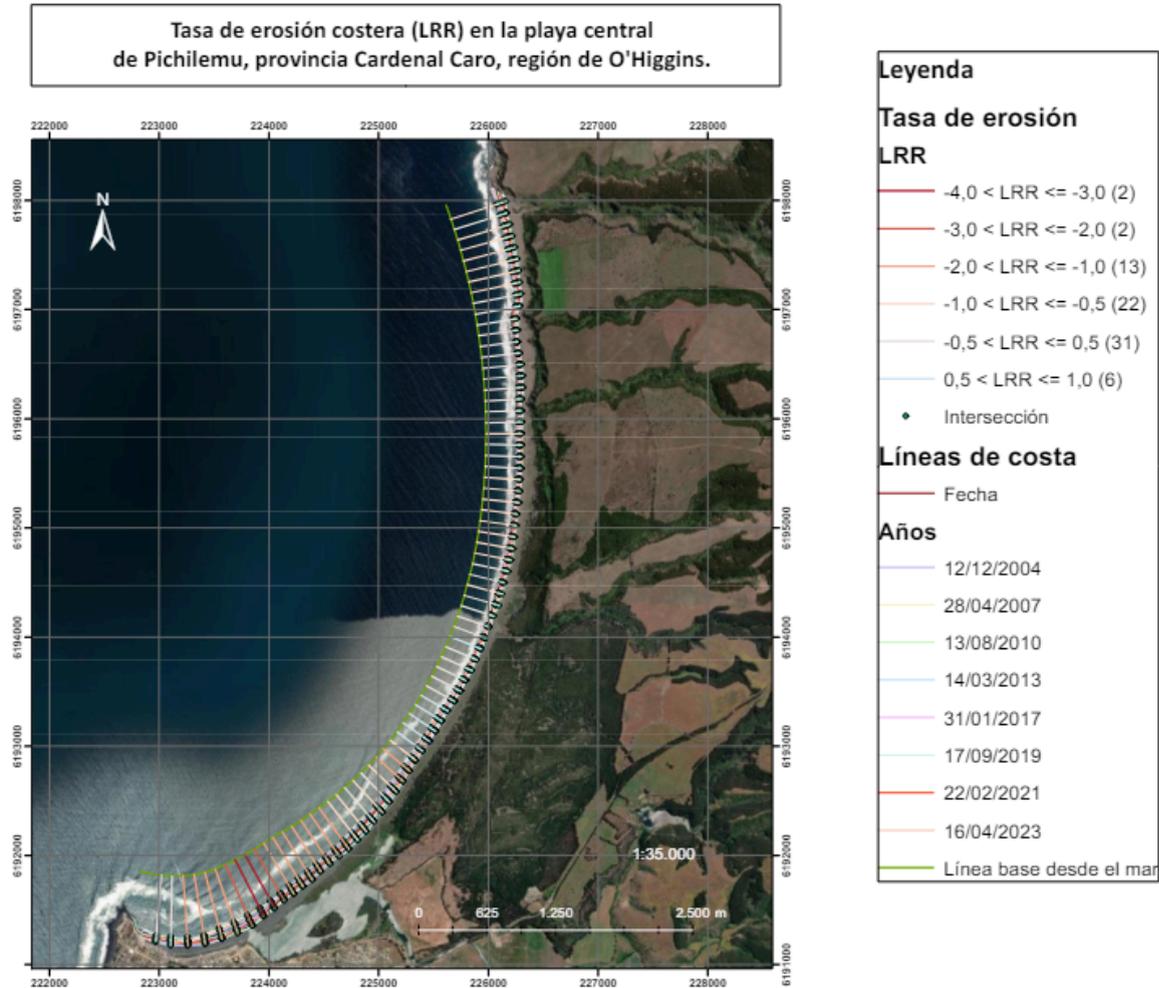
Fuente: Obtenido en base a datos de ArClim, 2023.

En comparación con otras comunas de la región de O'Higgins, Pichilemu no presenta una gran cantidad de días de olas de calor >25°C. Sin embargo, éstas siguen presentes para el

2023 y se estima a futuro un leve aumento en su frecuencia. Se presentan olas de calor >25°C para más de 5 días.

e) Erosión costera

Figura 18. Tasa de erosión costera (LRR) en la playa central de Pichilemu



Fuente: Elaboración propia, 2023.

El método Linear Regression Rate (LRR) calcula la tasa de erosión de la línea litoral (MMA, 2019, p.26). La tasa de erosión (m/año) se clasifica de acuerdo con las 4 categorías de Rangel et al. (2015):

> -1.5 m/año: Erosión alta

-0.2 y -1.5 m/año: Erosión

-0.2 y +0.2 m/año: Estado estable

> +0.2 m/año: Acreción

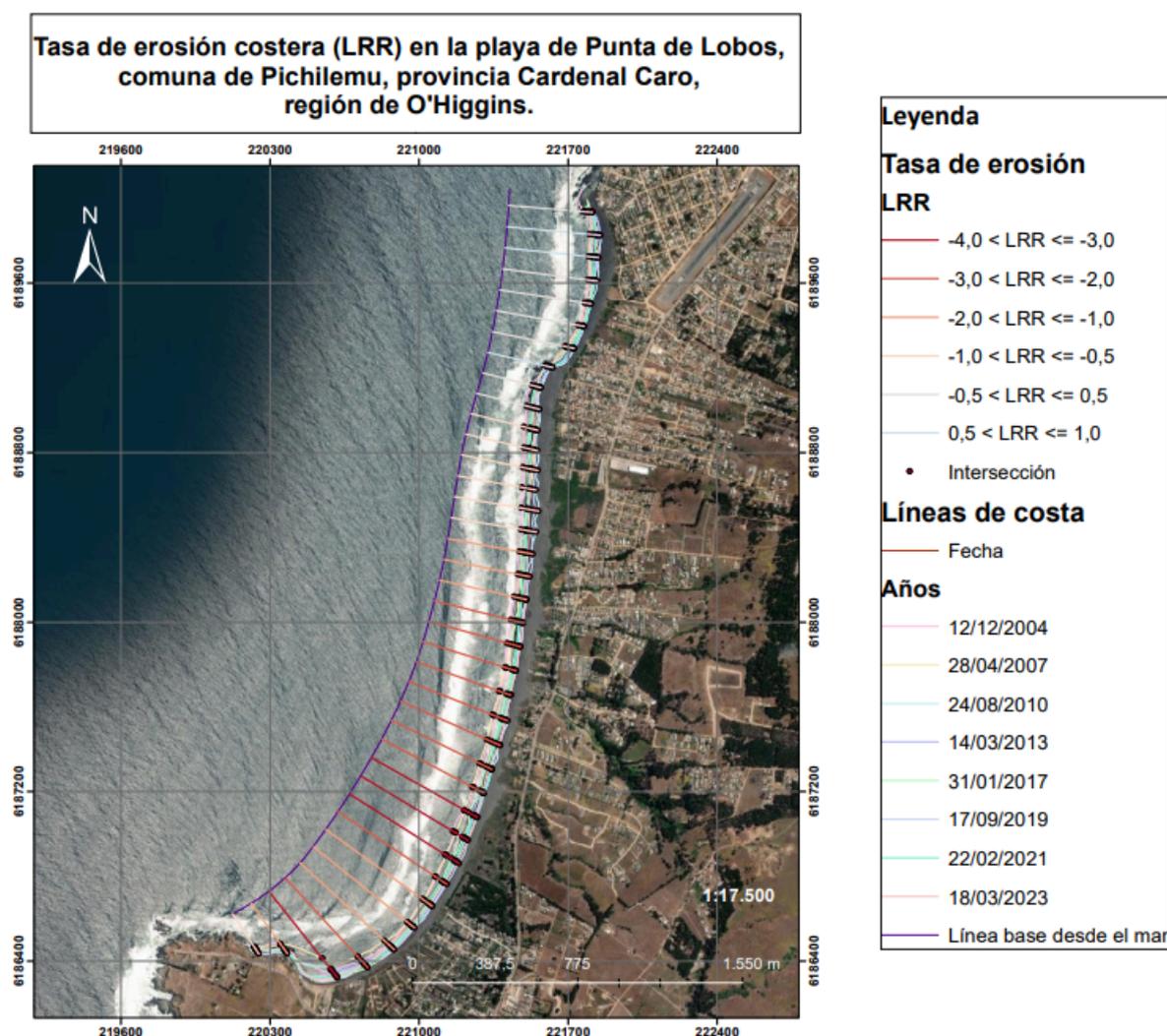
Aunque se presentan ciertos años estables (31 puntos de -0,5 y 0,5 m/año), también hay una tendencia en la playa central a erosionarse, 31 puntos de -0,5 LRR (erosión) y 22 puntos de -1,0 LRR (erosión) y también algo de erosión alta (4 puntos >-1.5 m/año del LRR), sobre todo hacia el sur de la zona costera, mientras que hacia el norte los niveles de erosión disminuyen donde se pasa a “acreción” con 6 puntos 0,5 LRR ($>0,2$ m/año) en un período de 19 años (2004-2023). Por lo que ha habido una enorme variación en las líneas de costa que se desestabilizan a lo largo de los años.

En playa Pichilemu se determinó una tasa de cambio de -1,30 m/año para el periodo 1994-2018 (24 años), clasificándose como “erosión” (-0,2 y -1,5 m/año). El MMA (2019, p.73) distingue lo siguiente respecto a Punta de Lobos:

Esta playa corresponde a una ensenada (*hedland bay*), presenta 4,2 km de largo y una zona de rompiente intermedia-disipativa (barra y surco longitudinal). Presenta dunas vegetadas y drenaje local a través de esteros y quebradas, algunos de los cuales forman humedales. Es una zona altamente turística, en especial por su rompiente (*surf*), por ello sensible a erosión por causas naturales y antrópicas.

Cabe además mencionar, que al ser un estudio de 19 años se debe considerar el terremoto del 27 de febrero del 2010, cuyo impacto incidió en la erosión costera de una playa a través del hundimiento o subsidencia de la tierra, lo que puede llevar a un aumento del nivel relativo del mar en áreas afectadas. Esto provoca que las olas y las mareas lleguen más tierra adentro, acelerando la erosión de la costa y afectando la morfología de la playa. Por ejemplo, en un artículo coescrito por Lagos, se analiza cómo el terremoto de 1960 provocó subsidencia en ciertas zonas costeras, lo que incrementó la vulnerabilidad de estas áreas a la erosión costera. Este fenómeno se puede observar en regiones como Chiloé y la costa de Valdivia, donde las playas y humedales se vieron afectados por la subida relativa del nivel del mar, producto del hundimiento del terreno (Lagos et al., 2008).

Figura 19. Tasa de erosión costera (LRR) en la Punta de Lobos de Pichilemu



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Hacia el norte se presenta acreción (0,5 a 1,0) y estado estable (-0,5 a 0,5), de norte a sur esta acreción va disminuyendo y se presenta mayor erosión y erosión alta con una tasa de hasta -3,0 a -4,0 m/año para un período de 19 años (2004-2023). Hay una tendencia general a la erosión costera.

En la cartografía es posible observar un crecimiento urbano sobre las dunas vegetacionales, lo cual también puede incidir sobre la erosión costera al ir ubicándose asentamientos en parcelaciones por sobre éstas estructuras. Es necesario comprender la importancia de la modificación al PRC de Pichilemu (2024) de la Municipalidad de Pichilemu respecto al “P1 – Protección del borde costero” en donde se constituyen los terrenos que se conforman sobre éste y sus localidades, considerando el borde costero, las zonas dunarias y presuntas zonas arqueológicas.

Resultados objetivo 2

Figura 20. Matriz de impactos y vulnerabilidad frente al cambio climático en Pichilemu

Evento climático	Impacto asociado	Exposición	Sensibilidad	Consecuencias esperadas
Aumento de las temperaturas	Olas de calor	Toda la población comunal	-Adultos mayores -Infraestructura área verde -Materialidad de la vivienda	Aumento de hospitalizaciones o problemas de salud en personas mayores
Eventos de lluvia intensa	Inundación	Infraestructura en áreas potencialmente inundables de las zonas urbanas	Sistema de drenaje inadecuado o sin mantención	Deterioro o pérdida de infraestructura
	Remoción en masa	Infraestructura en áreas potenciales de riesgo a remoción en masa (pendiente, sedimento no consolidado, composición del suelo)	Materialidad de la vivienda en áreas de exposición	Daños en vidas humanas e infraestructura
Disminución de las precipitaciones	Sequía	Consumidores de a Agua Potable Rural (APR), agricultores, entre otros	Servicios y personas que dependan del suministro de agua	Pérdida de suministro de agua
Aumento del nivel del mar	Inundación de zonas costeras	Población costera	Asentamientos humanos no preparados	Pérdida de infraestructura en zonas costeras
	Erosión costera	Infraestructura, turismo y economía	Ecosistemas costeros Pescadores	-Pérdida de infraestructura -Impacto en economía y turismo
Eventos atmosféricos como tormentas fuertes, huracanes o ciclones.	-Marejadas (causadas por el viento sobre el oleaje) -Viento intenso y desastroso a gran velocidad	Toda la población comunal	-Materialidad de la vivienda -Ingreso promedio (per cápita u hogar)	-Daños a la propiedad (vivienda y negocio) -Impacto en la salud de la población (lesiones, aumento de la mortalidad, angustia) -Perturbación de los medios de vida y de las economías de las ciudades/pueblos

Fuente: Elaboración propia en base a bibliografía consultada¹, 2023.

Por ejemplo, según el United Nations Human Settlements Programme [UN-Habitat] (2014) Al examinar las variables socioeconómicas, que incluyen la demografía, el alojamiento, el bienestar y el desarrollo humano, así como la producción e inversión, se logrará una comprensión más profunda de las personas, lugares, instituciones y sectores que son susceptibles al cambio climático. Al ilustrar la sensibilidad de los eventos atmosféricos como fenómenos climáticos, se facilita la comprensión de que la falta de recursos económicos para la recuperación de viviendas puede provocar consecuencias, como daños a la propiedad, para poblaciones expuestas a marejadas y vientos intensos.

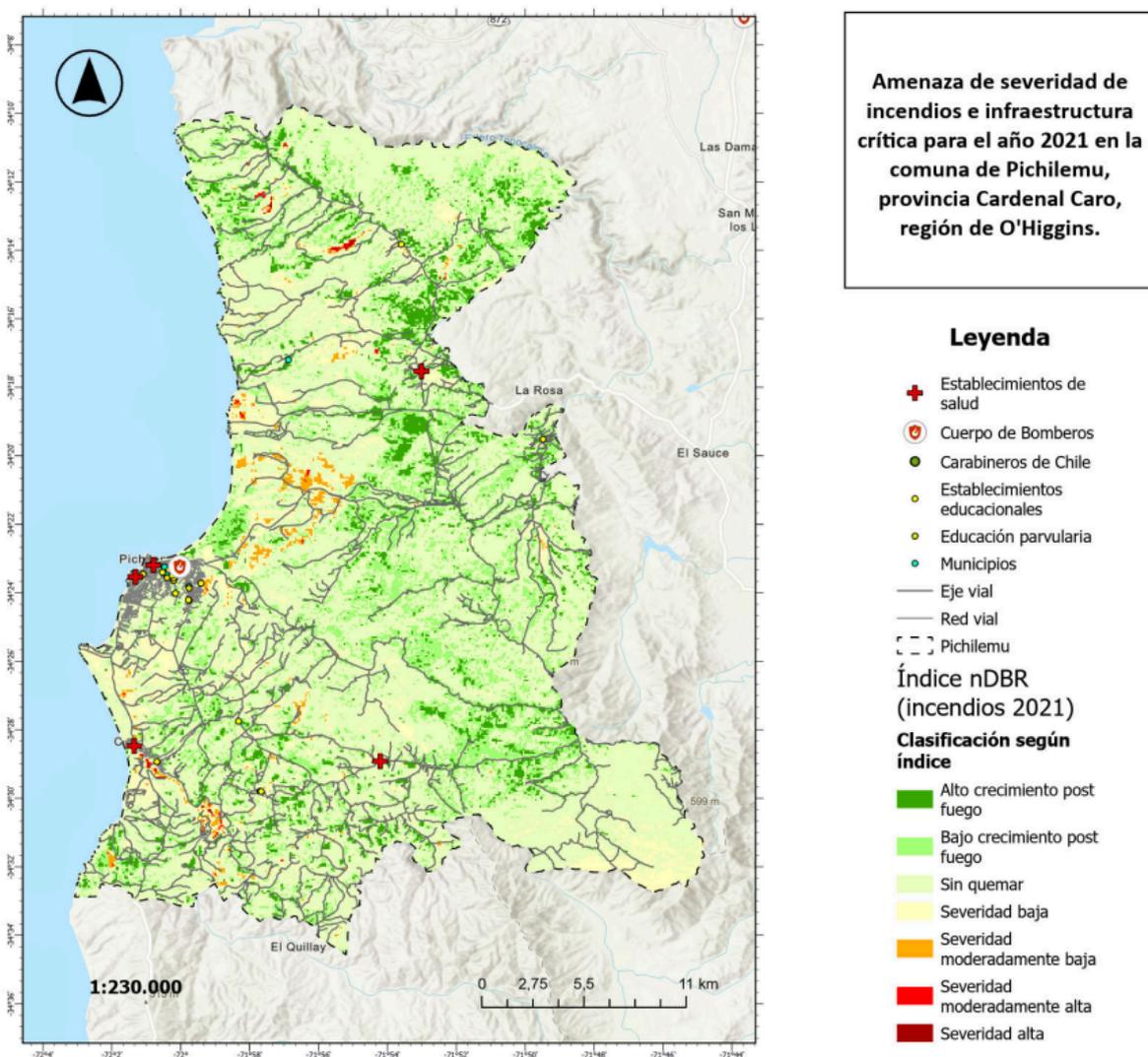
¹Fuentes: Planning for climate change: A strategic, values-based approach for urban planners (UN-Habitat, 2014); Risk Supplement to the Vulnerability Sourcebook (GIZ & EURAC, 2017); Methods and Tools for Adaptation to Climate Change. A Handbook for Provinces, Regions and Cities (Environment Agency Austria, 2014); Guide to Climate Change Risk Assessment for NSW Local Government (Department of planning, industry & environment - NSW Australia, 2019).

Por último, UN-HABITAT (2014, p.22) afirma que:

En pocas palabras, la pobreza aumenta la sensibilidad de las personas a los impactos del cambio climático, lo que aumenta los riesgos; por lo tanto, las personas que viven en la pobreza y las comunidades pobres son las más vulnerables a los impactos del cambio climático.

Es necesaria una discusión al respecto de porqué se le considera “Matriz de impactos y vulnerabilidad” en vez de “Matriz de riesgos”, desde una perspectiva integrada, que considere los componentes de riesgo de vulnerabilidad, medidas de mitigación y adaptación.

Figura 21. Amenaza de severidad de incendios e infraestructura crítica para el año 2020 en Pichilemu



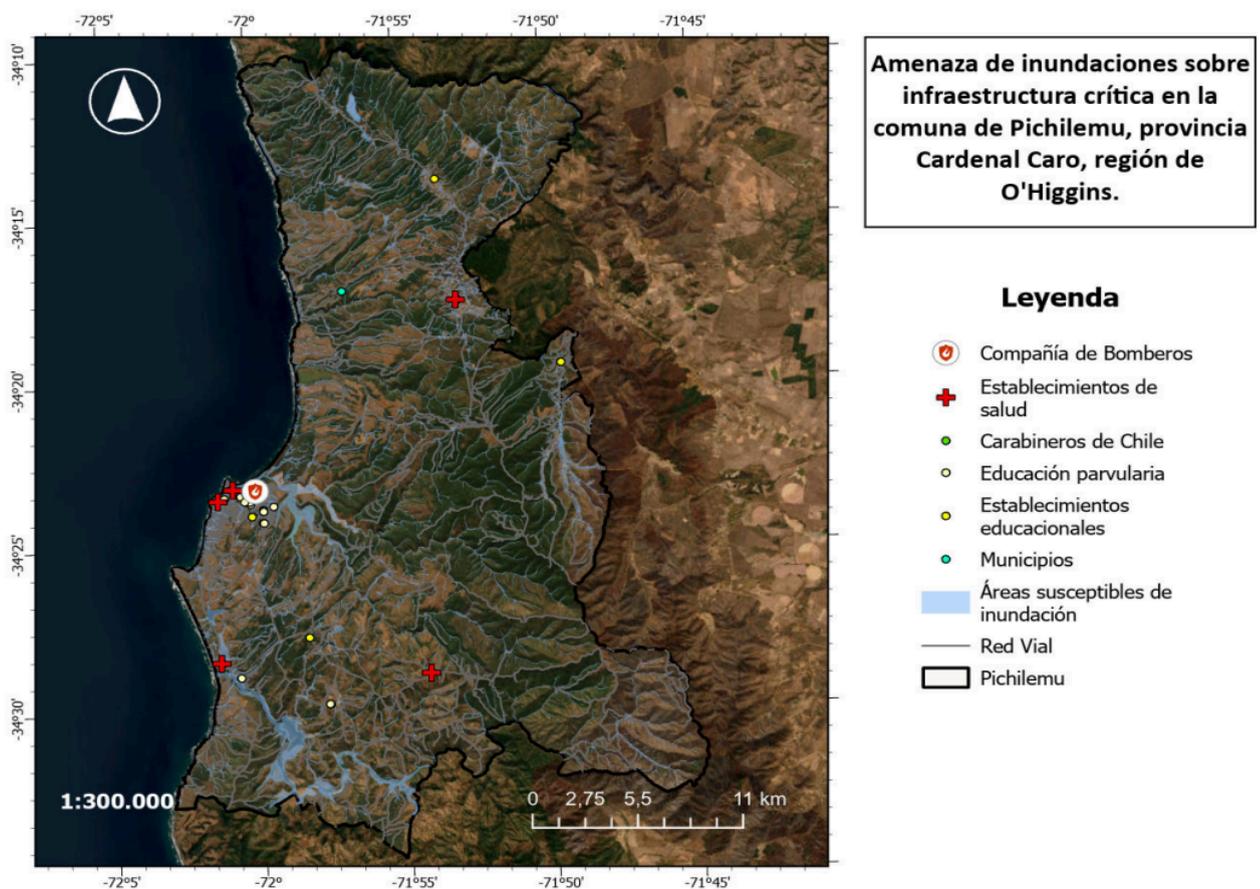
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Las áreas de alta severidad están cerca de algunas infraestructuras críticas, como establecimientos de salud y cuerpo de bomberos, tal proximidad puede aumentar la exposición durante eventos de incendio. Es necesario el refuerzo y protección a estas

infraestructuras debido a los riesgos directos de daño, interrupción de servicios, dificultades de evacuación y acceso, consumo de recursos y efectos de contaminación.

Las áreas con severidad moderada afectan principalmente a zonas rurales y menos densamente pobladas. Estas áreas, aunque menos críticas que las de alta severidad, pueden interrumpir los servicios básicos y las rutas de acceso, cabe además recalcar la distancia entre cuerpo de bomberos y áreas de severidad de incendio post-fuego en zonas rurales, por lo que es necesario un monitoreo constante y la preparación de equipos de emergencia.

Figura 22. Amenaza de inundaciones en infraestructura crítica en Pichilemu a escala comunal.



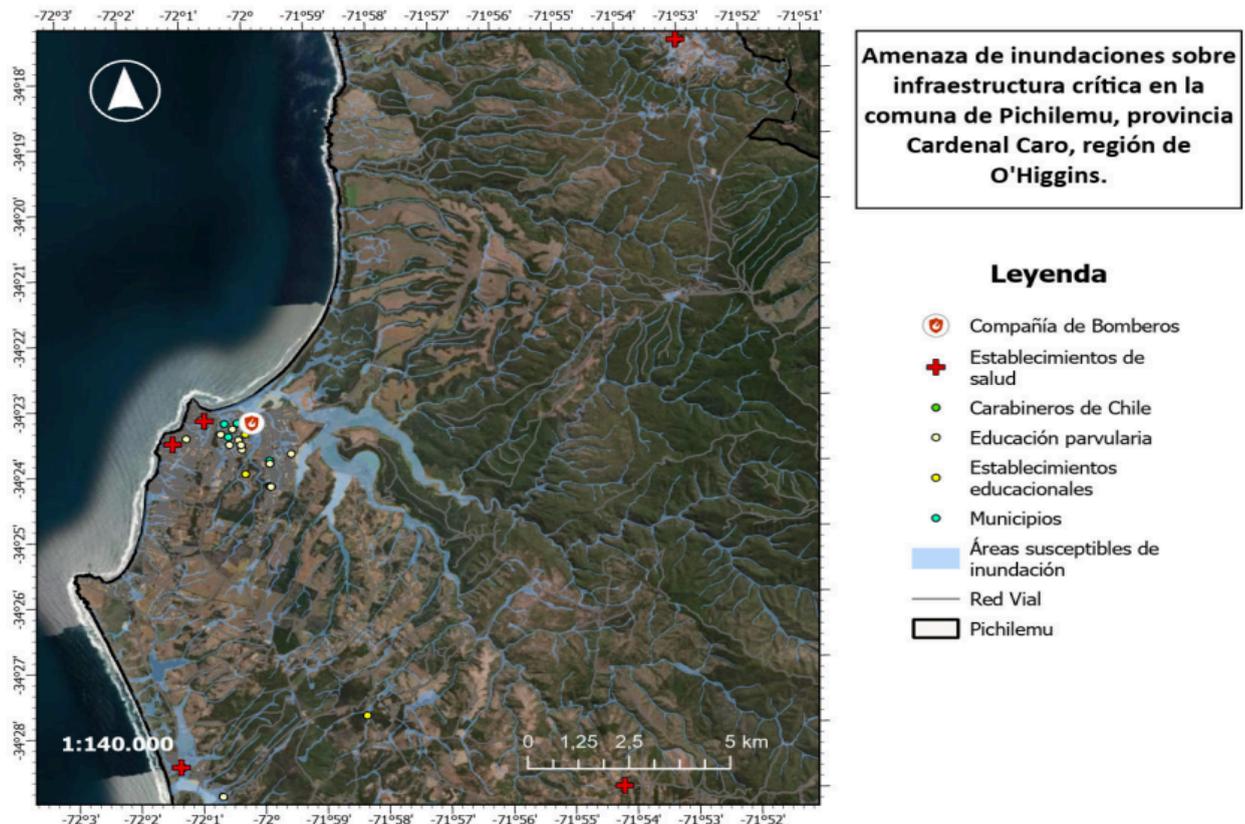
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Desde el índice TWI creado, las áreas susceptibles de inundación se destacan como el polígono azul del mapa. Estas áreas se encuentran principalmente a lo largo de las cuencas y arroyos que fluyen hacia la costa, así como en zonas bajas cercanas al océano Pacífico. La mayor parte de estas áreas se superponen en la región costera y en los valles fluviales, donde la acumulación de agua es más probable.

Hay una compañía de bomberos cerca de la costa, en una zona susceptible de inundación. Esto podría afectar su capacidad de respuesta en caso de emergencias. También algunos establecimientos de salud están ubicados cerca de áreas susceptibles de inundación, lo que podría poner en riesgo el acceso a servicios de salud en situaciones de emergencia.

Las instituciones de educación parvularia y los establecimientos educacionales están ubicados tanto dentro como fuera de las áreas de riesgo.

Figura 23. Amenaza de inundaciones en infraestructura crítica en Pichilemu a mayor escala.

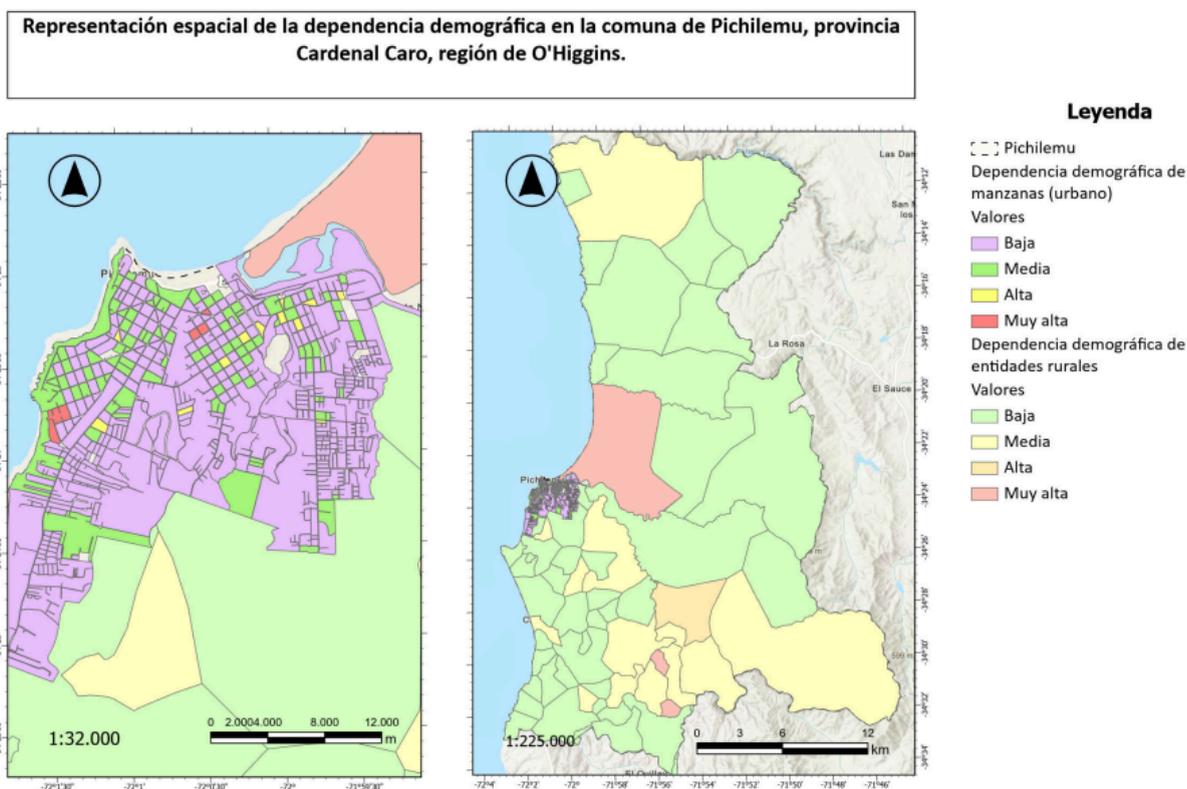


Fuente: Elaboración propia, 2023.

Es posible observar que gran parte de la comuna está expuesta a inundaciones, tanto en la zona urbana como rural la infraestructura crítica presenta riesgo de verse inundada, por lo que ante situaciones de desastre de inundación su cobertura se verá afectada según esta proyección, como la compañía de bomberos o establecimientos de salud, por lo que es importante también recalcar la materialidad de la vivienda e infraestructura ante estas situaciones de emergencia en cuánto a los impactos que puedan suceder. Por ejemplo, el cuerpo de bomberos corre riesgo de ser inundado, al igual que algunos establecimientos de salud en la comuna.

Las inundaciones hacen parte del ciclo hidrológico, siempre han existido y la humanidad ha aprovechado sus beneficios para la fertilidad de suelos y la biodiversidad de los ecosistemas conexos como: humedales, lagunas, etc. No obstante, con el paso del tiempo, el desarrollo y la ocupación del territorio hacen que las inundaciones se asocian más a catástrofes (Sedano et al., 2011 en Cardona, 2019, p.22). El proceso natural deviene peligroso cuando el hombre ocupa las zonas inundables desconociendo la función natural de estas áreas, transformando el fenómeno en una amenaza para el asentamiento humano instalado (Rojas, 2015, p.2)

Figura 24. Representación espacial de la dependencia demográfica en la comuna de Pichilemu

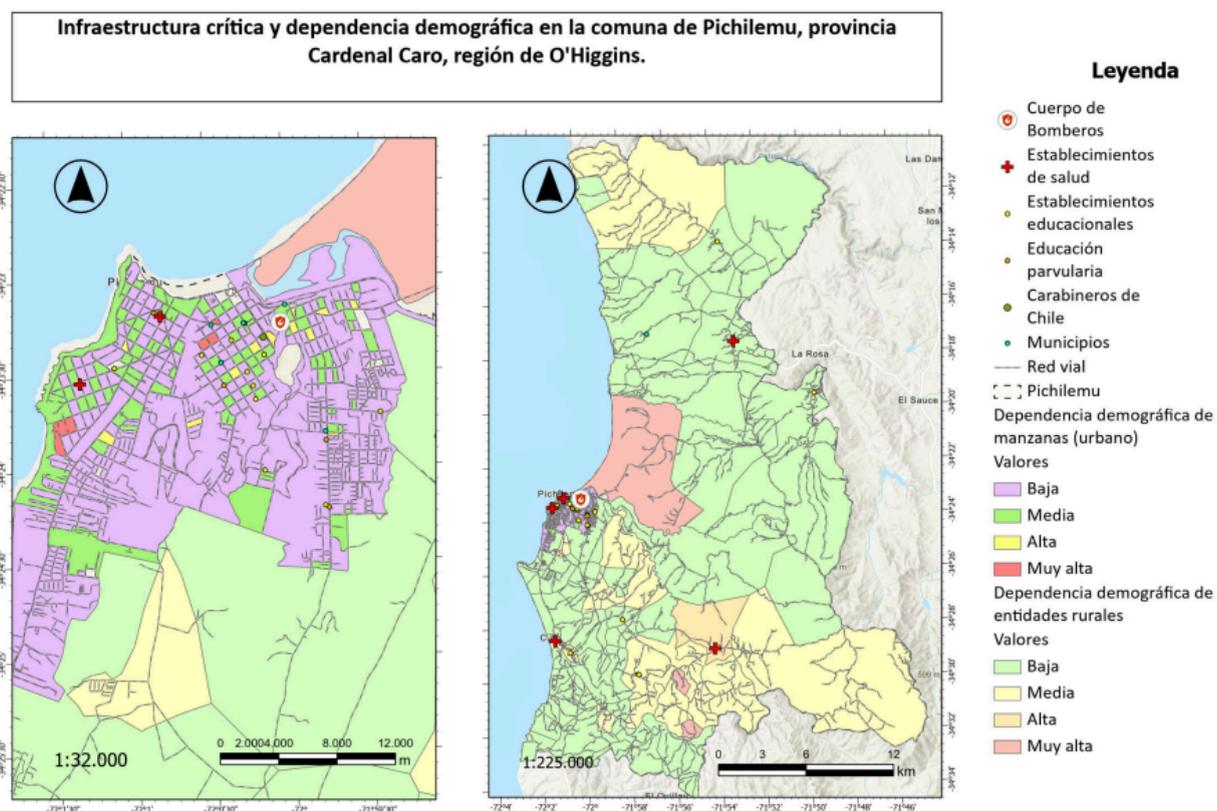


Fuente: Elaboración propia en base a datos Censo 2017, 2023.

El cálculo del índice de dependencia demográfica permite obtener zonas de mayor concentración de población mayor a 64 años, por ejemplo, si el pueblo San Antonio de Petrel tiene una dependencia demográfica de valor “76,9” es porque es “Muy alta”, lo que significa que, a mayor el valor de la dependencia, mayor es la proporción de concentración de población mayor de 15 a 64 años.

El índice de dependencia demográfica es una medida que compara la población en edad de trabajar con la población dependiente, que incluye a los jóvenes y a las personas mayores, un valor alto en el índice de dependencia demográfica generalmente indica que hay un mayor número de personas dependientes en comparación con la población en edad de trabajar. Esto puede tener implicaciones económicas y sociales, ya que podría significar que hay una carga más grande para la población activa en términos de responsabilidades financieras y de cuidado para las personas dependientes.

Figura 25. Infraestructura crítica y dependencia demográfica urbana y rural en Pichilemu

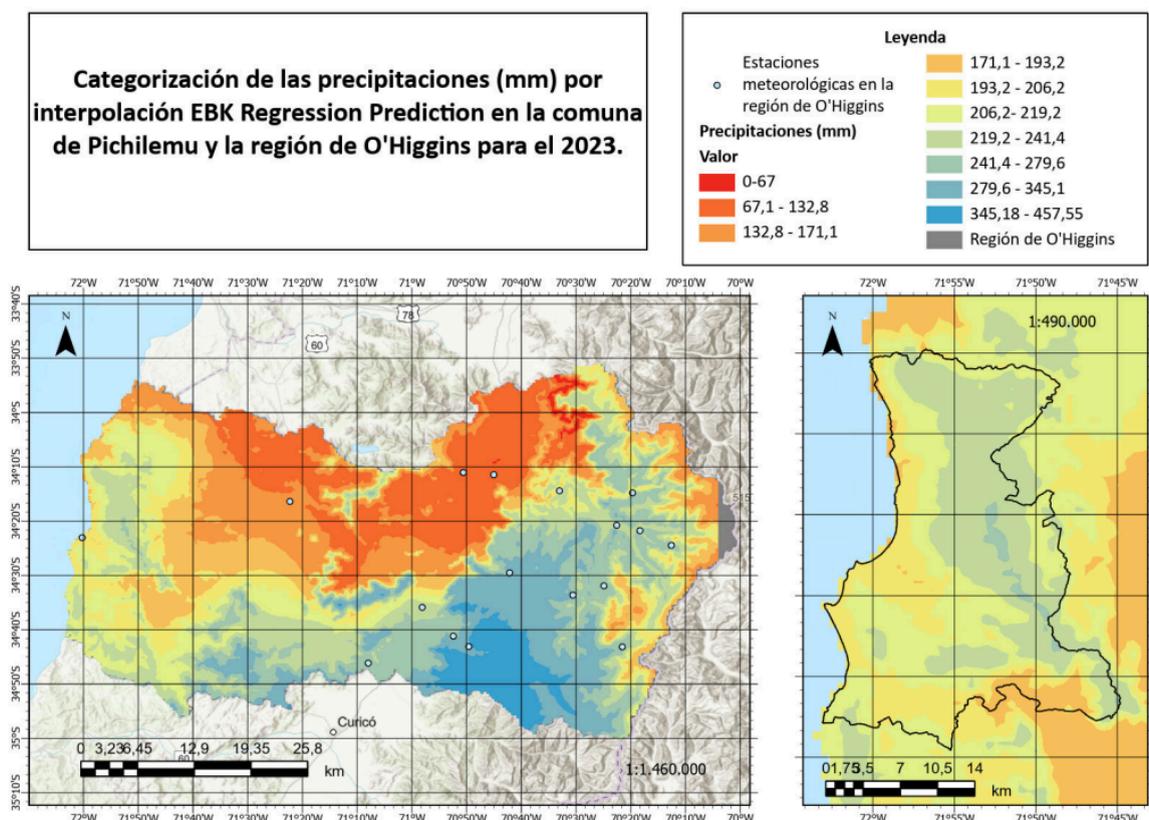


Fuente: Elaboración propia en base a datos Censo 2017, 2023.

Es posible inferir a partir de esta figura que, aunque no domine la dependencia demográfica “alta” o “muy alta” ésta de todas formas se presenta en Pichilemu, y que, por ejemplo, respecto a las áreas de servicio y centros de atención primaria no logran abarcar el total de la población mayormente “dependiente”.

Resultados objetivo 3

Figura 26. Categorización de las precipitaciones en la comuna de Pichilemu



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Es posible observar que a nivel regional las precipitaciones se concentran mayormente hacia el lado cordillerano, mientras que en la costa hay una variación de 205 hasta 240 mm acumulados por años (2022). Ahora bien, ¿Cómo se relacionan las precipitaciones con las inundaciones?

Los factores desencadenantes de inundaciones pueden estar relacionados con diversas causas tales como: precipitaciones persistentes, lluvias intensas de corta duración, fusión de nieve y hielo, descarga de aguas represadas por glaciares, procesos de remoción en masa, rotura de embalses e infraestructura hidráulica y crecidas asociadas a erupciones volcánicas (Ollero, 1997; Adhikari et al., 2010 en Rojas et al., 2014, p.178). La precipitación corresponde al primer mecanismo para producir inundaciones, sean éstas de origen convectivo, orográfico o frontal (Rojas et al., 2014, p.180).

Asociado a la dinámica de la precipitación, el Cambio Climático Global puede aumentar la severidad y frecuencia de las inundaciones, debido a la elevación del nivel medio del mar (NMM) y a cambios hidroclimáticos como aumentos en la frecuencia e intensidad de las lluvias; se esperan lluvias más agresivas que aumentan la erosión (Chust et al., 2010; Yan et al., 2010; Gallien et al., 2011, Burrell et al., 2007; Lim et al., 2012; IPCC, 2013 en Rojas, 2014, p.7).

Respecto a las mareas:

Otro factor por considerar en la ocurrencia de inundaciones, son las mareas. Los ríos exorreicos pueden formar deltas o estuarios, y éstos pueden ser de cuña o mezcla. Las mareas altas son causadas por una conjunción de factores astronómicos, meteorológicos y climáticos (e.g. El Niño puede elevar el nivel del mar entre 0.1m a 0.3m) (Vannéy, 1970; Gallien et al., 2011 en Rojas, 2015); estas dificultan el escurrimiento aguas abajo en estuarios con pendientes débiles (Vannéy, 1970; Eliot, 2012 en Rojas, 2015) (Rojas, 2015, p.7).

Así mismo, respecto a los cambios de uso de suelo en Rojas (2015, p. 8):

Por último, diversos estudios han corroborado el incremento de la magnitud de los flujos pico de inundaciones por cambios de usos de suelo (Bronstert et al., 2002; Solín et al., 2011; Brath et al., 2006; Wheeler & Evans, 2009; Banasik & Pham, 2010; Panahi et al., 2010 en Rojas, 2015). La proporción de suelos en proceso de desertificación y erosión (degradación) en áreas mediterráneas rurales, se ha incrementado por procesos de sequías, incendios e inundaciones. La actividad agrícola, el pastoreo, la deforestación (principalmente en sectores de cabecera de las cuencas), la deforestación en corto y mediano plazo contribuyen a aumentar las inundaciones.

Rojas (2015) describe lo siguiente respecto al cambio de uso de suelo:

En Chile, a partir del Decreto Ley 701 de Fomento Forestal de 1974, se inició la plantación a gran escala de *P. Radiata*, principalmente en suelos degradados de cuencas costeras en zonas mediterráneas. Actualmente, es el uso de suelo predominante en estas áreas (Bonilla et al., 2002; Frêne & Núñez, 2010). La actividad forestal impacta directamente en la escorrentía: exporta más sedimento que un suelo con bosque nativo (305 y 368 kg ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente), reduce la tasa de infiltración de suelo en aproximadamente 10 mm h⁻¹ y genera suelos con hidrofobia, observado comúnmente en áreas forestadas con *Eucaliptus* y *P.Radiata*. Después de los incendios forestales, la escorrentía puede aumentar hasta un 85% debido a la destrucción del sotobosque (Gayoso e Iroumé, 1995; Huber et al., 2010; Oyarzún et al., 2011). Durante las crecidas, la gran cantidad de sedimento transportado puede contribuir hasta un 50% del volumen total de la corriente (Börgel, 1983).

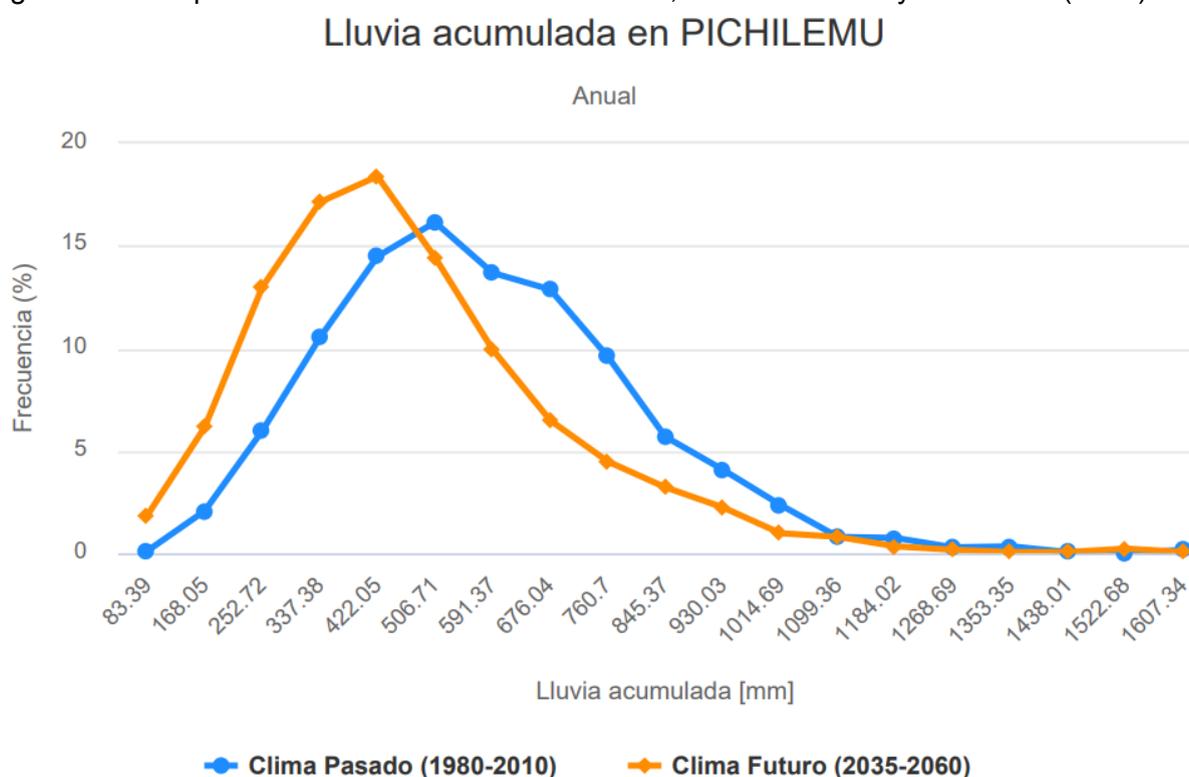
En Chile central, 1/3 de la variabilidad de la precipitación se explica por el fenómeno ENSO” (Rojas, 2015, p.7). Hernández (2002, p.3 y p.4) describe al fenómeno ENSO como:

El fenómeno ENOS (El Niño/Oscilación del Sur) (Troup, 1965; Rasmusson y Wallace, 1983), es el resultado de un vasto y complejo sistema de fluctuaciones climáticas entre el océano y la atmósfera y actualmente es considerado como la señal dominante del clima global para escalas de tiempo que oscilan desde meses hasta algunos años (Philander, 1985; Galindo y Centeno, 1989). Este fenómeno se asocia con importantes perturbaciones en los regímenes de lluvias en los trópicos, cuyos resultados son sequías en áreas donde habitualmente llueve y lluvias torrenciales en zonas usualmente desérticas.

Las precipitaciones de julio/agosto/septiembre demuestran que este fenómeno durante invierno incidió en grandes lluvias que causaron daños devastadores en la comuna sobre todo en el temporal de agosto por la presencia del fenómeno de El Niño, la incursión de un nuevo río atmosférico en conjunto con un sistema frontal causando desastres a nivel regional e inundaciones en algunas partes de la comuna como el centro de Pichilemu (Plaza Prat) o Barrancas (ver anexo 1 y 2).

Aunque, El Niño no es del todo la causa de esto, según Garreaud (2023) aunque ya hay un Niño oceánico establecido con aumento de temperatura en el Pacífico Tropical, la conexión con la atmósfera es aún débil. Elementos característicos de tormentas durante El Niño, como el anticiclón del Pacífico intenso y un bloqueo atmosférico al sur del continente, no están presentes. Aunque hay mayor humedad, la influencia completa de El Niño en las condiciones climáticas aún es limitada. Cabe además mencionar la variabilidad climática que se ha ido acentuando con el cambio climático.

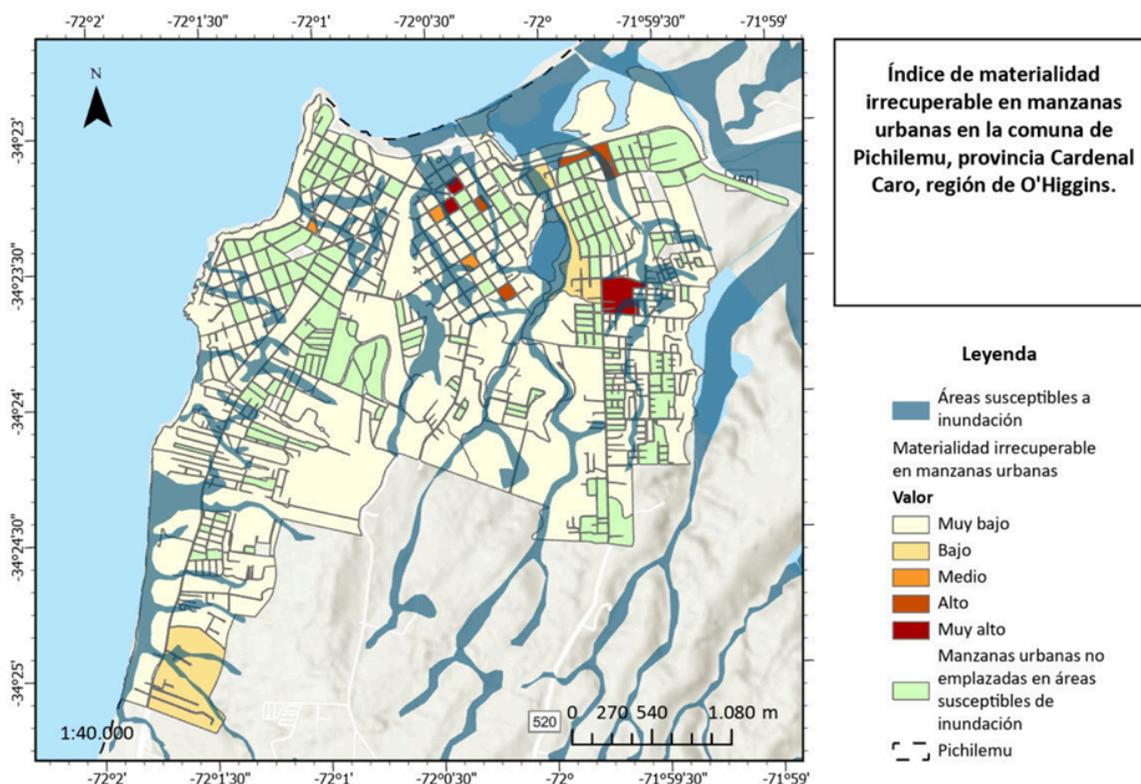
Figura 27. Precipitaciones acumuladas en Pichilemu, cambio a futuro y actualidad (2023)



Fuente: Gráfico obtenido de ArClim, 2023.

Se proyecta un aumento para las precipitaciones a clima futuro sólo a principios de los años 2030, pero su frecuencia disminuirá drásticamente tras los años.

Figura 28. Índice de materialidad irrecuperable en viviendas en manzanas urbanas en áreas susceptibles a inundación en Pichilemu

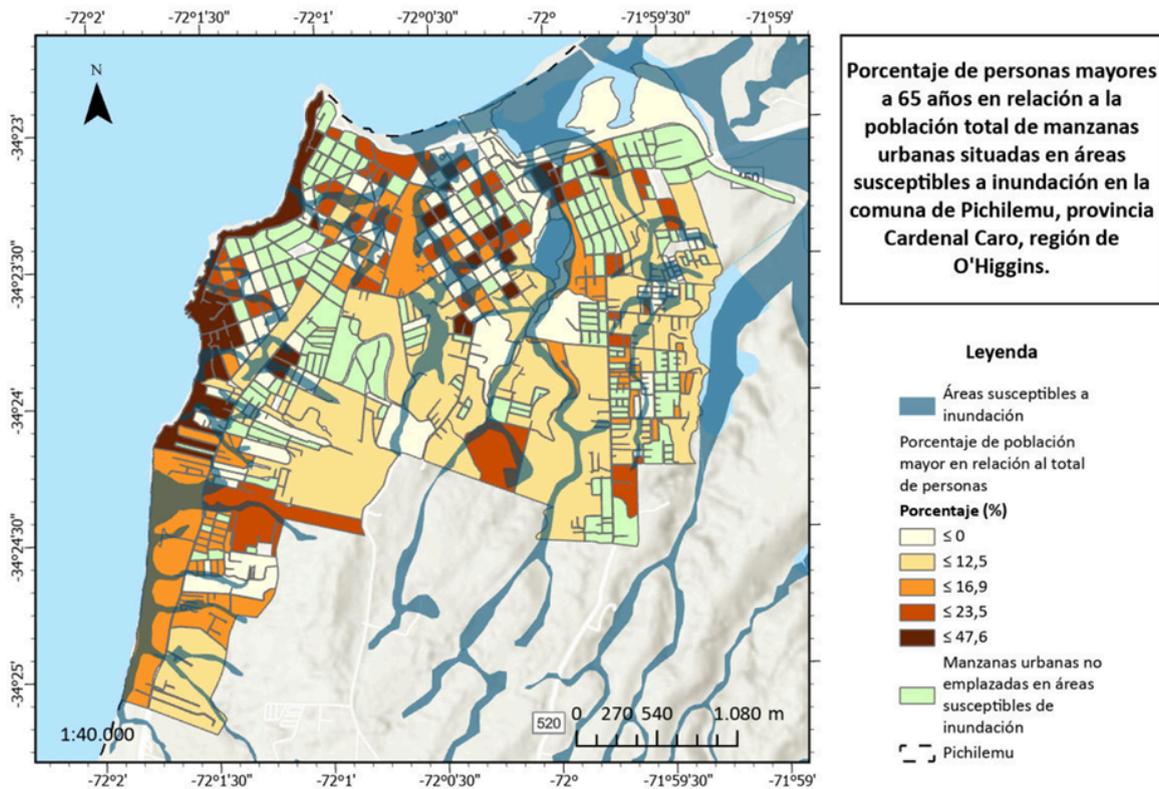


Fuente: Elaboración propia en base a datos Censo 2017, 2024.

Es posible inferir que el número de viviendas y cantidad de manzanas con muy alta materialidad irrecuperable no es tan alto, pero al hacer una suma general desde el rango “medio y alto” termina siendo una cantidad considerable de manzanas que se ven afectadas por los materiales de su vivienda en las áreas susceptibles a inundación.

Respecto a la exposición por áreas susceptibles a inundaciones, de 345 manzanas urbanas donde habitan 12,776 personas para el año 2017 según el Censo 2017, en las cuales, aproximadamente 314 personas con un índice de materialidad irrecuperable de un valor cualitativo “Medio” a “Muy alto” que habitan en áreas susceptibles a inundaciones. En donde 3 manzanas urbanas representan un valor “Muy alto” del índice de materialidad irrecuperable estando expuestas 46 personas, mientras que el valor representativo de “Alto” también hay 3 manzanas estando expuestas 90 personas, en el valor “Medio” hay 3 manzanas con 178 personas, y en el valor “Bajo” hay 3 manzanas donde habitan 289 personas. La sumatoria de manzanas de valor “Bajo” a “Muy alto” da el total de 603 personas expuestas bajo este índice de materialidad irrecuperable ante áreas susceptibles de inundación.

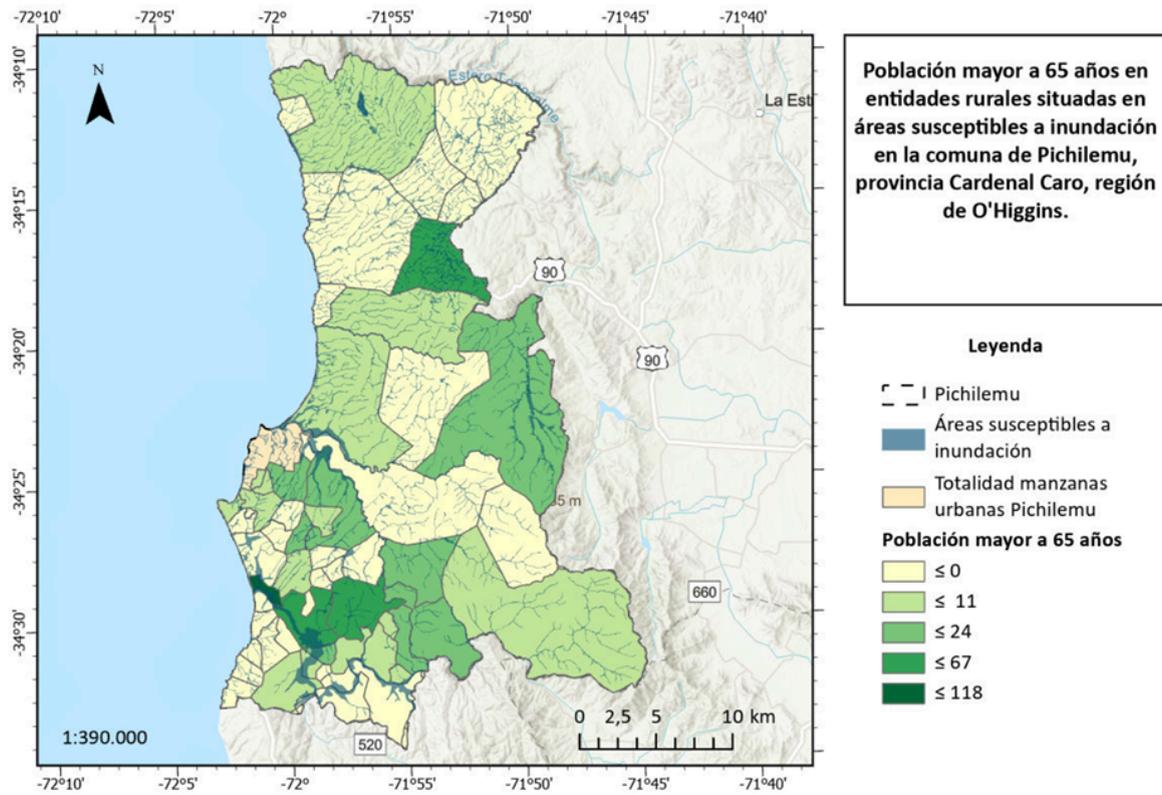
Figura 29. Población mayor a 65 años en manzanas urbanas en áreas susceptibles a inundación en Pichilemu



Fuente: Elaboración propia en base a datos Censo 2017, 2024.

Hay 21 manzanas con un porcentaje mayor o igual a 47,6% de población mayor a 65 años en relación a la población total, que se ubica en áreas susceptibles a inundación, siendo 193 personas mayores a 65 años dentro de este porcentaje, más en su totalidad, para el 2017 hay 827 personas mayores a 65 años ubicadas en áreas susceptibles a inundación en manzanas urbanas en la comuna de Pichilemu.

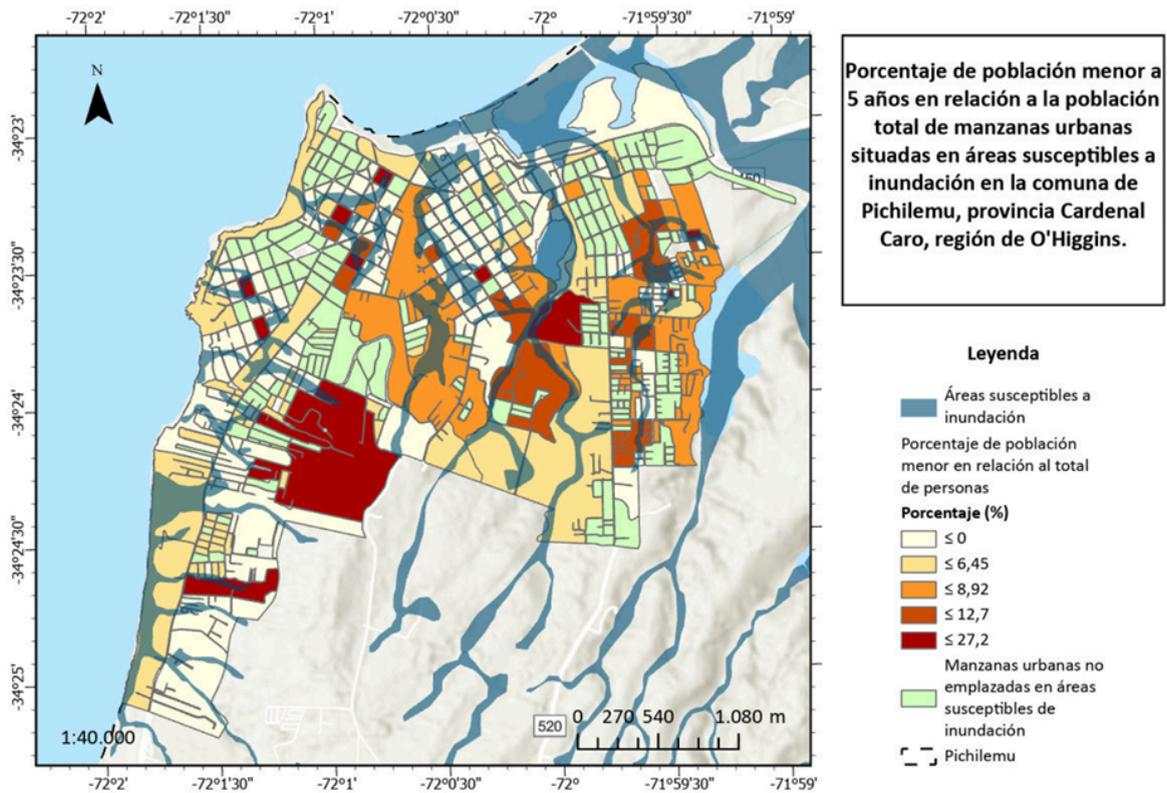
Figura 30. Población mayor a 65 años en entidad rural en áreas susceptibles a inundación en Pichilemu



Fuente: Elaboración propia en base a datos Censo 2017, 2024.

La mayor cantidad de población mayor a 65 años en entidades rurales se ubica en un área susceptible de inundación en la desembocadura que conecta el mar de Pichilemu y humedal y laguna de Cáhuil, conectando así un estuario que se expande por el Estero Nilahue hacia el sureste sumando la totalidad de aproximadamente en total hay 575 personas mayores a 65 años que habitan en áreas susceptibles de inundación en entidades rurales.

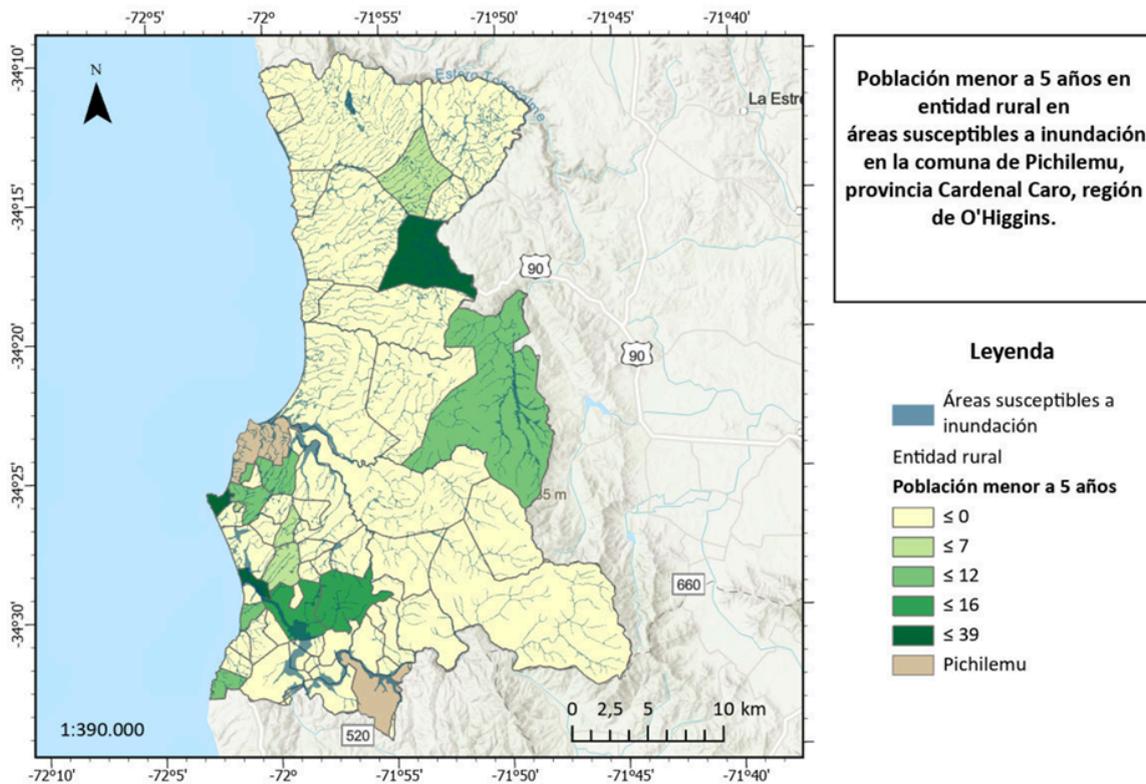
Figura 31. Población menor a 5 años en manzanas urbanas en áreas susceptibles a inundación en Pichilemu



Fuente: Elaboración propia en base datos Censo 2017, 2024.

Hay un total de 388 personas menores a 5 años habitando en zonas urbanas para el 2017 en áreas susceptibles a inundación, en 12 manzanas urbanas hay una representación del 27,2% de la población total. El 72,12% de la población menor a 5 años se ubica en áreas susceptibles a inundaciones en manzanas urbanas en la comuna de Pichilemu, de 538 en total.

Figura 32. Población menor a 5 años en manzanas urbanas en áreas susceptibles a inundación en Pichilemu

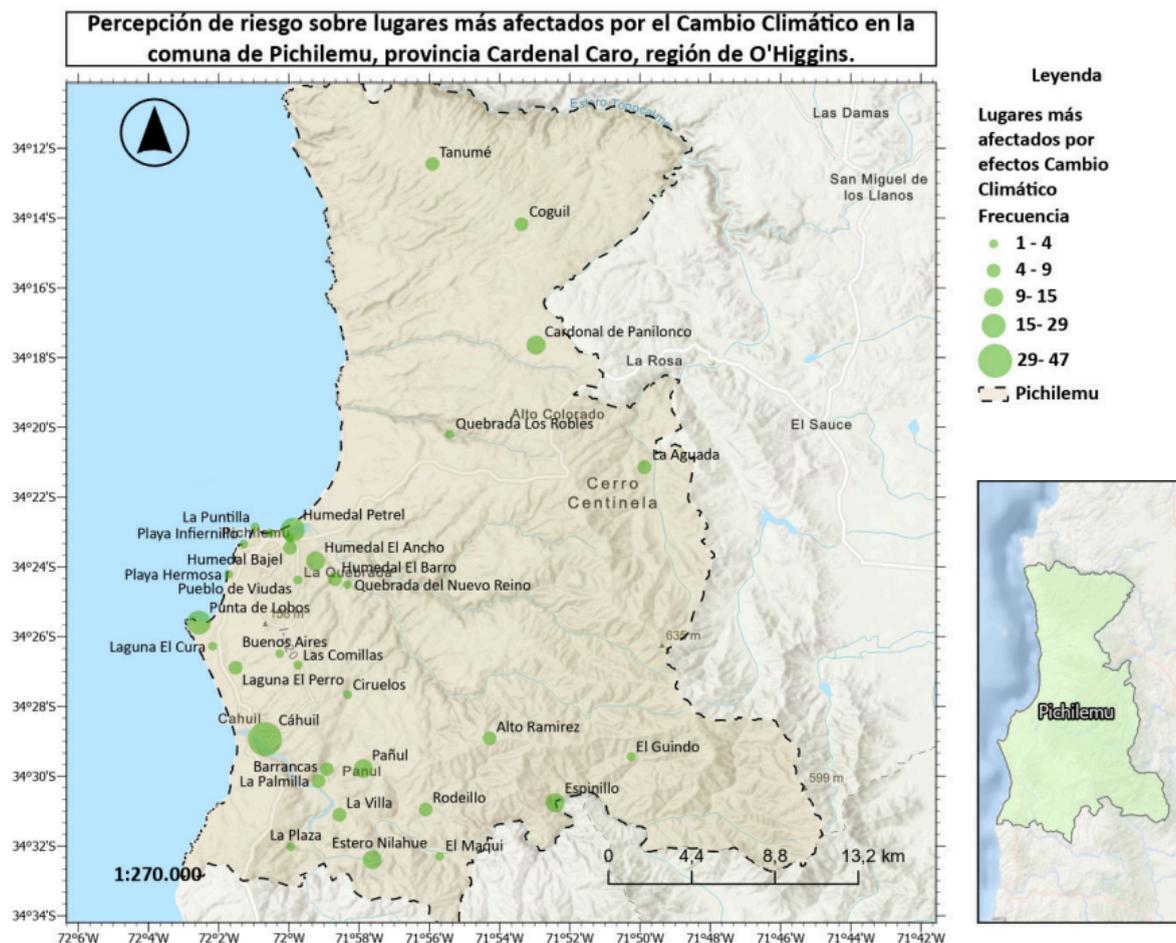


Fuente: Elaboración propia en base a datos Censo 2017, 2024.

En 3 entidades rurales la población menor a 5 años es mayor o igual a 39. De 211 en total el porcentaje en relación a la población total representando máximo el 16,6% de la población total en solo 3 entidades rurales. Respecto a la sumatoria, 204 personas menores a 5 años habitan en áreas susceptibles de inundación en entidad rural.

Recaltar que la mayor concentración de éstos, está presente en la zona de Cahuil como sucede con los adultos mayores, así como también en Cardonal de Panilongo.

Figura 33. Percepción de riesgo sobre lugares más afectados por el Cambio Climático en Pichilemu



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Es posible observar que hay una mayor frecuencia en Cahuil (nombrado 47 veces), Humedal Petrel (nombrado 29 veces), Punta de Lobos (nombrado 25 veces), Laguna El Ancho (15 veces) y Cardonal de Panilonco (15 veces). Esto, según la percepción de habitantes de Pichilemu con riesgos asociados al cambio climático que se podrían presentar en su territorio.

Según Slovic (2000) la percepción del riesgo no sólo se refiere a los aspectos psicológicos experimentados por el individuo, sino que también están influidos por factores culturales, conocimiento previo y sabiduría creando una representación social. Tal representación social de los habitantes de Pichilemu coincide con áreas a verse afectadas en relación al cambio climático con amenazas climáticas tales como las inundaciones que puedan ocurrir en la zona que se ubica entre Cahuil y el Estero Nilahue, así como la pérdida y afectación al ecosistema en el Humedal de Petrel, y por último la erosión costera y riesgos de remoción en masa en Punta de Lobos.

CAPÍTULO 4: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Discusión y limitaciones del estudio

Para UN-Habitat (2014) la resiliencia es la capacidad de una ciudad o pueblo y sus ciudadanos para resistir los impactos y reconstruirse o reorganizarse cuando sea necesario (p.6). Como concepto, la gobernanza está directamente relacionada con la resiliencia al cambio climático y la capacidad de adaptación, por ende, es fundamental tomar medidas para responder ante estas amenazas presentes en la comuna, de tal forma que se vuelva una ciudad resiliente ante el cambio climático (UN-Habitat, 2014, p.69).

¿Qué medidas se han de tomar para que la ciudad de Pichilemu sea resiliente ante el cambio climático?

- Infraestructura resistente: Por ejemplo, respecto a la cartografía de inundaciones se podrían desarrollar sistemas de drenaje mejorados para hacer frente a eventos climáticos extremos, como inundaciones y tormentas. Otro ejemplo es la energía renovable respecto a la energía que se consume y produce.
- Planificación urbana y ordenamiento territorial: Las ciudades bien planificadas son más capaces de adaptarse al cambio climático y son más resilientes a sus impactos negativos que las ciudades no planificadas o mal administradas (UN-Habitat, 2014, p.17). Por ejemplo, incrementar la cantidad de áreas verdes y cuerpos de agua en la ciudad para ayudar a mitigar el calor urbano y proporcionar zonas de absorción de agua, así como corredores para la respectiva protección de fauna y cuidado de humedales, de los cuales, algunos están respaldados por la Ley número 21.202 de Humedales Urbanos.
- Gestión del agua y recursos hídricos: Respecto a la gestión de inundaciones, ir desarrollando sistemas de alerta temprana y construir infraestructuras para gestionar y mitigar inundaciones. Mientras que, para la sequía ir implementando prácticas para la conservación del agua y el reuso eficiente.
- Gobernanza climática: Estableciendo políticas y regulaciones climáticas que promuevan prácticas sostenibles y de resiliencia a largo plazo. Así como también involucrar a la comunidad en la toma de decisiones y en la implementación de medidas de adaptación. Un claro ejemplo es el seguimiento del PACCC y la participación de la comunidad en este.
- Educación y sensibilización: Educar a la población sobre los riesgos climáticos, fomentando prácticas sostenibles y comportamientos que reduzcan la vulnerabilidad. Así como también formar a profesionales en campos relevantes, como la planificación urbana y la gestión de desastres, para abordar los desafíos climáticos.
- Tecnología e innovación: Utilizar tecnologías avanzadas para monitorear condiciones climáticas y proporcionar alertas tempranas, así como apoyar la investigación y la implementación de soluciones innovadoras, como tecnologías de construcción más sostenibles y métodos de agricultura resilientes al clima.
- Colaboración interinstitucional: Fomentando la colaboración entre el gobierno, el sector privado y las organizaciones no gubernamentales para implementar soluciones integrales y sostenibles, mediante un enfoque de planificación que trabaja para involucrar a todos los sectores de una comunidad en la planificación urbana, incluido el sector privado, la comunidad y los grupos de partes interesadas locales y, lo que es más importante, los grupos tradicionalmente subrepresentados y

vulnerables (como mujeres, jóvenes, pobres) (UN-Habitat, 2014, p.6). Así como trabajar en colaboración con otras ciudades y regiones para compartir mejores prácticas y abordar desafíos climáticos de manera conjunta una coordinación regional.

Al abordar estos aspectos de manera integral, una ciudad puede fortalecer su capacidad para resistir, adaptarse y recuperarse de los impactos del cambio climático, construyendo así una base sólida para un futuro más sostenible y resiliente.

La implementación de la Ley Marco de Cambio Climático y la formulación de programas sectoriales son ejemplos tangibles de la gobernanza climática en acción, pero el desafío va más allá. La adaptación a este fenómeno global implica la asignación de recursos, la colaboración entre diferentes actores y la promoción de cambios en la percepción pública y gubernamental. La urgencia de adoptar políticas y acciones concretas para enfrentar el cambio climático es crucial, y esta conciencia debe permear en todos los niveles de la sociedad.

Respecto a los resultados, se debe considerar que los métodos más robustos utilizados fueron los de inundaciones, pues se ha aplicado en diversos estudios para Chile (por nombrar alguno en Soto et al. 2017). Se hace necesario de todas maneras en estudio geomorfológico de lechos. Por otro lado, incendios posee un método robusto, pero en general aplica para incendios consumados; en el caso de esta memoria más bien evalúa zonas afectadas y su recuperación en el tiempo de análisis. Otro método que posee más discusión es el de cambio de líneas de costas, pues las fechas y estados de la marea afectan las mediciones según la determinación de cada usuario. Hay que tener estos aspectos en los alcances de los resultados. Por último, el nuevo censo de población 2024 y vivienda aportará más información de la población vulnerable y expuesta a las amenazas, esperando que en su totalidad y transparencia facilite el uso de su base de datos para su respectiva aplicación en la creación de índices de vulnerabilidad y exposición. Junto con esto, con estudios de la población en donde ésta se le pueda caracterizar con factores más específicos para abordar respectivas medidas, por ejemplo, ¿Qué sucede con los adultos de movilidad reducida? ¿El estado de salud de cada persona? ¿La brecha de género presente? ¿Se han aplicado enfoques de género respecto a hogares monoparentales o personas a cargo del cuidado en situaciones de riesgo de desastres? ¿Qué sucede con aquellos lugares donde sus habitantes presentan pobreza energética y la falta de accesibilidad a servicios? Es otra reflexión a considerar para las zonas rurales, estudios de la población que consideren todas estas condicionantes y factores de vulnerabilidad, para así realizar un estudio más integral de riesgos.

A escala espacio-temporal es necesario abordar todas estas amenazas climáticas a un nivel más específico por cada una, ya que en este estudio más bien se engloban a carácter general, esto, para poder realizar un aporte a nivel comunal y se tomen medidas al respecto por las amenazas climáticas determinadas

Conclusión

La Ley 21.455 significa un aporte dentro de la política climática en Chile para su respectivo avance para una mayor resiliencia ante el cambio climático. Sin embargo, no es posible su efectividad si no hay una mayor disponibilidad y transparencia de datos específicos, por lo que es fundamental investigar para que aquellas comunas más aisladas, y que también sufren las consecuencias y efectos de las amenazas climáticas, posean estudios idóneos.

Respecto al análisis de todos los resultados en conjunto se puede afirmar que las principales amenazas latentes de Pichilemu son los incendios forestales, las inundaciones y la erosión costera.

La amenaza por incendios forestales se relaciona con el uso de suelo en la comuna ya que solo el 3% del uso de suelo en Pichilemu corresponde a bosque nativo mientras que el 55% representa plantaciones forestales que en su mayoría contienen especies exóticas como *Eucalyptus L'Hér* y *Pino radiata* cuya composición contiene material combustible cuya resina aumenta la exposición a incendios forestales. Cabe mencionar que el hecho de que la única compañía de bomberos para una comuna de 749,1 km² es algo que puede obstaculizar la emergencia de estos desastres, que además se suelen dar en áreas rurales lejanas a la zona urbana que se emplaza el cuerpo de bomberos.

Mientras que la amenaza de sequía posee una frecuencia de 21,8 – 26,7 % en la actualidad, se prevé que esta aumentaría al doble (aproximadamente 50%) en el futuro para los años 2040-2060. Esta amenaza está también latente a nivel regional de manera uniforme. Por otro lado, las olas de calor mayor a 25°C no frecuentan una ocurrencia mayor a 8,6-22,1 días. Se recalca la necesidad de realizar un estudio más profundo respecto a esta amenaza.

La erosión costera en la Playa Central y Punta de Lobos resulta preocupante. La erosión en las playas puede variar significativamente según las características geográficas y las condiciones ambientales, ya sea por la refracción del oleaje, las características geomorfológicas ya sea un acantilado o roquerío, la geometría de la costa y las corrientes litorales. Es importante aplicar tecnologías avanzadas, además de la disposición a una planificación urbana y zonificación que restrinjan la construcción en áreas vulnerables a la erosión, y además así, protegiendo y restaurando el ecosistema costero, dunar y de avifauna que habita en este.

La amenaza de inundación se destaca por una gran influencia de las precipitaciones y la evidencia de que el fenómeno de El Niño presente en el año 2023 así como la variabilidad climática que afectaron a las localidades rurales y parte de la zona urbana en particular demuestra que es necesaria una preparación para una mayor resiliencia ante esta amenaza. Respecto a la infraestructura crítica que se cruza con áreas susceptibles a inundación, se puede concluir que varios establecimientos de salud y educacionales, y además la compañía de bomberos de Pichilemu se emplazan en áreas susceptibles a inundaciones.

En el sector urbano de Pichilemu hay un 55,9% de población expuesta a inundaciones. Este nivel de exposición a inundaciones subraya la necesidad de estrategias de mitigación y adaptación específicas para estas áreas vulnerables. A nivel rural, distintas viviendas se sitúan en subcuencas que claramente se exponen ante inundaciones, así mismo, se ha de considerar el porcentaje de personas mayores a 65 años que habitan en zona rural y además se sitúan en la cuenca del Estero Nilahue, lo que incrementa aún más su exposición al ser también más vulnerables.

Las 21 manzanas urbanas con un porcentaje alto de población mayor de 65 años ($\geq 47,6\%$) representan focos críticos de exposición, habiendo 827 personas mayor a 65 años ubicadas en áreas susceptibles a inundación en manzanas urbanas en la comuna de Pichilemu. A nivel rural, se toma más en consideración a las personas mayores a 65 años que habitan alrededor del estero Nilahue, que son aproximadamente 183, más no son la suma total de gente expuesta. Mientras que, para la población menor a 5 años, el 72,12% de la población menor a 5 años se ubica en áreas susceptibles a inundaciones en manzanas urbanas en la comuna de Pichilemu, de 538 en total. Por otro lado, en tres entidades rurales la población menor de 5 años es igual o superior a 39 personas, de un total de 211 habitantes en esas entidades. Este grupo representa, como máximo, el 16,6% de la población total en esas tres entidades rurales. Si bien existe un mayor porcentaje de exposición ya que hay más cantidad de población a nivel urbano, a nivel rural se debe considerar la falta de datos o clasificados como “Indeterminados” para poder realizar los cálculos adecuados, cuya inexactitud por parte de los datos proporcionados por el Censo del 2017 dificulta la tarea de hacer una estimación a nivel comunal.

Al final, esto solo refuerza que al final, la capacidad de hacer frente a una catástrofe es crucial, y aunque se reconoce que tanto los jóvenes como los ancianos suelen ser los más vulnerables, cada desastre presenta sus propias características (Ruiz & Grimalt, 2012).

603 personas en manzanas urbanas en la comuna de Pichilemu están expuestas a inundaciones bajo la condición de viviendas cuya materialidad es irrecuperable. Dicha vulnerabilidad expresa hogares principales de residentes en viviendas consideradas como irrecuperables según índice de calidad global de la vivienda. En lo que respecta al déficit habitacional, según la Ilustre Municipalidad de Pichilemu (2017) hay un total de 380 requerimientos para nueva vivienda a nivel comunal, y a urbano 261 en total, por lo que se requiere indagar más respecto valores cuantitativos para así reforzar el desarrollo de viviendas sostenibles y resilientes.

La última cartografía representa la percepción social del riesgo, resulta interesante ver que la población destaca Cahuil y varios humedales y cuerpos de agua presentes, si bien éste estudio no es de percepción del riesgo como tal, dicha percepción de los habitantes coincide a la vez con el área en que se determinaron las amenazas climáticas. El enfoque de riesgo como fenómeno multidimensional permite reconocer daños percibidos por las poblaciones que difieren de las pérdidas y /o daños focalizados por los modelos del desarrollo, los cuales pueden ser entendidos como pérdidas de otros tipos, tienen relación con elementos del contexto sociocultural y adquieren significación a través del habitar.

En conclusión, el cambio climático no solo plantea desafíos ambientales y sociales inminentes, sino que también requiere una transformación profunda en la forma en que abordamos la toma de decisiones a nivel global, nacional y local. La gobernanza climática multinivel emerge como un elemento clave para coordinar los esfuerzos de gobiernos, organizaciones internacionales, sector privado y la sociedad civil en la mitigación y adaptación al cambio climático, sólo a través de un esfuerzo conjunto y una gobernanza climática efectiva podremos enfrentar los desafíos del cambio climático y construir un futuro sostenible y resiliente para las generaciones venideras, en sí, es un trabajo de todos construir ciudades resilientes ante el cambio climático.

BIBLIOGRAFÍA

Actualidad Jurídica. (20 de abril de 2022). La Región de O'Higgins es declarada zona de escasez hídrica. Obtenido de Actualidad Jurídica: <https://actualidadjuridica.doe.cl/la-region-de-ohiggins-es-declarada-zona-de-escasez-hidrica/>

ArClim. (s.f). Recursos Hídricos. Obtenido de https://arclim.mma.gob.cl/atlas/view/sequias_hidrologicas/

Araya, C. (28 de enero de 2023). Qué es la erosión costera. Obtenido de MALAESPINA: <https://www.malaespinacheck.cl/ciencia-y-salud/2023/01/28/que-es-la-erosion-costera/>

Brun, P., Leiersohn, S., Velásquez, P., Vásquez, A., & Giannotti, E. (2017). Plan de Infraestructura Verde: Quebradas en Red, corredores de paisaje campo-mar. Pichilemu.

Billi, M., González, K., Ibarra, C., Mailet, A., O'Ryan, R. y Sapiains, R. (2021). ¿Qué es la gobernanza climática? [Cápsula climática] Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2) (ANID/FONDAP/15110009). Obtenido de : <https://www.cr2.cl/capsula-climatica-que-es-la-gobernanza-climatica/>

Centro de la Ciencia del Clima y la Resiliencia. (16 de marzo de 2021). Center for Climate and Resilience Research (CR2). Obtenido de Cápsula climática: ¿Qué es la gobernanza climática?: <https://www.cr2.cl/capsula-climatica-que-es-la-gobernanza-climatica/>

Comité Regional de Cambio Climático. (2023). PLAN DE ACCIÓN REGIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO. O'HIGGINS. Obtenido de https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2023/10/PARCC_OHiggins-25-08-2023.pdf

Cooperativa. (2022). Declaran alerta roja para Pumanque, Pichilemu y Paredones por incendio forestal. Cooperativa.cl. Obtenido de <https://cooperativa.cl/noticias/pais/region-de-ohiggins/declaran-alerta-roja-para-pumanque-pichilemu-y-paredones-por-incendio/2022-12-29/141446.html>

Corporación Nacional Forestal. (2011). Manual con Medidas para la Prevención de Incendios Forestales. Región Metropolitana. Obtenido de https://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1367248086manual_RMbaja.pdf

Dirección Meteorológica de Chile. (2018). REPORTE ANUAL DE LA EVOLUCIÓN DEL CLIMA EN CHILE. Obtenido de <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/06/Reporte2017-edJunio2018.pdf>

FAO. (2010). Gestión del riesgo de sequía y otros eventos climáticos extremos en Chile 2011. CSIRO. Obtenido de <https://research.csiro.au/gestionrapel/wp-content/uploads/sites/79/2016/12/Gesti%C3%B3n-del-riesgo-de-sequ%C3%ADa-y-otros-eventos-clim%C3%A1ticos-extremos-en-Chile-2011.pdf>

Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. (2020). ¿Qué es la gobernanza climática? Panamá. Obtenido de <https://www.unicef.org/lac/sites/unicef.org.lac/files/2021-07/gobernanza-climatica.pdf>

García, B. (2007). Riesgos Naturales en el Área Urbana y de Expansión de la comuna de Pichilemu, VI Región del Libertador Bernardo O'Higgins.

Garreaud, R. (27 de junio de 2023). Análisis (CR)2 | Vuelven los gigantes: un análisis preliminar de la tormenta ocurrida entre el 21 y 26 de junio de 2023 en Chile central. Obtenido de Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia CR2: <https://www.cr2.cl/analisis-cr2-vuelven-los-gigantes-un-analisis-preliminar-de-la-tormenta-ocurrida-entre-el-21-y-26-de-junio-de-2023-en-chile-central/>

Gobierno de Chile. (2022). Por primera vez en Chile, la energía solar y eólica superan al carbón en la generación de electricidad. Obtenido de <https://www.gob.cl/noticias/historico-por-primera-vez-en-chile-la-energia-solar-y-eolica-superan-al-carbon-en-la-generacion-de-electricidad/>

González, M., Sapiains, R., Gómez-González, S., Garreaud, R., Miranda, A., Galleguillos, M., . . . Rondanelli, J. (2020). Incendios en Chile: causas, impactos y resiliencia. Universidad de Chile, Universidad de Concepción y Universidad Austral de Chile.: Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2. Obtenido de <https://www.cr2.cl/wp-content/uploads/2020/01/Informe-CR2-IncendiosforestalesenChile.pdf>

Hernández, B. (2002). El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y los frentes fríos que arriban a la región occidental cubana. La Habana: Investigaciones Marinas. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-71782002000200001>

Hevia, L. (2021). ANÁLISIS DE LA INCORPORACIÓN DE VARIABLE DISCAPACIDAD PARA LA MEJORA DE LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES POR TSUNAMI EN LA CIUDAD DE ARICA, REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA, CHILE . Santiago. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/180765/analisis-incorporacion-variable-dis-capacidad-para-mejora.pdf?sequence=1>

Ibarra Cofré, I. E. (2013). Geomorfología aplicada en la evaluación y análisis de amenazas naturales en la zona sur de la comuna de Pichilemu: Sectores de Punta de Lobos-Cáhuil-Estero Nilahue. VI Región, Chile [Memoria de título, Universidad de Chile]. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Escuela de Geografía.

Ilustre Municipalidad de Pichilemu. (2021). Plan de Desarrollo Comunal (PLADECO). Pichilemu. Obtenido de <https://www.pichilemu.cl/wp-content/uploads/2021/04/PLADECO-2021-2026.pdf>

Institute For Catastrophic Loss Reduction. (s.f.). Focus on Types of flooding. Obtenido de https://www.iclr.org/wp-content/uploads/2021/04/ICLR_Flooding_2021.pdf

Instituto Nacional de Estadísticas. (2017). Censo Nacional.

Instituto Nacional de Estadísticas. (2017). Datos Geográficos INE. INE. https://geoine-ine-chile.opendata.arcgis.com/datasets/54e0c40680054efaabeb9d53b09e1e7a_0/explore?location=-36.566386%2C-88.515863%2C4.26&showTable=true

IPCC. (2014). AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014. Obtenido de <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>

IPCC. (2022). AR6 Sixth Assessment Report. Obtenido de <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>

IPCC. (2023). AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023. Obtenido de <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>

IPCC. (2021). Resumen para responsables de políticas. En IPCC AR6 Informe del Grupo de Trabajo I: Cambio climático 2021: Las bases físicas [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. IPCC.

Jacques, M. (24 de enero de 2023). Análisis (CR)2 | ¡Ola, calor! Obtenido de Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia: <https://www.cr2.cl/analisis-cr2-ola-calor/>

Jorge León & Patricio Winckler & Magdalena Vicuña & Simón Guzmán & Cristian Larraguibel, 2023. "Assessing the Role of Land-Use Planning in Near Future Climate-Driven Scenarios in Chilean Coastal Cities," Sustainability, MDPI, vol. 15(4), pages 1-21, February.

Keeley, J. E. (2009). Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage. *International Journal of Wildland Fire*, 18(1), 116-126. doi:10.1071/WF07049

Lagos, M., Cisternas, M., & Ely, L. L. (2008). "Terremotos y tsunamis en la historia de Chile: efectos en el paisaje costero". En *Revista Chilena de Historia Natural*.

Lavell, A. (1993). Sobre la Gestión del Riesgo: Apuntes hacia una Definición. Obtenido de <http://cidbimena.desastres.hn/pdf/spa/doc15036/doc15036-contenido.pdf>

Loayza, L. (2022). La paradoja de la Neorruralidad en Pichilemu: Deterioro medioambiental por urbanización no planificada en los sectores rurales de Punta de Lobos y El Pangal. Instituto de Estudios Urbanos y Territoriales. Pontificia Universidad Católica de Chile.

Lorca, J. (2013). Riesgos y desarrollo en la zona costera de la comuna de Pichilemu, VI región del Libertador General Bernardo O'Higgins. Santiago, Chile: Memoria (geógrafo). Universidad de Chile.

Ministerio de Desarrollo Social. (2016, septiembre). Presentación ante la Comisión de Desarrollo Social, Superación de la Pobreza y Planificación (N.o 1). Gobierno de Chile. <https://www.camara.cl/pdf.aspx?prmID=82709&prmTIPO=DOCUMENTOCOMISION>

Ministerio de Energía de Chile. (2017). Energía 2050 - Política Energética de Chile. Obtenido de https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/energia_2050_-_politica_energetica_de_chile.pdf

Ministerio del Medio Ambiente. (2019). Determinación del riesgo de los impactos del cambio climático en las costas de Chile. Obtenido de <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/04/2019-10-22-Informe-V02-CCCostas-Exposicio%CC%81n-Rev1.pdf>

Ministerio de Medio Ambiente. (2022). LEY 21455: LEY MARCO DE CAMBIO CLIMÁTICO. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Obtenido de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1177286>

Ministerio del Medio Ambiente. (2014). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (versión final). Obtenido de <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2016/02/Plan-Nacional-Adaptacion-Cambio-Climatico-version-final.pdf>

Ministerio del Medio Ambiente. (2017). Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022. Obtenido de <https://estrategia-aves.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2023/03/MMA-2017-Plan-de-Accion-Nacional-de-Cambio-Climatico-2017-2022.pdf>

Ministerio del Interior y Seguridad Pública. (2021). *Ley N° 21364, que establece el Sistema Nacional de Prevención y Respuesta Ante Desastres, sustituye la Oficina Nacional de Emergencia por el Servicio Nacional de Prevención y Respuesta Ante Desastres, y adecúa normas que indica.* Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1163423>

Ministerio del Interior y Seguridad Pública. (2023). *Decreto Supremo N°86, del 17 de octubre de 2023.* Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres (SENAPRED). https://web.senapred.cl/wp-content/uploads/2024/02/Decreto-86_17-OCT-2023.pdf

Municipalidad de Pichilemu. (2024). *Modificación sustancial del Plan Regulador Comunal de Pichilemu* (Informe I). https://pichilemu.cl/archivos/MOD_PRC_SUSTANCIAL_I_MARZO_2024.pdf

Odonohue, D. (20 de septiembre de 2023). Topographic Wetness Index in ArcGIS Pro. Obtenido de MapScaping: <https://mapscaping.com/topographic-wetness-index-in-arcgis-pro/>

Office for Outer Space Affairs. (s.f). Índice Normalizado de Área Quemada (NBR). From United Nations: <https://un-spider.org/es/node/10959>

Organización de Las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2010). GESTIÓN DEL RIESGO DE SEQUÍA Y OTROS EVENTOS CLIMÁTICOS EN CHILE. Santiago. Obtenido de <https://www.fao.org/3/as447s/as447s.pdf>

Organización Mundial de la Salud. (2018). Directrices de la OMS sobre vivienda y salud: resumen de orientación.

<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/279743/WHO-CED-PHE-18.10-spa.pdf>

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2023). ¿Cómo elaborar un Plan de Acción Comunal de Cambio Climático? Guía metodológica para su formulación paso a paso. Santiago de Chile: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Obtenido de <https://educacion.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2023/06/Guia-PACCC.pdf>

Rangel-Buitrago, N., Anfuso, G., & Williams, A. (2015). Coastal erosion problems along the Caribbean Coast of Colombia. *El Sevier*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0964569115001775?via%3Dihub>

Reyes, F. (2023, 22 agosto). Sistema frontal en O'Higgins: 763 damnificados, 312 aislados y 279 viviendas afectadas. *BioBioChile - la Red de Prensa Más Grande de Chile*. Obtenido de <https://www.biobiochile.cl/noticias/nacional/region-de-ohiggins/2023/08/22/sistema-frontal-en-ohiggins-763-damnificados-312-aislados-y-279-viviendas-afectadas.shtml>

Rojas, O. (2015). Cambios ambientales y dinámica de inundaciones fluviales en una cuenca costera del centro sur de Chile. Obtenido de <http://repositorio.udec.cl/handle/11594/1773>

Rojas, O., Mardones, M., Arumí, J., & Aguayo, M. (2014). Una revisión de inundaciones fluviales en Chile, período 1574-2012: causas, recurrencia y efectos geográficos. *Revista de geografía Norte Grande*. doi:<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022014000100012>

Saldías, W. (2024, 6 febrero). 70 viviendas fueron destruidas por incendios forestales en la región. Obtenido de <https://www.pichilemunews.cl/index.php/all-categories-list/noticias/70-viviendas-fueron-destruidas-por-incendios-forestales-en-la-region>

Soto, M. V., Sarricolea, P., Sepúlveda, S. A., Rodolfi, G., Cabello, M., & Maerker, M. (2017). Assessment of hydro-geomorphological hazard potentials in the Chilean semiarid coastal range and its impacts on La Serena city, Coquimbo Region. *Natural Hazards*, 88, 431-452.

United Nations Human Settlements Programme. (2014). PLANNING FOR CLIMATE CHANGE. *ecoplan international inc.* Obtenido de <https://unhabitat.org/sites/default/files/download-manager-files/Planning%20for%20Climate%20Change.pdf>

Vilchez, N. (27 de agosto de 2019). Sequía: La difícil situación del secano costero en palabras de los alcaldes. Obtenido de *El Tipógrafo*: <https://eltipografo.cl/2019/08/sequia-la-dificil-situacion-del-secano-costero-en-palabras-de-los-alcaldes>

ANEXOS

Anexo 1. Inundaciones en Plaza Prat, Pichilemu, Cardenal Caro, región de O'Higgins.



Fuente: Obtenido de Rodríguez en publimetro, 2023.

Anexo 2. Inundaciones en estero Cáhuil, Pichilemu, Cardenal Caro, región de O'Higgins.



Fuente: Obtenido de "El Expreso de la Costa", 2022.

Metodología práctica elaboración cartografía de incendios forestales (dNBR)

Primero, se parte escogiendo una fecha determinada y se descargan imágenes satelitales Landsat- Sentinel 2 en la plataforma “EO BROWSER” de meses antes y después del incendio, por ejemplo, del mes de diciembre antes de marzo, y posterior al incendio, o sea, marzo, como un intervalo de tiempo en donde se incrementan los incendios forestales.

Las bandas que se utilizarán para calcular la relación de combustión normalizada (NBR) son el infrarrojo cercano (NIR) y el infrarrojo de onda corta (SWIR), que corresponden a la banda 8A y la banda 12, respectivamente. Las imágenes que se observan por cada banda son monocromáticas. En Arcgis Pro se usa la herramienta “Ráster Calculator” de ArcToolbox utilizando la siguiente ecuación:

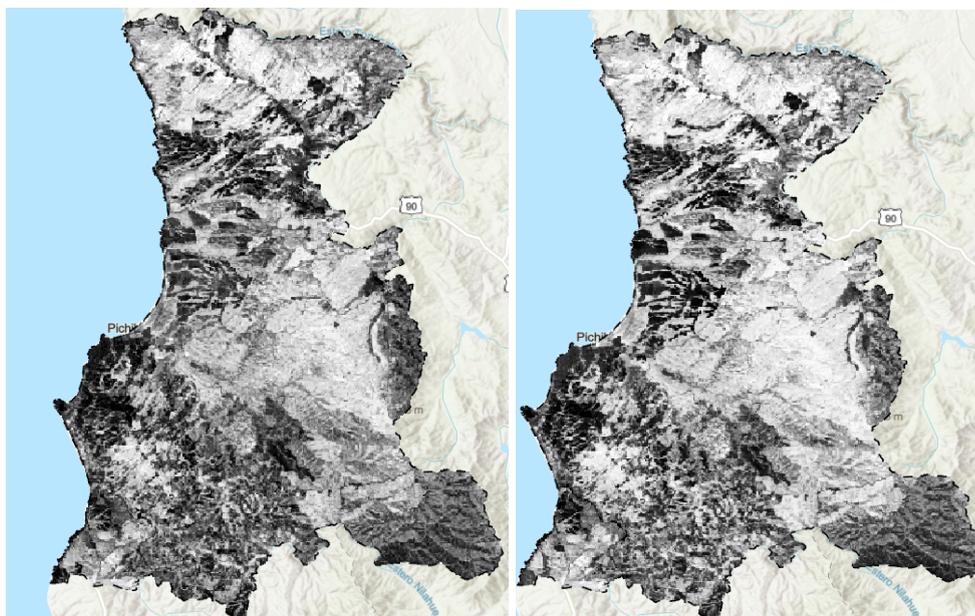
$$NBR = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$$
$$NBR = (B8A - B12) / (B8A + B12)$$

Posteriormente se calcula el índice de la severidad o ΔNBR entre las imágenes 1 correspondientes al evento Pre-incendio y Post-Incendio, de la misma forma se procede para las Imágenes 2 (Pre y Post Incendio) para el año 2019, y para los demás años, 2020, 2021 y 2023. Utilizando la siguiente ecuación:

$$\Delta NBR = (NBR \text{ pre-fuego Pichilemu}) - (NBR \text{ post-fuego Pichilemu})$$

El índice NBR muestra una relación de valores comprendidos entre -1 y 1, en ArcMap se realiza un mosaico con las 2 imágenes correspondientes al ΔNBR antes y ΔNBR después. Para tener el resultado final que es la diferencia entre estos dos.

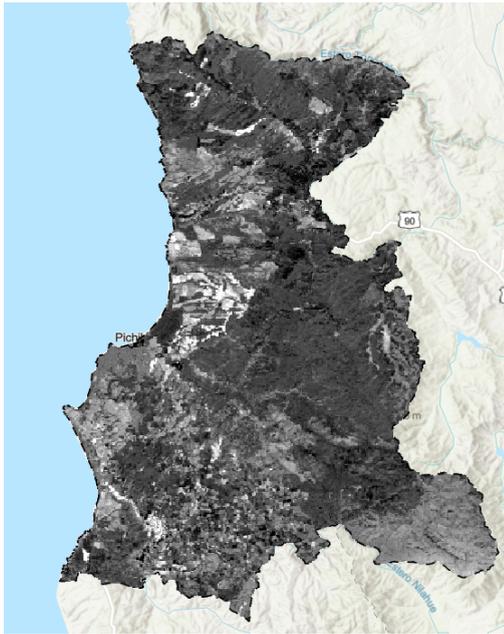
Anexo 3. Índice NBR antes de incendios.



Anexo 4. Índice NBR después de incendios

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Diferencia entre índices de NBR antes y NBR después.



Fuente: Elaboración propia, 2023.

Posteriormente se representan en el NBR rangos numéricos a través de los cuales es posible determinar la severidad causada por el incendio. Estos valores son suministrados por la USGS.

Tabla de Valores de la USGS para valores de entre -1 y 1 para el Índice NBR

< -0,25	Alto crecimiento de vegetación posterior al fuego
-0,25 - -0,1	Bajo crecimiento de vegetación posterior al fuego
-0,1 - 0,1	Zonas estables sin quemar
0,1 - 0,27	Zonas quemadas con gravedad baja
0,27 - 0,44	Zonas quemadas con gravedad moderada baja
0,44 - 0,66	Zonas quemadas con gravedad moderada alta
> 0,66	Zonas quemadas con gravedad alta

Fuente: Elaboración propia en base a datos USGS, 2023.

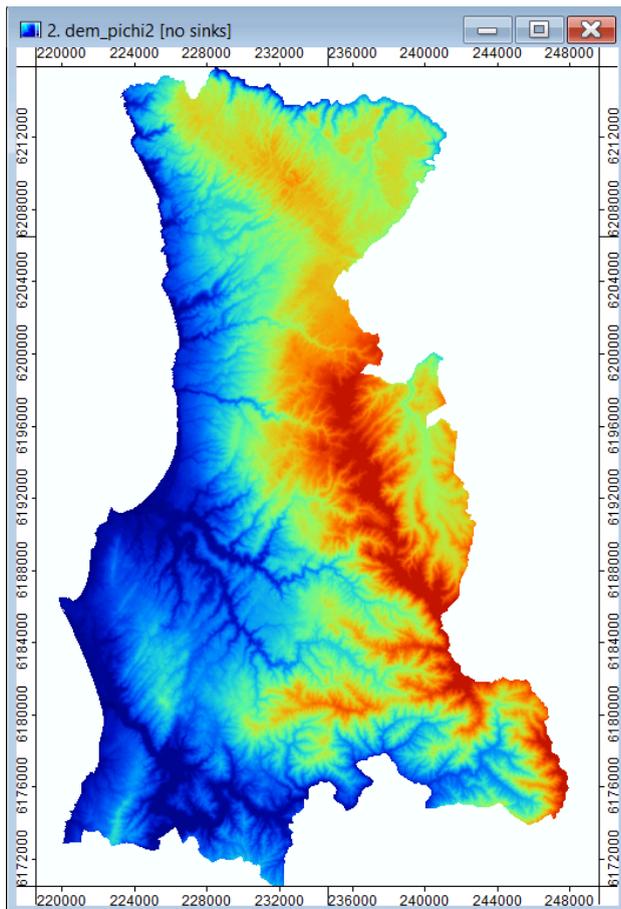
Al realizar el Mosaico de imágenes correspondiente al área de interés y con los valores obtenidos del Mapa Monocromático resultado del Δ NBR, se realiza el uso de la herramienta de análisis espacial "Reclassify" en Arcgis Pro. Según González (2020, p.12) "la clasificación digital de imágenes satelitales usa información espectral representada por los niveles digitales en una o más bandas espectrales e intenta clasificar cada píxel individual basado en esta información espectral, este tipo de clasificación se denomina reconocimiento espectral de patrones". Posterior a esto, se clasifica en siete (7) tipos de coberturas correspondiente a las zonas quemadas con gravedad alta, con "severidad moderada alta", "severidad moderada baja", "severidad baja", "zonas sin quemar", "bajo crecimiento de vegetación post fuego" y "alto crecimiento de vegetación post fuego", según

la tabla de valores de la USGS para el índice NBR. Finalmente, se asignan estos valores cualitativos y se establece una gama de colores para cada uno.

Metodología práctica elaboración cartografía de inundaciones (TWI)

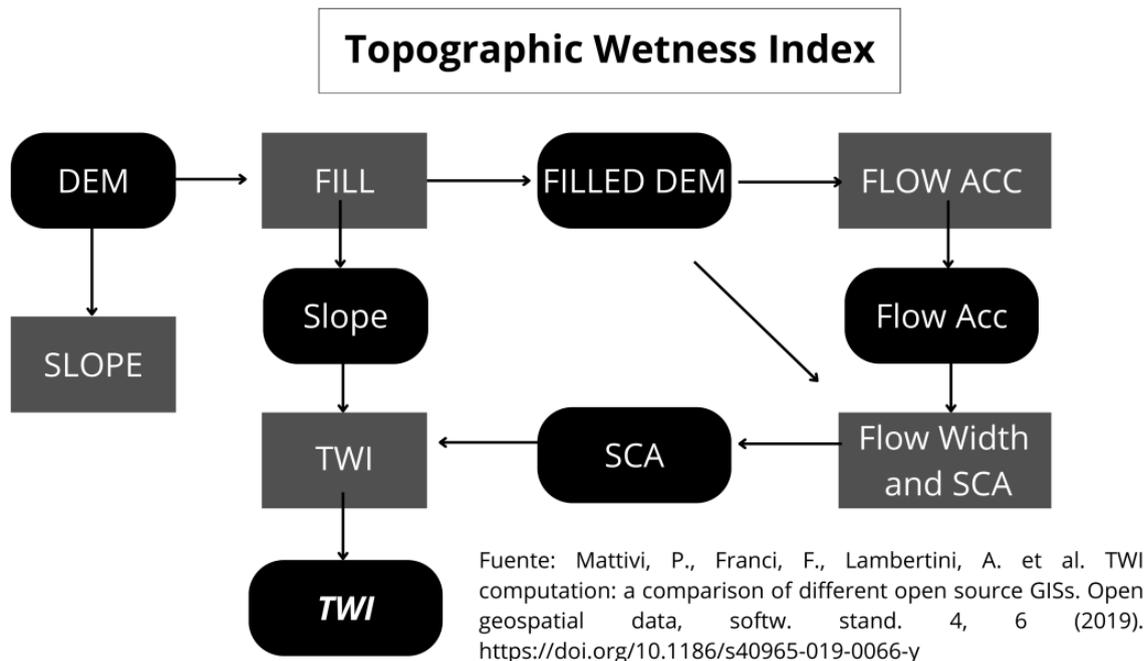
Primero se descarga un DEM de fuente DEM ALOS PALSAR en Earthdata Search – NASA para cargarlo a Arcgis Pro. Un DEM es una representación ráster de la superficie continua y normalmente hace referencia a la superficie de la Tierra (esri, s.f). La precisión de estos datos se determina principalmente por la resolución (la distancia entre los puntos de muestra) (esri, s.f).

Modelo de Elevación Digital de Pichilemu



Posteriormente se pasa a SAGAGIS “Geoprocessing” □ “Terrain Analsys” □ “Preprocessing” □ “Fill Sinks (Wang Liu)” para rellenar “pozos”, se selecciona el conjunto de datos y se selecciona el DEM que se ha cargado previamente, se crea un “Filled DEM” y “Flor Directions” para calcular la capa de direcciones de flujo y zonas basadas en las unidades hidrográficas “Watershed Basins”.

Mapa conceptual de pasos a seguir para obtener índice TWI



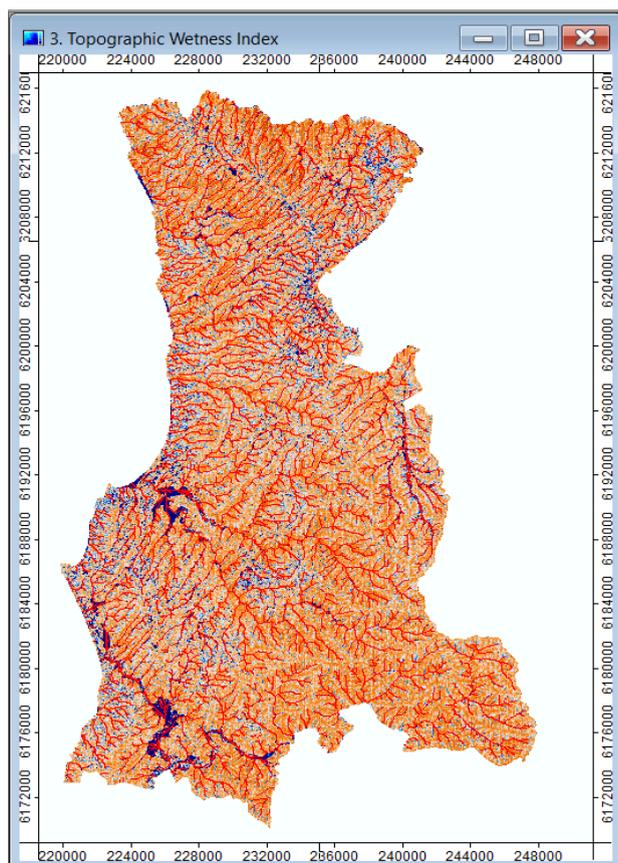
Se calcula la acumulación de flujo en “Geoprocessing” □ “Terrain Analysis” □ “Hydrology” □ “Flow Accumulation” mediante la metodología Top Down □ “Flow Accumulation (Top-Down). En “Elevation” se pone el DEM, y se crea el ráster de flujo de acumulación con el método “Multiple Flow Direction” y por el área de cada píxel “cell area”.

El siguiente paso es calcular el “SCA” que es el área de captación específica, para eso se necesita la acumulación de flujo y el modelo de elevación digital corregido, se va a “Geoprocessing” □ “Terrain Analysis” □ “Hydrology” □ “Flow Width and Specific Catchment Area”, en “Elevation” se pone el DEM corregido, en “Total Catchment Area” se coloca la acumulación de flujo ya lista “Flow Accumulation” con el método “Multiple Flow Direction”, así se crea el SCA.

Una vez creada el área de captación específica se calcula la pendiente del terreno en radianes, “Geoprocessing” □ “Terrain Analysis” □ “Morphometry” □ “Slope, Aspect, Curvature”, en “Elevation” se calcula con el DEM original y no el corregido, se crea el “slope” y “aspect” para sacar la pendiente, en la metodología se aplica “least squares fitted plane (Horn 1981)” y de unidad “radianes”.

Ahora listos los parámetros de área de captación específica y la pendiente se aplica el paso final para el TWI, “Geoprocessing” □ “Terrain Analysis” □ “Topographic Indices” □ “Topographic Wetness Index (TWI)”, en donde pide el ráster de la pendiente, el catchment área que es el área de captación específica, y el método “Standard” se crea el TWI.

Resultado índice TWI de Pichilemu



Fuente: Elaboración propia en software SAGAGIS, 2023.

Las zonas azules el índice es mayor y representaría a zonas más susceptibles a saturación en caso de escorrentía como análisis de susceptibilidad a inundaciones. Posteriormente, se guarda para pasarlo a Arcgis Pro y se establece un cuantil de 5 valores para este, se establece una gama de colores de rojo-naranja-amarillo-verde-azul en donde los últimos tres colores presentan una mayor humedad y, por ende, se establecen las áreas susceptibles a inundaciones en base a estos valores y a la topografía. Cabe mencionar que para esta delimitación no sólo se basó en los valores entregados por el índice, sino también en base a la topografía e hidrografía de la comuna.

Por último, la Municipalidad de Pichilemu encuestó algunas viviendas afectadas tras las fuertes precipitaciones de agosto 2023, en donde se registraron puntos críticos desde la categorización de “No afectada”, “Poco afectada”, “Medianamente afectada”, “Muy afectada” y “Destruída”. Tal información se proporcionó para realizar un análisis respecto a la susceptibilidad de inundaciones, índice de humedad y el estado de cada vivienda haya sido afectada o no.

Metodología práctica elaboración cartografía de erosión costera (LRR)

Se determinan mediante los siguientes métodos:

- EPR End Point Rate
- LRR Linear Regression Rate

Primero, se determinan las líneas de costa para la playa central de Pichilemu para los años 2004, 2007, 2010, 2013, 2017, 2019, 2021 y 2023. Para esto, en Google Earth Pro mediante las imágenes satelitales presentes para cada año se determina cada línea de costa como “ruta” guardando sus fechas específicas. Guardándose en formato “KMZ”.

En ArcMap 10.6.1 se define la proyección al Layer (Layer Properties Coordinate System “WGS 1984 UTM Zone 19S”). Se convierte de “KMZ” a “Layer” (ArcGIS → ArcToolbox → Conversion Tools → from KML → KML to Layer).

Posteriormente se crea una nueva Geodatabase (Catalog→ DSAS Pichilemu (carpeta en la que se está trabajando en ArcGIS) → New → Personal Geodatabase. En la geodatabase se deben crear dos archivos necesarios para trabajar con DSAS (líneas de costa y línea base) (Geodatabase → New→ Feature Class (2)). Primer Feature Class “línea_base”, se debe proyectar en la misma fuente de proyección que del Layer (WGS 1984 UTM Zone 19S) y lo mismo para “línea_costa”.

Una vez creados los archivos necesarios se comenzará a trabajar con la extensión DSAS v 5.1 compatible con ArcMap 10.6.1. Primero se utilizará la herramienta “attribute automator” con la cual se crean los campos obligatorios para las capas “línea_base” y “línea_costa”. Se agregan las casillas obligatorias (Attribute automator Add Fields en ambos layers).

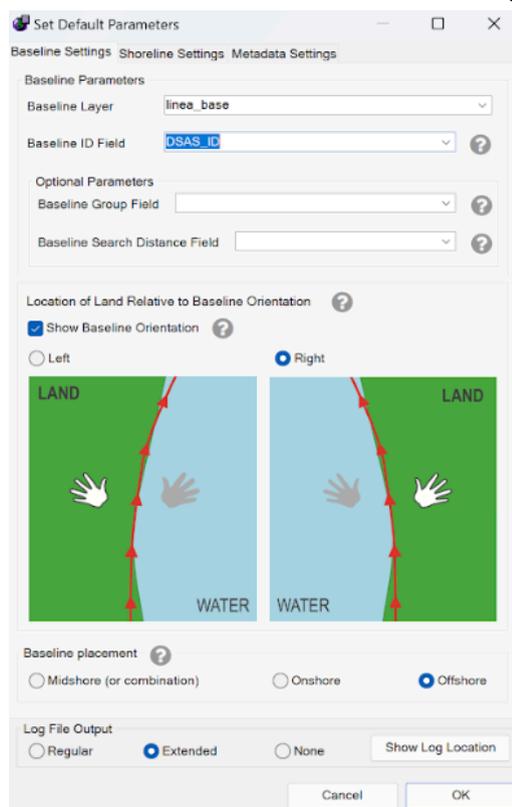
Los archivos ya cuentan con los campos en la tabla de atributos. Posteriormente, se copian las “líneas de costa Pichilemu” al archivo “línea_costa” de la geodatabase. Para esto se debe activar el editor y seleccionar las líneas (edit → copy edit→ paste→ “línea_costa”).

Teniendo los archivos con la información y los campos creados se rellena la tabla de atributos con la fecha de cada línea de costa (la misma configuración de fecha que tenga el pc, en este caso dd/mm/aaaa). El valor de incertidumbre (DSAS_uncy) queda nulo.

Se dibuja la línea base (offshore) (editor→ create features→línea_base→ line). En la tabla de atributos se debe rellena la columna “DSAS_id” según los números de líneas base que hayan creado, para este ejemplo solo fue una. Se guardan los cambios en el editor.

Comienza la generación de transectos, para esto se debe ir a la herramienta “set default parameters” en DSAS, donde se deben rellena las 3 pestañas que aparecen “baseline settings”, “shoreline settings” y “metadata settings” y se configura de la siguiente manera:

“Set Default Parameters □ Baseline Settings” de DSAS v.5.1



Fuente: Extraído de ArcMap 10.6.1, 2023.

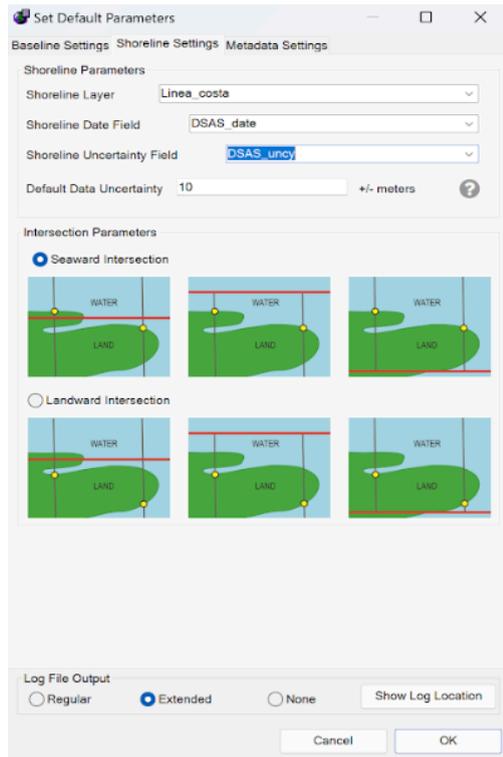
Las secciones “baseline Placement” y “baseline orientation” dependen de la ubicación que le dieron a la línea de base respecto a la tierra. En este ejemplo la línea de base está mar adentro (offshore) y la tierra se encuentra a la derecha de la línea de base.

La línea de base se utiliza como referencia para orientar la tierra y el agua. Esto es muy importante para asignar el signo adecuado (positivo o negativo) a los cálculos de tasas. Para marcar la orientación correcta de la tierra respecto a la línea de base, el usuario se debe imaginar parado en la línea de base mirando en la dirección que señalan las flechas. Seleccione la derecha o izquierda según a qué lado esté la tierra (ej. seleccione la derecha si la tierra está a su derecha). Incluso si la línea de base se dibuja completamente en tierra, seguirá habiendo una dirección hacia tierra, por lo tanto, es aquella que se debe seleccionar. Los transectos seguirán una regla de mano izquierda o derecha para informar correctamente los resultados que indican valores negativos como erosión y valores positivos como acreción.

Después de eso, en la sección “Intersection Parameters” se refiere a que si un transecto cruza la misma línea de costa más de una vez este parámetro determina que intersección usará, si aquella que está hacia el mar o hacia la tierra.

Se elige la opción hacia el mar “Seaward Intersection” en donde DSAS usará la intersección más alejada de la tierra cuando un transecto cruce la misma línea de costa más de una vez. Mientras que, si se eligiera hacia tierra “Landward Intersection”, DSAS usará la intersección que está más hacia tierra.

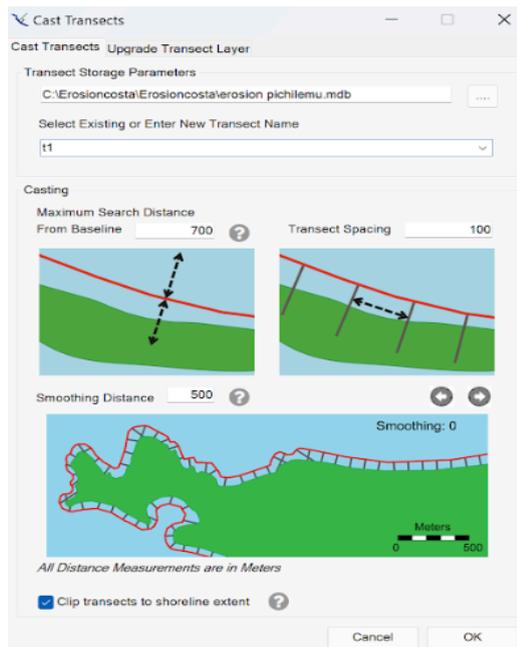
“Set Default Parameters □ Shoreline Settings” de DSAS v.5.1



Fuente: Extraído de ArcMap 10.6.1, 2023.

En la herramienta “Cast Transects” de DSAS se escogen los parámetros de los transectos. Primero se selecciona la geodatabase creada anteriormente, se selecciona un nombre para los transectos (“t1”) y se debe determinar la distancia de búsqueda máxima desde la línea base, el espacio entre transectos y la distancia de suavizado.

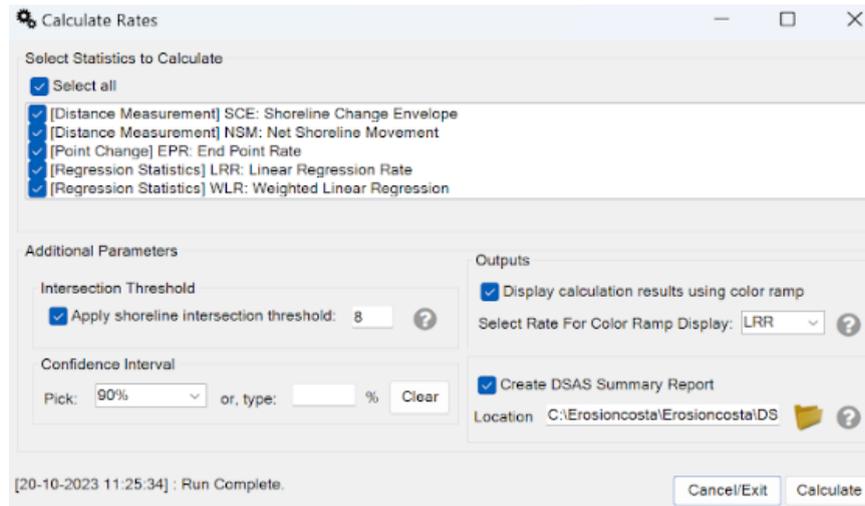
“Cast Transects” de DSAS v.5.1



Fuente: Extraído de ArcMap 10.6.1, 2023.

Con la herramienta “Calculate Rates” se pueden calcular las diferentes tasas de cambio de líneas de costa que pone a disposición DSAS. Para esto se debe tener seleccionada la capa de transectos que se utilizará para generar las estadísticas de cambio. En este caso “t1”. Aparecerán así la lista de análisis estadísticos disponibles, se pueden seleccionar los que se utilizarán o todos. En “Intersection Threshold” se debe señalar el número mínimo de líneas de costa que debe cruzar un transecto para ser incluido en los análisis estadísticos.

“Calculate Rates” de DSAS v.5.1



Fuente: Extraído de ArcMap 10.6.1, 2023.

Una vez especificados los parámetros y salidas, al hacer clic en “Calculate” se inicia el procesamiento de DSAS. Cuando se completa se generan dos nuevas entidades: tasas e intersecciones, que se agregan automáticamente al proyecto.

Finalmente, para visualizar las tasas de cambio solo en las líneas de costa se debe ir a la pestaña “clip rates to SCE” y para ver la nueva capa por categorías se debe volver a la herramienta “Data Visualization” y seleccionar la capa creada en el paso anterior → “Aplicar rampa de color”.

Se realiza el mismo procedimiento anterior, con los mismos años (2004, 2007, 2004, 2007, 2010, 2013, 2017, 2019, 2021 y 2023) en un período de 19 años solo que para la playa de Punta de Lobos.

Metodología práctica elaboración cartografía de dependencia demográfica

La relación de dependencia demográfica total es un indicador demográfico de potencial dependencia económica que mide la población en edades teóricamente inactivas en relación con la población en edades teóricamente activas, independientemente de su situación en la fuerza de trabajo. Su cálculo se realiza sumando la cantidad de personas entre 0 y 14 años con la población de 65 años o más y dividiendo el resultado por la población de 15 a 64 años, todo esto multiplicado por 100 (Instituto Nacional de Estadísticas, 2017).

Se calcula el índice mediante el cociente entre la población mayor a 64 años por cada 100 individuos potencialmente activos, para empezar, se debe agregar un campo en la tabla de atributos denominado "P15A64" con el Type "Long Integer" pero en la tabla de atributos hay valores que son "Indeterminados" lo que no permite trabajar inmediatamente con estos datos en el nuevo campo, entonces, se selecciona por atributos a las personas entre 15 a 64 años (PERSONAS_1 <> "Indeterminado"), ahora, en el nuevo campo "P15A64" se utiliza la herramienta "Field Calculator" y se copian los valores de "PERSONAS_1". Se repite la operación pero para la población mayor a 64 años, por lo que se crea un nuevo campo denominado "P65YMAS" con el Type "Long Integer", se selecciona por atributo (PERSONAS_M <> "Indeterminado") y se calcula en el nuevo campo con la herramienta "Field Calculator" copiando los valores de "PERSONAS_M".

Por último, se crea el campo de "DEPENDENCIA" con el Type "Double" para que genere un valor con decimales, pero antes, se selecciona por atributos ya que hay valores de cero o nulos (P15A64 >0 AND P65YMAS>0), para que varios queden deseleccionados ya que no cumplen la condición de ser mayor a cero, aunque esto reduce el número de manzanas y entidades rurales a trabajar.

Luego se aplica la siguiente fórmula:

$$((P65YMAS / P15A64) * 100) = DEPENDENCIA$$

Para finalizar, fue necesario crear un rango de valores cualitativos mediante criterios que abarquen su clasificación desde baja a muy alta.

Clasificación de rangos cualitativos en relación con la dependencia demográfica de mayores 64 años.

0 a 25	Baja
25,1 a 50	Media
50,1 a 75	Alta
75,1 a 100	Muy Alta.

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Se crea un nuevo campo denominado "DESCRIP" con Type "Text" y se va seleccionando de acuerdo a los valores de la tabla (DEPENDENCIA >25) y en "Field Calculator" se le atribuye el valor de "Baja", se repite el ejercicio para los demás valores (DEPENDENCIA>25 AND DEPENDENCIA<=50) y en "Field Calculator" se coloca "Media", para el siguiente valor es (DEPENDENCIA>50 AND DEPENDENCIA<=70) y en "Field Calculator" se aplica "Alta", por último (DEPENDENCIA>70) en "Field Calculator" se aplica "Muy Alta".

Para su respectiva categorización se aplica una gama de colores en Layer Properties de "Baja" a "Muy Alta".

Tabla de atributos de dependencia demográfica en Pichilemu.

Dependencia demográfica...tidades rurales								
Campo: Agregar Calcular Selección: Seleccionar por atributos Zoom a Cambiar Borrar Eliminar Copiar								
	CODIGO_ENT	NOMBRE_COM	NOMBRE_ENT	CODIGO_CAT	CATEGORIA_	TOTAL_PERS	DEPENDENCI	DESCRIP
29	60	PICHILEMU	CATRIANCA	4	Caserío	36	0	Baja
30	33	PICHILEMU	EL MAQUI	8	Parcela-Hijuela	35	0	Baja
31	61	PICHILEMU	CATRIANCA	9	Parcela de Agrado	32	0	Baja
32	2	PICHILEMU	ALTO COLORADO	7	Fundo-Estancia-Hacienda	32	20	Baja
33	44	PICHILEMU	LA VILLA	4	Caserío	32	0	Baja
34	901	MARCHIHUE	INDETERMINADA	15	Indeterminada	32	30	Media
35	901	PICHILEMU	INDETERMINADA	15	Indeterminada	31	27,272727	Media
36	34	PICHILEMU	EL PUESTO	7	Fundo-Estancia-Hacienda	29	0	Baja
37	60	LITUECHE	TOPOCALMA	7	Fundo-Estancia-Hacienda	28	0	Baja
38	17	PICHILEMU	LOMAS DE PANGAL	8	Parcela-Hijuela	26	0	Baja
39	901	PICHILEMU	INDETERMINADA	15	Indeterminada	26	0	Baja
40	901	PAREONES	INDETERMINADA	15	Indeterminada	231	0	Baja
41	ETR... 73	PICHILEMU	SAN ANTONIO DE PETR...	7	Fundo-Estancia-Hacienda	23	76,923077	Muy alta
42	901	LITUECHE	INDETERMINADA	15	Indeterminada	23	72,727273	Muy alta
43	901	PICHILEMU	INDETERMINADA	15	Indeterminada	229	22,78481	Baja

Metodología práctica elaboración cartografía de vulnerabilidad y exposición

Para empezar a hacer el indicador de vulnerabilidad de materialidad irrecuperable de las viviendas. Se utilizan los datos que proporciona el INE (2017) de su *geo-database* en donde el número de viviendas corresponde a una columna que se llama "VIV_MATE_2" (aunque había varios campos sin información) que se multiplicó por el total de viviendas cuya columna corresponde al nombre de "TOTAL_VIV", para luego proceder al cálculo en Arcgis Pro mediante el cociente:

$$(Número\ de\ viviendas\ con\ materialidad\ irrecuperable / total\ viviendas) * 100$$

Este cálculo se realiza en un nuevo campo creado en la tabla de atributos del shapefile que se estuvo trabajando (MANZAN_ACP_SJ DISS). Para posteriormente espacializar este indicador de materialidad irrecuperable fue necesario crear criterios cualitativos, en donde se categorizan los valores que resultaron del cálculo en rangos propiamente definidos en quintiles desde *muy baja o nula*, *baja*, *media*, *alta*, *muy alta* como se observa en la tabla.

0-5	Muy baja o nula
5-10	Baja
10-16	Media
16-20	Alta
20-60	Muy alta

Fuente: Elaboración propia, 2024.