

AdaptaClim:

Indicadores Climáticos para
la Adaptación en la Región de Coquimbo





¹CEAZA: Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA); UCN: Universidad Católica del Norte; ULS: Universidad de La Serena; MMA: Ministerio de Medio Ambiente de Chile; PNUMA: Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente

El proyecto **AdaptaClim: Indicadores Climáticos para la Adaptación en la Región de Coquimbo** ha sido ejecutado por el Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA), y se enmarca en la Iniciativa para la Construcción de Capacidades en Transparencia en Chile (CBIT) financiada por GEF (Global Environment Facility) e implementada por el PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) y ejecutada a través de su oficina para América Latina y el Caribe. El proyecto **AdaptaClim: Indicadores Climáticos para la Adaptación en la Región de Coquimbo** responde a una solicitud expresa del Ministerio de Medio Ambiente de Chile (MMA).

Equipo de Trabajo¹:

Directora:	Dra. Laura Ramajo (CEAZA)
Experta/os en Amenazas:	Dra. Katerina Goubanova (CEAZA) Dr. Orlando Astudillo (CEAZA) Dr. (C) Limbert Torrez (ULS) Lic. Sebastian Barrera (CEAZA)
Expertos en Biodiversidad:	Dr. Marcelo Rivadeneira (CEAZA) Dr. (C) Jeisson Barraza (ULS)
Expertas en Zona Costera:	MSc. María Valladares (CEAZA) Dra. Maria de los Ángeles Gallardo (UCN) Dra. Laura Ramajo (CEAZA)
Experto/a en Agua y Suelo:	Dr. Enrique Ostría (CEAZA) Lic. Belén Piña (CEAZA)
Expertos en Ciudad e Infraestructura:	Ing. José Luis Ortiz (ULS) Enrique Ostría (CEAZA) Dr. Marcelo Rivadeneira (CEAZA) Dr. (C) Jeisson Barraza (ULS)
Experta en Participación:	Dra. Jacinta Arthur (UCN)
Expertos/as en Difusión y Comunicación:	María Laura Martínez (Periodista) Jorge Ramírez (Productor Audiovisual) Janina Guerrero (Diseñadora, CEAZA) Marcela Zavala (Periodista, CEAZA)
Contraparte Técnica:	
MMA:	Pilar Pérez, Maritza Jadrijevic, Tomás Gómez
PNUMA:	Camilo Prats

Agradecimientos: El equipo *AdaptaClim* agradece a David López (CEAZA), Francisco Meza (INIA Intihuasi), Nicolás Verdugo (INIA Intihuasi), Jorge Inostroza (CEAZA), Paloma Núñez (CEAZA), Renzo Vargas, y a los macheros y las macheras de Caleta San Pedro (La Serena) por todo el apoyo entregado durante el desarrollo del proyecto.

Citar como: Ramajo L., Goubanova, K., Rivadeneira, M., Astudillo, O., Ostría, E., Valladares, M., Ortiz, J.L., Barraza, J., Torrez, L., Barrera, S., Piña, B., Arthur, J., Gallardo, M. de los A., Martínez, M.L., Ramírez, J., Guerrero J., & Zavala, M. (2022). *AdaptaClim: Indicadores Climáticos para la Adaptación en la Región de Coquimbo*. Proyecto ejecutado por el Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA) para el Ministerio de Medio Ambiente de Chile (MMA) a través GEF (Global Environment Facility) y PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente), Coquimbo, Chile. 112 páginas. DOI: 10.6084/m9.figshare.20399202





TABLA DE CONTENIDOS

LISTA DE TABLA Y FIGURAS	5
RESUMEN EJECUTIVO	7
1 Introducción	8
2 Objetivos del estudio	9
3 Estructura del estudio	10
3.1 Actividades generales	10
3.2 Metodologías generales	10
4 Resultados	13
4.1 <i>Revisión y diagnóstico de las cadenas de impacto existentes en ARClím para la Región de Coquimbo y los sectores de interés</i>	13
4.1.1 Sector Agricultura	14
4.1.2 Sector Salud y Bienestar	17
4.1.3 Sector Bosques Nativos y Plantaciones Forestales	23
4.1.4 Sector Infraestructura Costera	25
4.1.5 Sector Recursos Hídricos	27
4.1.6 Sector Turismo	30
4.1.7 Sector Pesca Artesanal	32
4.1.8 Sector Biodiversidad	33
4.1.9 Sector Energía Eléctrica	35
4.2 <i>Estimación de los valores relativos de riesgo climático y de los factores subyacentes</i>	38
4.2.1 Amenazas e Indicadores	38
4.2.2 Riesgos y cadenas de impacto (CDI)	41
4.2.2.1 Biodiversidad	42
4.2.2.2 Ciudad e Infraestructura	63
4.2.2.3 Agua y Suelo	75
4.2.2.4 Zona Costera	84
4.2.3 <i>Talleres y participación</i>	105
4.2.3.1 Identificación de riesgos y sus componentes	106
4.2.3.2 Validación de riesgos e indicadores	106
4.2.3.3 Validación de resultados	108
4.3 <i>Capacitación y difusión</i>	108
5 Conclusiones	109
5.1 Brechas	109
5.2 Desafíos y recomendaciones	111
6 Anexos	112
6.1 Anexo I – Cálculo de Amenazas e indicadores	
6.2 Anexo II – Instancias Participativas y Talleres	
6.3 Anexo III – Difusión y Comunicación	
6.4 Anexo IV – Cadenas de Impacto	



LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1.	Listado de cadenas de impacto por sector presentes en la plataforma ARCLim con información para la Región de Coquimbo
Tabla 2.	Riesgos estimados por el proyecto AdaptaClim para la Región de Coquimbo
Figura 1.	Riesgo climático y sus componentes (peligros, vulnerabilidad y exposición)
Figura 2.	Cambios en el rendimiento del cultivo de cerezo como consecuencia de la sequía en la Región de Coquimbo
Figura 3.	Cambios en el rendimiento del cultivo de nueces como consecuencia de la sequía en la Región de Coquimbo
Figura 4.	Cambios en el rendimiento del almendro de nueces como consecuencia de la sequía en la Región de Coquimbo
Figura 5.	Cambios en el rendimiento de maíz como consecuencia de la sequía en la Región de Coquimbo
Figura 6.	Cambios en el rendimiento de trigo de bajo riego como consecuencia de la sequía en la Región de Coquimbo
Figura 7.	Cambios en el rendimiento de papa de bajo riego como consecuencia de la sequía en la Región de Coquimbo
Figura 8.	Riesgo de anegamiento de asentamiento costeros frente a una mayor presencia de marejadas y alza en el nivel del mar en la Región de Coquimbo
Figura 9.	Riesgo de inundaciones por desborde de colectores de aguas lluvias en la Región de Coquimbo
Figura 10.	Riesgo de muerte prematura neta por cambios en las temperaturas en la Región de Coquimbo
Figura 11.	Riesgo de muerte prematura por cambios en las temperaturas en la Región de Coquimbo
Figura 12.	Riesgos en la salud humano por olas de calor para la Región de Coquimbo
Figura 13.	Riesgo de desconfort térmico para la Región de Coquimbo
Figura 14.	Riesgo de sufrir inseguridad hídrica doméstica urbana en la Región de Coquimbo
Figura 15.	Riesgo de sufrir inseguridad hídrica doméstica rural en la Región de Coquimbo
Figura 16.	Riesgo de pérdida de verdor en bosques nativos por sequía y olas de calor en la Región de Coquimbo
Figura 17.	Riesgo de pérdida de verdor en plantaciones forestales por sequía y olas de calor en la Región de Coquimbo.
Figura 18.	Riesgo de incendios en bosques nativos por sequía y olas de calor en la Región de Coquimbo
Figura 19.	Riesgo en incendios en plantaciones forestales por sequía y olas de calor en la Región de Coquimbo
Figura 20.	Riesgo en aumento de cierre de puertos en caletas de pescadores por marejadas en la Región de Coquimbo
Figura 21.	Riesgo en aumento de cierre de puertos estatales por marejadas en la Región de Coquimbo
Figura 22.	Riesgo en aprovechamiento de agua superficial de riego para la Región de Coquimbo
Figura 23.	Riesgo en aumento de inundaciones por desbordes de ríos en la Región de Coquimbo
Figura 24.	Riesgo en aumento de inundaciones en zonas urbanas generadas por precipitaciones extremas en la Región de Coquimbo
Figura 25.	Riesgo de ocurrencia de sequía hidrológica en la Región de Coquimbo
Figura 26.	Riesgo erosión de playa en la Región de Coquimbo
Figura 27.	Riesgo pérdida de atractivo sol y playa en la Región de Coquimbo
Figura 28.	Riesgo de atractivo turístico por incendios forestales en la Región de Coquimbo
Figura 29.	Riesgo de pérdida de desembarque artesanal en la Región de Coquimbo
Figura 30.	Riesgo de pérdida fauna terrestre por cambios en precipitaciones en la Región de Coquimbo
Figura 31.	Riesgo de pérdida flora terrestre por cambios en precipitaciones en la Región de Coquimbo
Figura 32.	Riesgo de pérdida de fauna terrestre por aumento de temperaturas en la Región de Coquimbo
Figura 33.	Riesgo de pérdida de flora terrestre por aumento de temperaturas en la Región de Coquimbo
Figura 34.	Riesgo de aumento de los costos marginales del sistema eléctrico por reducción de lluvias en la Región de Coquimbo
Figura 35.	Riesgo de aumento de los costos marginales del sistema eléctrico por cambios en los vientos en la Región de Coquimbo
Figura 36.	Riesgo de aumento de los costos marginales del sistema eléctrico por cambios en la radiación solar en la Región de Coquimbo
Figura 37.	Riesgo de aumento de los costos marginales del sistema eléctrico por aumento de temperatura sobre las líneas de transmisión en la Región de Coquimbo
Figura 38.	Índices climáticos basados en temperatura de aire y precipitaciones usados para el cálculo de indicadores amenazas de las cadenas terrestres
Figura 39.	Mapa regional de la Temperatura Superficial del Mar para A) periodo actual o histórico (1976-2005), B) periodo futuro (2035-2064) y C) diferencia de TSM entre ambos periodos
Figura 40a.	Mapa regional de surgencia costera a 15 metros de profundidad para A) periodo actual o histórico (1976-2005), B) periodo futuro (2035-2064) y C) diferencia entre ambos periodos



- Figura 40b.** Mapa regional de surgencia costera a 30 metros de profundidad para A) periodo actual o histórico (1976-2005), B) periodo futuro (2035-2064) y C) diferencia entre ambos periodos
- Figura 41.** Mapa territorial de la Región de Coquimbo y sus 15 comuna
- Figura 42.** Riesgo de cambios en la riqueza de especies marinas por aumento en la temperatura superficial del mar en la Región de Coquimbo.
- Figura 43.** Riesgo de cambios en la composición de especies marinas por aumento en la temperatura superficial del mar en la Región de Coquimbo.
- Figura 44.** Riesgo de cambios en la diversidad funcional de especies marinas por aumento en la temperatura superficial del mar en la Región de Coquimbo
- Figura 45.** Riesgo de cambios en la ocupación espacial del pingüino de Humboldt por aumento en la temperatura superficial del mar en la Región de Coquimbo
- Figura 46.** Riesgo de cambios en la ocupación espacial de la ballena jorobada por aumento en la temperatura superficial del mar en la Región de Coquimbo
- Figura 47.** Riesgo de cambios en la ocupación espacial del cachalote por aumento en la temperatura superficial del mar en la Región de Coquimbo
- Figura 48.** Riesgo de cambios en la ocupación espacial del delfín nariz de botella por aumento en la temperatura superficial del mar en la Región de Coquimbo
- Figura 49.** Riesgo de cambios en la ocupación espacial de la ballena azul por aumento en la temperatura superficial del mar en la Región de Coquimbo
- Figura 50.** Riesgo de cambios en la ocupación espacial del yunquito por aumento en la temperatura superficial del mar en la Región de Coquimbo
- Figura 51.** Riesgo en el incremento de la presencia de medusas agua viva por aumento en la temperatura superficial del mar durante la estación de verano en la Región de Coquimbo
- Figura 52.** Riesgo en el incremento de la presencia de fragata portuguesa por aumento en la temperatura superficial del mar durante la estación de verano en la Región de Coquimbo
- Figura 53.** Riesgo asociado a la pérdida en la continuidad de la cadena de suministro de agua potable en los Servicios Sanitarios Rurales (SSRs) por cambios en las precipitaciones
- Figura 54.** Riesgo asociado a la pérdida de superficie cultivable de uva pisquera por aumento en la frecuencia de olas de calor
- Figura 55.** Riesgo asociado a la pérdida de superficie cultivable de uva pisquera por aumento en la frecuencia de sequía
- Figura 56.** Riesgo asociado a la pérdida de desembarque de la pesquería artesanal de la macha por cambios en la temperatura superficial del mar en la Región de Coquimbo
- Figura 57.** Riesgo asociado a la pérdida de desembarque de la pesquería artesanal de la macha por cambios en el régimen de surgencia en la Región de Coquimbo
- Figura 58.** Riesgo asociado a la pérdida de producción acuícola de ostión del norte por cambios en la temperatura superficial del mar en la Región de Coquimbo
- Figura 59.** Riesgo asociado a la pérdida de producción acuícola de ostión del norte por cambios en el régimen de surgencia en la Región de Coquimbo



RESUMEN EJECUTIVO

Para abordar los impactos y riesgos del cambio climático se requiere un enfoque territorial. En Chile, los Planes de Acción Regional para el Cambio Climático (*PARCC*) son establecidos en la reciente aprobada **Ley Marco de Cambio Climático** como instrumentos de gestión con una visión estratégica de largo plazo que aportan al objetivo de enfrentar el cambio climático poniendo un especial énfasis en la identificación y priorización de acciones de mitigación y adaptación con una mirada de 10 años. Los *PARCCs* son (y serán) elaborados y aprobados por los Comités Regionales de Cambio Climático (*CORECC*) como parte de los compromisos de Chile en su actual *Contribución Nacional Determinada* (*NDC*, por sus siglas en inglés), y su elaboración considera la participación activa de múltiples y diversos actores regionales en coordinación con las Secretarías Regionales Ministeriales (*SEREMI*) de Medio Ambiente.

El presente informe resume el trabajo de la consultoría para **Iniciativa para la Construcción de Capacidades en Transparencia en Chile (CBIT)** solicitada por el Ministerio de Medio Ambiente (*MMA*) financiada por GEF (Global Environment Facility) e implementada por el PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) y ejecutada a través de su oficina para América Latina y el Caribe.

Este estudio tiene por objetivo general el diseñar de manera participativa junto al *CORECC* de la Región de Coquimbo un conjunto de indicadores regionales de riesgo y vulnerabilidad climática que sean un insumo para el futuro del *PARCC* de esta región. Para cumplir con el objetivo general de la consultoría se abordaron 3 grandes objetivos:

- Diagnosticar la relevancia de las cadenas de impacto existentes en *ARClim* para los sistemas regionales relevantes expuestos y vulnerables al cambio climático
- Desarrollar y levantar un set de nuevos indicadores sectoriales compuesto por ocho índices sectoriales de riesgo climático con sus respectivos componentes de riesgo y factores subyacentes
- Generar capacidades y difundir información relevante respecto a los sistemas vulnerables al cambio climático de la Región de Coquimbo permitiendo identificar alternativas de adaptación y su monitoreo

El presente informe presenta la descripción de un total de 36 riesgos en 10 sectores diferentes fueron descritos desde la plataforma *ARClim* y descritos para la Región de Coquimbo. Adicionalmente, se estimaron valores relativos de riesgo climático y de los factores subyacentes mediante la construcción de **18 nuevas cadenas de impacto** de amenazas climáticas y sistemas relevantes para el desarrollo regional expuestos o vulnerables al cambio climático actualmente no cubiertas por la plataforma *ARClim*. Finalmente, el **proyecto AdaptaClim** generó diversas actividades de capacitación y difusión que incluyeron tanto material de difusión audiovisual con información relevante sobre amenazas, vulnerabilidad, exposición, capacidad adaptativa frente al cambio climático para región de Coquimbo, comunidades de prensa, información difundida a través de las redes sociales, y el desarrollo de múltiples talleres participativos de validación con actores del Comité Regional de Cambio Climático (*CORECC*) de la Región de Coquimbo.

El presente informe incluye también una breve discusión sobre las brechas que se encontraron a la hora de abordar y estimar riesgos climáticos para la Región de Coquimbo, así como cuales son los desafíos y recomendaciones más urgentes en términos de adaptación para la Región de Coquimbo en los sectores “Agua y Suelo”, “Biodiversidad”, “Zona Costera” y “Ciudad e Infraestructura”.



1. INTRODUCCIÓN

El aumento en la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) ha generado cambios sin precedentes en el funcionamiento del sistema climático del planeta (IPCC, 2021)². En el contexto de los impactos que genera el cambio climático, los riesgos (probabilidad a sufrir un impacto negativo) resultan de las interacciones dinámicas entre las amenazas climáticas (peligros), la exposición y la vulnerabilidad (IPCC, 2014)³, donde el aumento de la temperatura global del planeta y del océano, los cambios en los patrones de precipitaciones, la subida del nivel del mar, el aumento en la frecuencia y magnitud de los eventos extremos como marejadas, entre otros, ya han impactado y seguirán impactando todos los sistemas naturales y humanos del planeta (IPCC, 2022)⁴.

Sin embargo, el cambio climático impacta de manera desigual a los diferentes territorios, sectores y/o comunidades humanas (*vulnerabilidad*) poniendo en peligro a un gran número de personas, recursos y bienes, especies, ecosistemas, infraestructuras, patrimonio cultural, social y económico, entre otros (*exposición*) (Fig. 1).

La identificación de factores que aportan a la sensibilidad o susceptibilidad (es decir, el grado en el cual un determinado sistema natural o humano es positiva o negativamente afectado) así como la capacidad adaptativa (es decir, la habilidad que tienen los diferentes sistemas, las instituciones, las personas u organismos para ajustarse al cambio, responder o incluso tomar ventaja)³ son claves a la hora de identificar y evaluar los riesgos relacionados con el cambio climático en todos los territorios y sus diferentes sectores (productivos y no productivos), ecosistemas y comunidades humanas⁴. **Identificar y evaluar riesgos es especialmente importante en el diseño, implementación y seguimiento de estrategias de adaptación al cambio climático.**

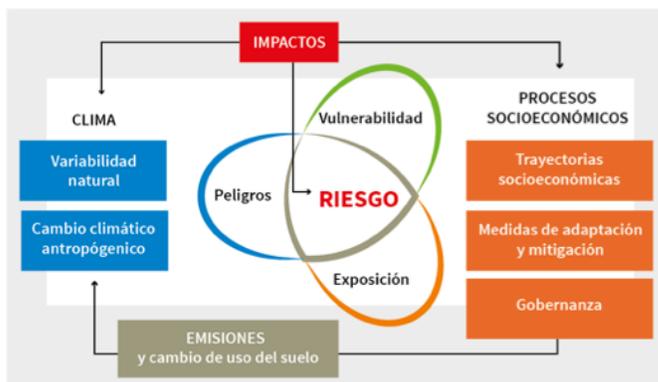


Figura 1. Riesgo climático y sus componentes (peligros, vulnerabilidad y exposición). Fuente: Modificado de IPCC, 2014³.

La región de Coquimbo, localizada en el centro-norte de Chile, se caracteriza por ser una región altamente amenazada y vulnerable al cambio climático. Con una superficie de 40.580 km² y una población 757.586 habitantes (INE, 2017)⁵, la región de Coquimbo se caracteriza por presentar una alta dependencia socio-económica de recursos naturales. El Producto Interno Bruto (PIB) regional está constituido por tres sectores principales que representan alrededor del 75% de la economía regional (la denominada economía residencial aporta con cerca de un 50%, mientras que la minería y la agricultura representan el 25%). De menor importancia cuantitativa, pero de alto valor sociocultural, aparecen dos sectores complementarios, que son la pesca y acuicultura y el sector pecuario, a los que se suma la actividad de la industria agroalimentaria (Estrategia Regional de Desarrollo, Región de Coquimbo, 2020)⁶. Según el Sexto Reporte de Evaluación de Cambio Climático (IPCC, 2022⁴), todos estos sectores productivos son altamente sensibles a cambios en las condiciones climáticas como la disminución de

² IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. In Press.

³ IPCC, 2014: Summary for policymakers. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32.

⁴ IPCC, 2022: Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

⁵ <http://www.censo2017.cl/>

⁶ <https://www.gorecoquimbo.cl/estrategia-regional-de-desarrollo/gorecoquimbo/2015-05-08/164205.html>



precipitaciones, el aumento de temperatura, el aumento de altura de olas, así como a cambios en los patrones de vientos (IPCC, 2022)¹.

Adicionalmente, el estado actual del sistema hidrológico de la Región de Coquimbo se encuentra en una situación crítica debido a la disminución de las precipitaciones registradas desde el año 2018 (sequía meteorológica), lo que ha provocado que los caudales de los ríos presenten valores extremadamente bajos por cuarto año consecutivo (sequía hidrológica) (17% en comparación con los valores históricos). Además, cabe destacar que el nivel de agua embalsado en la región ha mostrado una constante disminución, tanto que, al día de hoy, los embalses de las cuencas de Elqui se encuentran al 52% de sus reservas, Limarí a un 24%, mientras que la provincia de Choapa muestra los niveles más bajos de agua embalsada (8%) de toda la Región (Boletín Climático *CEAZAMet*, marzo 2022)⁷.

Para abordar los impactos y riesgos del cambio climático se requiere un enfoque territorial. En Chile, los Planes de Acción Regional para el Cambio Climático (*PARCC*) son establecidos en la reciente promulgada (13 Mayo 2022) **Ley Marco de Cambio Climático** como instrumentos de gestión con una visión estratégica de largo plazo que aportan al objetivo de enfrentar el cambio climático poniendo un especial énfasis en la identificación y priorización de acciones de mitigación y adaptación con una mirada de 10 años. Los *PARCCs* son (y serán) elaborados y aprobados por los Comités Regionales de Cambio Climático (*CORECC*) como parte de los compromisos de Chile en su actual *Contribución Nacional Determinada (NDC)*, por sus siglas en inglés), y su elaboración considera la participación activa de múltiples y diversos actores regionales en coordinación con las Secretarías Regionales Ministeriales (*SEREMI*) de Medio Ambiente. En este contexto, el proyecto **AdaptaClim: Indicadores Climáticos para la Adaptación en la Región de Coquimbo**, ejecutado por el Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (*CEAZA*), y enmarcado en la Iniciativa para la Construcción de Capacidades en Transparencia en Chile (*CBIT*) la cual es financiada por GEF (*Global Environment Facility*) e implementada por el PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) y ejecutado a través de su oficina para América Latina y el Caribe a solicitud expresa del Ministerio de Medio Ambiente de Chile (*MMA*), busca mejorar el diagnóstico climático para la Región de Coquimbo y aportar a la construcción del *PARCC* de la Región.

En particular, los *PARCCs* contemplan 4 grandes contenidos y/o ejes:

- a) Una **caracterización regional** de las características físicas de la región con énfasis en el clima, incluyendo además una evaluación de los impactos del cambio climático en la población local y sectores económicos. Además, incluye una caracterización sociodemográfica de la población local y la elaboración de un mapa de actores regionales relevantes para temáticas de cambio climático.
- b) Un **diagnóstico climático regional** que incluye inventarios de emisiones de GEI a nivel regional y una proyección climática, un diagnóstico detallado de la vulnerabilidad actual y futura para cada región y un índice de riesgo para diferentes sectores basado en información de amenazas climáticas, exposición y vulnerabilidad.
- c) Una **visión estratégica de largo plazo** en cambio climático con definición de metas, lineamientos y principios rectores para cada región.
- d) Una **identificación y priorización de medidas de adaptación y mitigación** para un período de 5 y 10 años.
- e) Un **plan de monitoreo y evaluación**.

El proyecto **AdaptaClim: Indicadores Climáticos para la Adaptación en la Región de Coquimbo** se focaliza en los puntos (a) *caracterización regional* y (b) *diagnóstico climático regional* a través de la identificación de riesgos climáticos específicos y sus componentes que son relevantes territorialmente mediante la construcción de cadenas de impacto (IPCC, 2014³; GIZ & EURAC, 2017⁸), estando contextualizado dentro de la iniciativa para la Creación de Capacidades para la Transparencia (*CBIT*, por sus siglas en inglés) que tiene como objetivo fortalecer las capacidades institucionales y técnicas de los países en desarrollo para cumplir con los requisitos de transparencia del Acuerdo de París.

⁷ <http://boletin.ceazamet.cl/>



2. OBJETIVOS DE ESTUDIO

El proyecto **AdaptaCLim: Indicadores Climáticos para la Adaptación en la Región de Coquimbo** tiene como objetivo general el diseñar de manera participativa junto al Comité Regional de Cambio Climático (CORECC) de la Región de Coquimbo un conjunto de indicadores regionales de riesgo y vulnerabilidad climática que sean un insumo para el futuro del Plan de Acción Regional de Cambio Climático (PARCC) de esta región.

Para el desarrollo de este objetivo general se plantearon tres objetivos específicos (OE):

- Diagnosticar la relevancia de las cadenas de impacto existentes en *ARClim* para los sistemas regionales relevantes expuestos y vulnerables al cambio climático (OE-1).
- Desarrollar y levantar un set de nuevos indicadores sectoriales compuesto por ocho índices sectoriales de riesgo climático con sus respectivos componentes de riesgo y factores subyacentes (OE-2).
- Generar capacidades y difundir información relevante respecto a los sistemas vulnerables al cambio climático de la Región de Coquimbo permitiendo identificar alternativas de adaptación y su monitoreo (OE-3).

3. ESTRUCTURA DEL ESTUDIO

3.1. Actividades generales

Para el cumplimiento al objetivo general y los objetivos específicos se ejecutaron las siguientes actividades:

- Revisión y diagnóstico de las cadenas de impacto existentes en la plataforma *ARClim* para la Región de Coquimbo y los sectores de interés (**Actividad 1, Sección 4.1**).
- Estimación de los valores relativos de riesgo climático y de los factores subyacentes mediante la construcción de 18 cadenas de impacto de amenazas climáticas y sistemas relevantes para el desarrollo regional expuestos o vulnerables al cambio climático actualmente no cubiertas por la plataforma *ARClim* (**Actividad 2, Sección 4.2, Anexo I y IV**). Para ello se establecieron y construyeron:
 - Amenazas climáticas e indicadores para cada una de las cadenas de impacto
 - Indicadores de exposición según la amenaza definida en la cadena de impacto respectiva.
 - Indicadores de vulnerabilidad, que contemplen tanto la sensibilidad de los sistemas como su capacidad adaptativa.
 - Índices de riesgo climático para cada una de las cadenas de impacto desarrolladas.
- Generación de actividades de capacitación y difusión (**Actividad 3, Sección 4.3, Anexo II y III**) que incluyen:
 - Generación de material de difusión audiovisual con información relevante sobre amenazas, vulnerabilidad, exposición, capacidad adaptativa frente al cambio climático para región de Coquimbo
 - Comunicación a medios de prensa y a través de redes sociales
 - Desarrollo de talleres participativos de validación (previos y posteriores a la generación de las cadenas de impacto)
 - Propuesta de integración de los índices de riesgo climático a la plataforma *ARClim*.

3.2. Metodologías generales

Las **18 nuevas cadenas de impacto** (CDIs) están enmarcadas en cuatro grandes sectores (similares a las comisiones conformadas en el CORECC de la Región de Coquimbo para abordar la construcción del PARCC). Estos sectores son 'Agua y suelo', 'Ciudad e infraestructura', 'Zona costera' y 'Biodiversidad'.

Para el desarrollo de tanto el objetivo general como los objetivos específicos se utilizaron diferentes metodologías que involucran tanto el levantamiento de información secundaria (indicadores de amenazas, vulnerabilidad y capacidad adaptativa) desde bases de datos públicas (ej., SERNAPESCA, MMA, y otras fuentes), como el desarrollo de talleres de trabajo con miembros del CORECC de la Región



de Coquimbo y otros actores regionales relevantes (ej., comunidad científica). La combinación de múltiples metodologías permitió identificar y priorizar sectores y/o sistemas, amenazas, así como fuentes de sensibilidad, exposición, capacidad adaptativa y riesgos climáticos para la Región de Coquimbo.

Para cumplir con el objetivo general del proyecto se aplicaron **metodologías participativas** orientadas a la construcción conjunta de herramientas que den respuesta a las necesidades de los grupos de interés. En este caso, y de acuerdo a los objetivos y actividades acordadas, se trabajó específicamente con integrantes del CORECC de la Región de Coquimbo. De este modo, a la metodología participativa se sumó un enfoque transdisciplinario, necesario para la creación de soluciones novedosas para problemas altamente complejos que exceden barreras disciplinarias, como es el caso del cambio climático. En esta línea, el equipo de investigadores e investigadoras estuvo integrado por climatólogos, oceanógrafos, ecólogos, biólogos, periodistas, diseñadores, entre otras disciplinas, quienes colaboraron y recibieron retroalimentaciones de los diferentes integrantes del CORECC—provenientes principalmente del ámbito público—de manera de asegurar su participación en el diseño de las cadenas de impacto con base científica y adaptada a necesidades y prioridades regionales.

Para la construcción de las cadenas de impacto se siguió la metodología planteada por GIZ & EURAC (2017)⁸. Esta metodología propone una pauta paso-a-paso para la evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático los cuales se pueden resumir en:

- Paso 1: Identificación de impactos y riesgos.
- Paso 2: Identificación de amenazas e impactos intermedios
- Paso 3: Identificación de factores que generan vulnerabilidad (sensibilidad y capacidad adaptativa)
- Paso 4: Identificación de factores que determinan exposición

La identificación (y validación) impactos y riesgos, amenazas, vulnerabilidad y exposición al cambio climático para la Región de Coquimbo fue abordada a través del:

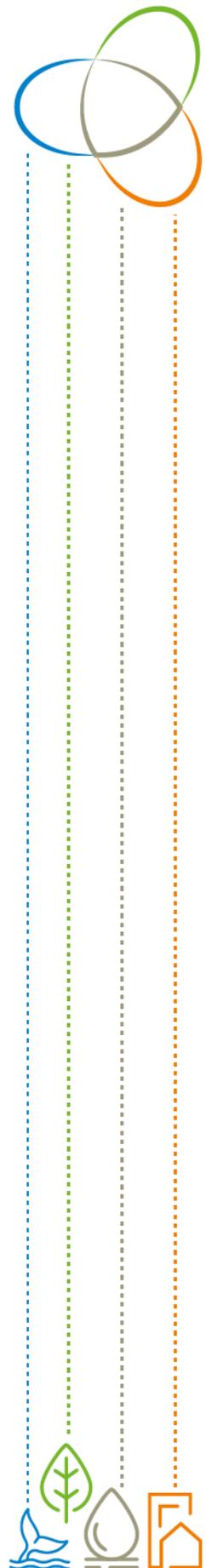
- a) **Diagnóstico** de la información presente en la plataforma *ARCLim* para la Región de Coquimbo a través de la realización de una revisión exhaustiva de la información que contiene esta plataforma para cada uno de los 12 sectores presentes (**ver Sección 4.1**).
- b) **Identificación de riesgos y sus componentes** mediante el desarrollo de talleres durante las sesiones del CORECC. Los talleres, realizados a través de las plataformas ZOOM fueron replicados en las cuatro comisiones del CORECC (Agua y Suelo; Zona Costera; Biodiversidad; Ciudad e Infraestructura) y consistieron en la realización de un total de 6 preguntas (*¿qué está pasando?; ¿desde cuándo está pasando?; ¿ha pasado antes?; ¿por qué cree que está pasando?; ¿cómo impactan estos problemas?; ¿qué medidas se están tomando?*). Toda la información recopilada (etiquetas y grabación de las sesiones) fue sistematizada y usada para la selección y final definición de las cadenas de impactos que se presentan en el presente proyecto (**ver Sección 4.2.3.; Anexo II**).
- c) Finalmente, los riesgos e indicadores seleccionados, así como los resultados de las nuevas cadenas de impacto fueron sometidos a **validación** a través de la realización de dos talleres con los diferentes actores del CORECC (**ver Sección 4.2.3.; Anexo II**).
 - **Taller “Validación de riesgos (cadenas de impacto) e indicadores”** (17 de diciembre 2021): Este taller tuvo por objetivo validar la propuesta de cadenas de impacto definidas a construir por el equipo de investigadores del proyecto *AdaptaClim* y sus indicadores. La actividad se desarrolló de manera telemática usando la plataforma ZOOM y bajo el método de grupo focal con apoyo de una planilla digital y soporte visual. En total, participaron 14 personas provenientes principalmente del sector público y académico.
 - **Taller “Validación de Resultados”** (25 de marzo de 2022). Este taller tuvo como propósito presentar y validar los resultados obtenidos de la construcción de las cadenas de impacto. La actividad se desarrolló igualmente de manera telemática (plataforma ZOOM) con métodos que combinaron la exposición con la discusión grupal para efectos de validación. Para estos efectos, las y los investigadores presentaron las cadenas de impacto trabajadas,

⁸ GIZ y EURAC 2017: Suplemento de Riesgo del Libro de la Vulnerabilidad. Guía sobre cómo aplicar el enfoque del Libro de la Vulnerabilidad con el nuevo concepto de riesgo climático del IE5 del IPCC. Bonn: GIZ.



relevando las metodologías empleadas y sus resultados. Las presentaciones fueron organizadas por comisión *CORECC* y al final de cada bloque, se realizó una actividad de validación con apoyo de la plataforma *Mentimeter* para obtener retroalimentación de las y los asistentes en tiempo real.

- d) Adicionalmente, un equipo de trabajo con experiencia en **comunicación y divulgación** estuvo encargado del cumplimiento de la Actividad 3. Numerosos productos que incluyen tres cápsulas audiovisuales sobre impactos y soluciones al cambio climático en los sectores “Agua y Suelo”, “Biodiversidad”, “Ciudad e Infraestructura”, y “Zona Costera”, una cápsula audiovisual sobre el funcionamiento y rol del *CORECC*, impresiones de sus actores y el proceso de construcción del *PARCC*. Adicionalmente, el equipo de comunicación desarrolló durante el proyecto un conjunto de ideas fuerza para entregar identidad al proyecto, así como el contexto en el cual se desarrolla, comunicados de prensa, notas de prensa y gestión de prensa, grillas para redes sociales y la producción de 3 *podcasts* sobre amenazas, vulnerabilidad y riesgo del cambio climático en la Región de Coquimbo. Todo este material ha sido acompañado de la creación de una línea gráfica diseñada específicamente para el proyecto (**ver sección 4.3.; Anexo III**).



4. RESULTADOS

4.1. Revisión y diagnóstico de las cadenas de impacto existentes en ARClím para la Región de Coquimbo y los sectores de interés (Actividad 1)

El proyecto ARClím tuvo como objetivo desarrollar un conjunto de mapas de riesgos a escala nacional relacionados con el cambio climático para Chile. Para la región de Coquimbo existen un total de 36 cadenas de impactos en 10 sectores diferentes donde se evaluaron amenazas, exposición, sensibilidad, y riesgos (**ver Tabla 1**). Para el sector acuicultura y minería no existen cadenas de impacto evaluadas para la región de Coquimbo.

Tabla 1. Listado de cadenas de impacto por sector presentes en la plataforma ARClím con información para la Región de Coquimbo.

Sector	Cadenas de Impactos para la Región de Coquimbo
Agricultura	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cambio de la productividad de cultivo de cerezo 2. Cambio de la productividad de cultivo de nueces 3. Cambio de la productividad de cultivo de almendro 4. Cambio de la productividad de cultivo de maíz 5. Cambio de la productividad de cultivo de trigo de bajo riego 6. Cambio de la productividad de cultivo de papa de bajo riego
Salud y Bienestar	<ol style="list-style-type: none"> 7. Anegamientos de asentamientos costeros 8. Mortalidad prematura neta por cambio de temperatura 9. Mortalidad prematura por calor 10. Efectos de las olas de calor en la salud humana 11. Inundaciones 12. Disconfort térmico 13. Efecto de las islas de calor urbana 14. Seguridad hídrica doméstica urbana 15. Seguridad hídrica doméstica rural
Bosques nativos	<ol style="list-style-type: none"> 16. Verdor en bosques nativos 17. Incendios en bosques nativos
Infraestructura costera	<ol style="list-style-type: none"> 18. Aumento de <i>downtime</i> en caletas de pescadores 19. Aumento de <i>downtime</i> en puertos estatales
Recursos hídricos	<ol style="list-style-type: none"> 20. Aprovechamiento de agua superficial de riego 21. Inundaciones por desborde de ríos 22. Inundaciones en zonas urbanas 23. Sequías hidrológicas
Turismo	<ol style="list-style-type: none"> 24. Pérdidas de atractivo turístico por erosión de playas 25. Pérdidas de atractivo turístico por incendios forestales 26. Pérdidas de atractivo turístico en los destinos sol y playa
Pesca artesanal	<ol style="list-style-type: none"> 27. Pérdida de desembarque pesquero artesanal
Biodiversidad	<ol style="list-style-type: none"> 28. Pérdida de fauna terrestre por cambios en precipitación 29. Pérdida de flora terrestre por cambios en precipitación 30. Pérdida de fauna terrestre por cambios en temperatura 31. Pérdida de flora terrestre por cambios en temperatura
Plantaciones forestales	<ol style="list-style-type: none"> 32. Verdor en plantaciones forestales 33. Incendios en plantaciones forestales
Energía eléctrica	<ol style="list-style-type: none"> 34. Impactos de disminución del recurso hídrico y eólico 35. Impactos del cambio en radiación solar 36. Impacto del aumento de temperatura sobre líneas de transmisión



4.1.1. Sector Agricultura

Para el **sector agricultura** se evaluaron riesgos relacionados con cambios en el rendimiento de sistemas agrícolas ante la presencia de sequías. Los riesgos para este sector fueron evaluados a través de generación de 6 cadenas de impactos que usaron el área de cultivo actual como indicador de exposición, y un indicador de sensibilidad compuesto por siete parámetros (presencia de pequeñas y medianas explotaciones, población urbana-rural, diversidad de cultivos, número de embalses, cantidad de usuarios, número de embalses, cantidad de usuarios y funcionarios INDAP, disponibilidad de infraestructura y proporción de cultivos entre riego-secano. Para más detalle sobre la metodología usada, ver Meza et al., 2020⁹.

Cultivo de cerezo

En esta cadena de impacto se evaluó el riesgo de cambio de la productividad de cultivo de cerezo para la comuna de Ovalle, y determinó un riesgo nivel “moderado” para esta comuna frente a un aumento de sequías. El nivel de riesgo está principalmente asociado a un nivel de amenaza “muy alto” (pérdidas de rendimiento de cultivo de 20,000 kg por hectárea por año por sequía). Por otro lado, el nivel de exposición es “bajo” (hectáreas de cultivo presentes actualmente no superan las 2 hectáreas), mientras que el nivel de sensibilidad es “muy bajo” para la comuna en evaluación (**Fig. 2**).

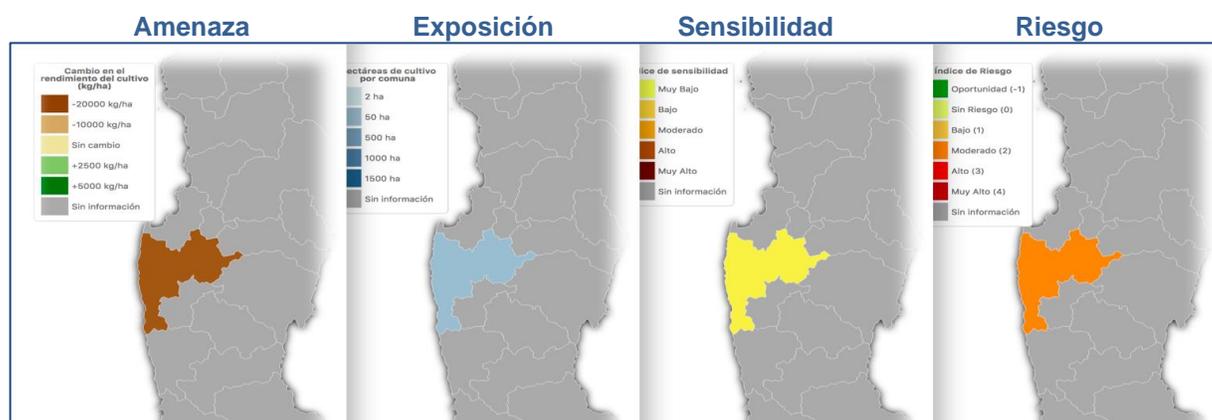


Figura 2. Cambios en el rendimiento del cultivo de cerezo como consecuencia de la sequía en la Región de Coquimbo. Fuente: ARCLim.

Cultivo de nueces

En esta cadena de impacto se evaluó el riesgo de pérdida de la productividad de cultivo de nueces para 10 comunas (Coquimbo, Paihuano, Vicuña, Illapel, Los Vilos, Salamanca, Ovalle, Combarbalá, Monte Patria, y Río Hurtado). El análisis determina que las comunas de Padre Hurtado, Monte Patria, Ovalle, Salamanca e Illapel presentan un riesgo nivel “alto”, mientras que las comunas Vicuña, Combarbalá y Los Vilos presentan un riesgo nivel “moderado” a cambios en la productividad del cultivo de nueces por aumento en la sequía. El resto de comunas de la región presentan un riesgo de pérdida de productividad nivel “bajo”.

El nivel de amenaza (cambio de rendimiento en el cultivo de nueces por sequía) para las comunas analizadas se encuentra en niveles “altos” y “muy altos” con reducciones que rondan entre las 1.200 y las 750 kg/hectáreas por año. Por otro lado, los niveles de exposición son relativamente “altos” para todas las comunas analizadas (entre 1.000 a 10.000 hectáreas de cultivo actuales de nuez), mientras que los niveles de sensibilidad son “muy altos” para las comunas de Paihuano y Los Vilos, y “altos” para la comuna de Río Hurtado. El resto de comunas presenta niveles de sensibilidad “moderados” o “muy bajos” (**Fig. 3**).

⁹ Meza, F., Morales, D., Gonzalez, D., Duarte, K., Jara, V. & Saldaña, P. (2020). Informe ARCLim: Agricultura. Centro de Cambio Global UC coordinado por Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia y Centro del Cambio Global UC para el Ministerio de Medio Ambiente a través de La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), Santiago, Chile



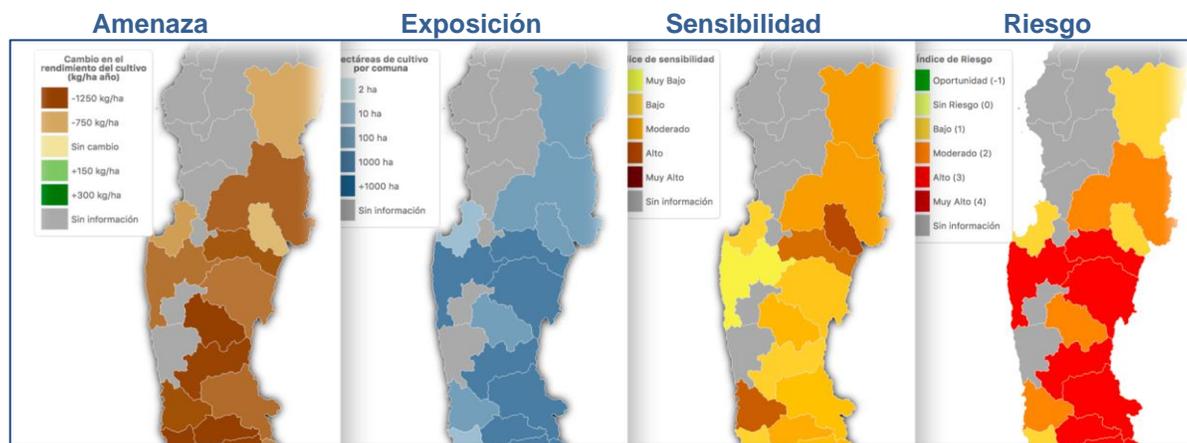


Figura 3. Cambios en el rendimiento del cultivo de nueces como consecuencia de la sequía en la Región de Coquimbo. Fuente: ARCLim.

Cultivo de almendro

En esta cadena de impacto se evaluó el cambio de la productividad de cultivo de almendro para 5 comunas (Coquimbo, Salamanca, Ovalle, Combarbalá, y Punitaqui). El análisis de riesgo determina que, con excepción de las comunas de Ovalle y Punitaqui que presentan un riesgo “bajo”, el resto de las comunas de la región está “sin riesgo” de pérdida de productividad de cultivo de almendro por sequía. Aunque la sequía reducirá considerablemente rendimiento del cultivo (amenaza) de almendro para las comunas de Coquimbo, Ovalle y Punitaqui, los niveles de exposición y sensibilidad actuales son “bajos” o “muy bajos” para todas las comunas analizadas (**Fig. 4**).

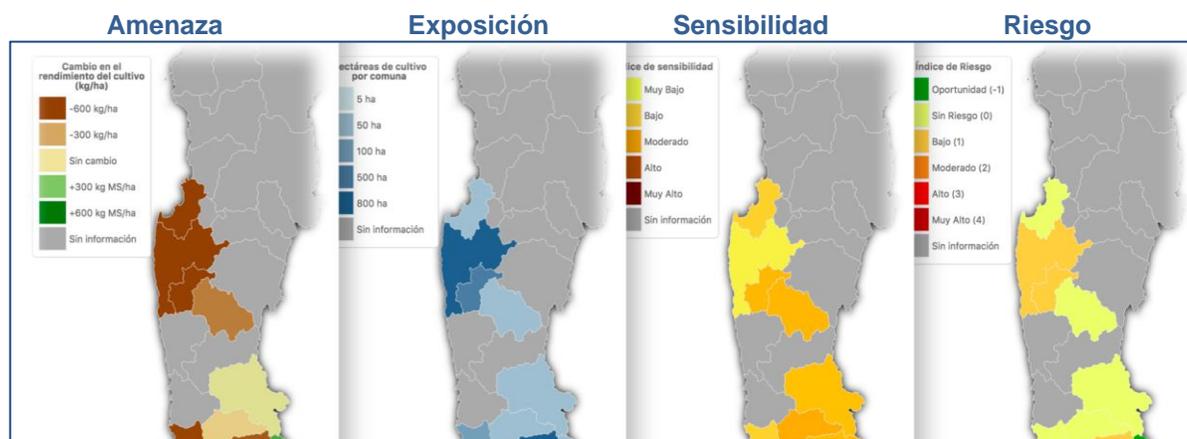


Figura 4. Cambios en el rendimiento del almendro de nueces como consecuencia de la sequía en la Región de Coquimbo. Fuente: ARCLim.

Cultivo de maíz

En esta cadena de impacto se evaluó el riesgo de cambio de la productividad de cultivo del maíz para 3 comunas (Coquimbo, Ovalle, y Combarbalá). El análisis de riesgo determina que la comuna de Ovalle presenta un riesgo nivel “moderado” de pérdida de productividad de cultivo de maíz frente a un aumento de sequías, mientras que las comunas de Coquimbo y Combarbalá presentan un riesgo nivel “bajo”. Aunque la sequía reduciría el rendimiento de cultivo de maíz entre 3.000 a 7.000 kg por hectárea por año (amenaza), para las comunas analizadas los niveles de exposición y sensibilidad son “bajos” o “muy bajos” (**Fig. 5**).



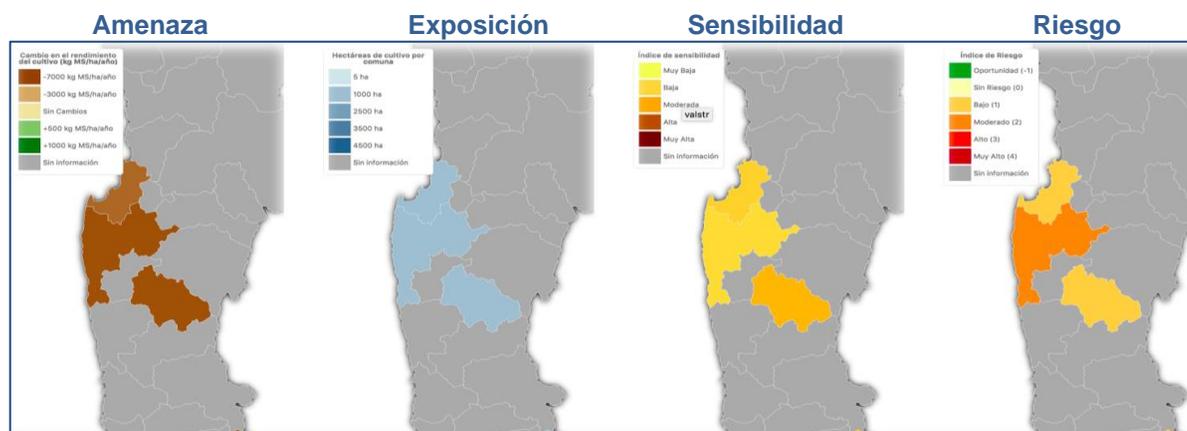


Figura 5. Cambios en el rendimiento de maíz como consecuencia de la sequía en la Región de Coquimbo. Fuente: ARCLim.

Cultivo de trigo de bajo riego

En esta cadena de impacto se evaluó el riesgo de cambio de la productividad de cultivo de trigo de bajo riego para la comuna de Ovalle frente a un aumento de la sequía. El análisis de riesgo determina que esta comuna no presenta riesgo (“sin riesgo”), lo que se debe principalmente a los bajos niveles de exposición y sensibilidad de este cultivo frente a esta amenaza. Sin embargo, se podría esperar una pérdida de rendimiento (amenaza) de alrededor de 400 kg por hectárea por año debido a la sequía para este cultivo (**Fig. 6**).

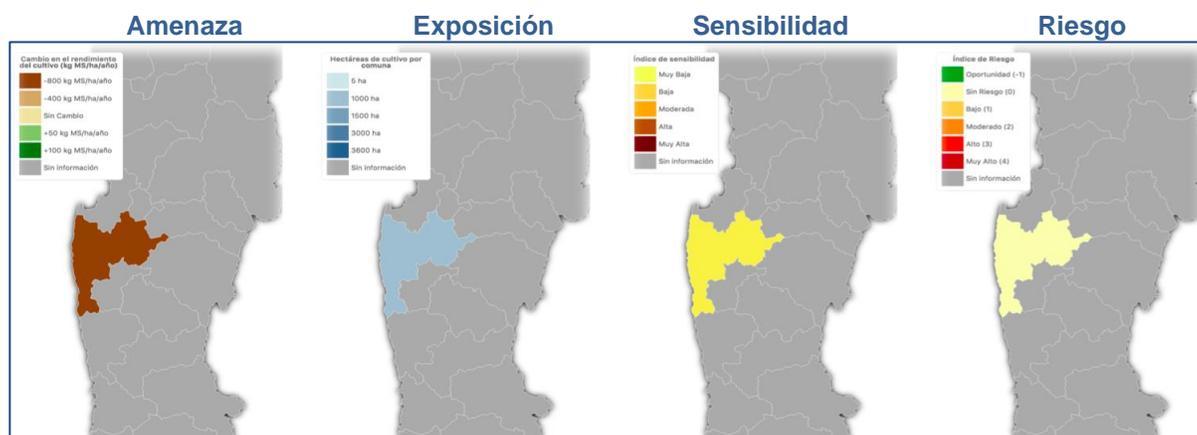


Figura 6. Cambios en el rendimiento de trigo de bajo riego como consecuencia de la sequía en la Región de Coquimbo. Fuente: ARCLim.

Cultivo de papa de bajo riego

En esta cadena de impacto evalúa el riesgo de cambio de la productividad de cultivo de papa de bajo riego para las comunas de La Serena, Coquimbo, Ovalle, Canela y Punitaqui. El análisis de riesgo determina que la comuna de Canela es la única comuna de la región de Coquimbo con riesgo nivel “alto” de pérdida de productividad de cultivo de papa de bajo riego frente a la sequía. El resto de comunas (La Serena, Coquimbo, Ovalle) presentan un riesgo nivel “bajo”, mientras que la comuna de Punitaqui no presenta niveles de riesgo (“sin riesgo”). Aun así, la pérdida de rendimiento de cultivo de papa de bajo riego en un escenario de sequía rondará los 1.600 kg por hectárea por año para las comunas de Coquimbo, Ovalle, Punitaqui, y Canela, y los 800 kg por hectárea por año para la comuna de La Serena (amenaza). Los niveles de exposición son “bajos” (baja cantidad de hectáreas con cultivo) con excepción de Coquimbo y La Serena que poseen sobre 700 hectáreas de cultivo al día de hoy. Los niveles de sensibilidad son “muy altos” para la comuna de Canela, mientras que el resto de comunas presentan niveles “moderados” y “muy bajos” (**Fig. 7**).



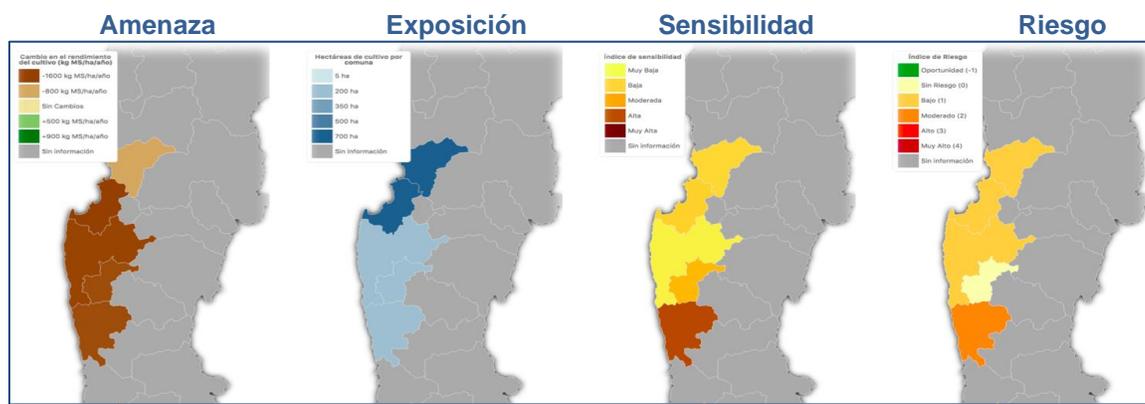


Figura 7. Cambios en el rendimiento de papa de bajo riego como consecuencia de la sequía en la Región de Coquimbo. Fuente: ARCLim.

4.1.2. Sector Salud y Bienestar

Para el **sector salud y bienestar** se evaluaron 9 cadenas de impactos (**ver Tabla 1**). Para más detalle sobre la metodología usada, ver Cifuentes et al., 2020¹⁰.

Anegamientos de asentamientos costeros

Esta cadena evaluó el riesgo de anegación de asentamientos costeros debido a una mayor presencia de marejadas y alza en el nivel del mar. Para ello, se consideró como indicador de amenaza el cambio en la cota de inundación la cual es una combinación del aumento del nivel del mar y el aumento en la intensidad de marejadas. Como indicador de exposición es usado el número de habitantes por asentamiento costero, mientras que el indicador de sensibilidad es un índice compuesto por variables que incluyen tanto la densidad poblacional, la densidad de viviendas como la fracción de tipos de vivienda (casa, departamento en edificio, o precaria) existentes en los asentamientos costeros de la Región de Coquimbo.

Para la región de Coquimbo se evaluaron un total de 28 asentamientos costeros (Punta de Choros, El Náufrago, Chungungo, Totalillo Norte, Caleta Hornos, Lomas del Arrayán, Serena Golf, Caleta San Pedro, La Serena, Coquimbo, Altos La Herradura, Las Tacas, Guanaqueros, Camping Playa Blanca, Puerto Veleró, Tongoy, Puerto Aldea, Talcaruca, Parque Nacional Fray Jorge, Caleta El Toro, La Cebada, El Teniente Bajo, Caleta Chigualoco, Conchalí, Los Vilos, Quilimarí Alto, Pichidanguí).

Los resultados del análisis de riesgo indican que la mayoría de los asentamientos costeros de la región de Coquimbo tiene niveles de probabilidad “altos” o “muy altos” de aumento de cota de inundación por aumento de marejadas o nivel del mar. Por lo otro lado, existen importantes diferencias entre los niveles de exposición y sensibilidad entre los diferentes asentamientos. Coquimbo y La Serena presentan el mayor nivel de exposición (alto número de viviendas), mientras que el nivel de sensibilidad es “moderado” o “alto” para la mayoría del resto de los asentamientos. Finalmente, los asentamientos de Coquimbo y La Serena son los que presentan un riesgo “muy alto” de inundación frente al aumento de marejadas y nivel del mar (**Fig. 8**).

¹⁰ Cifuentes, L.; Quiroga, D.; Valdes, J. & Cabrera, C., 2020. Informe Proyecto ARCLim: Salud. Centro de Cambio Global UC y DICTUC/Greenlab coordinado por Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia y Centro de Cambio Global UC para el Ministerio del Medio Ambiente a través de La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Santiago.



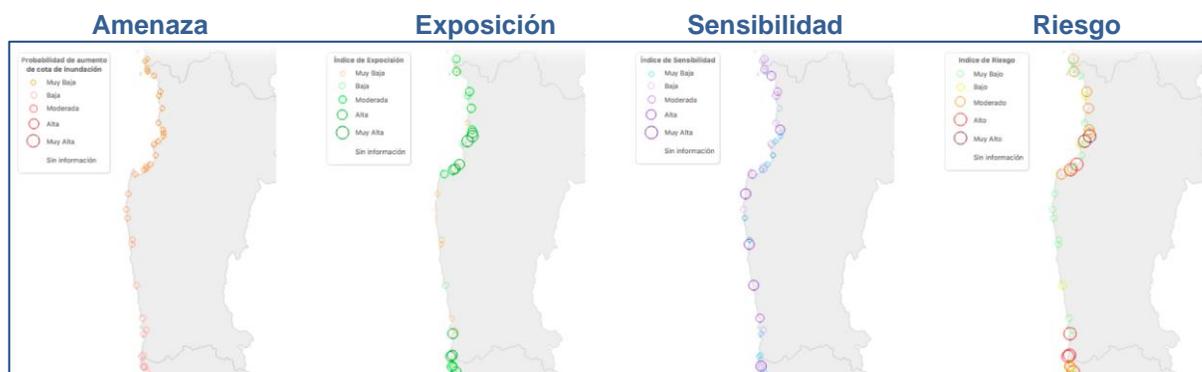


Figura 8. Riesgo de anegamiento de asentamiento costeros frente a una mayor presencia de marejadas y alza en el nivel del mar en la Región de Coquimbo. Fuente: ARCLim.

Inundaciones

Esta cadena evaluó el riesgo de inundación de infraestructura (viviendas y servicios críticos) por desborde de colectores de aguas lluvias considerando condiciones climáticas, sociales e institucionales históricas y futuras. La amenaza corresponde a un índice compuesto que incluye precipitaciones para un período de retorno 5, 10 y 20 años relacionado a la probabilidad de falla de los colectores, latitud y longitud de la comuna, altitud media, altitud máxima, altitud mínima, pendiente media, pendiente máxima, pendiente mínima, área y erodabilidad. Por otro lado, el indicador de exposición se compone de un solo índice, correspondiente a la población urbana residente en cada comuna, mientras que el indicador de sensibilidad es un índice compuesto por 16 factores que incorpora la proporción de grupos vulnerables (niños, adultos mayores, población migrante), condiciones de la vivienda y condiciones territoriales (cantidad de establecimientos de salud, ...). Esta cadena de impacto incorpora un indicador de resiliencia el cual se construyó a partir de 31 índices agrupados en 5 dimensiones diferentes (diversidad, redundancia, conectividad, gestión municipal y vinculación municipal con la ciudadanía).

Para la región de Coquimbo se evaluó el riesgo de inundaciones por desborde de colectores de lluvia para un total de 3 comunas (La Serena, Coquimbo y Ovalle). Los resultados indican que el nivel de amenaza es “bajo” para las 3 comunas, mientras que las comunas de Coquimbo y La Serena presentan niveles “muy altos” de exposición. Los niveles de sensibilidad son “muy altos” y “altos” en las comunas de La Serena y Coquimbo, respectivamente, mientras que el nivel de resiliencia es “alto” o “moderado” en las 3 comunas. Las comunas de La Serena y Coquimbo presentan el mayor riesgo de inundación (nivel “muy alto”), mientras que la comuna de Ovalle presenta un nivel de riesgo “alto” (**Fig. 9**).



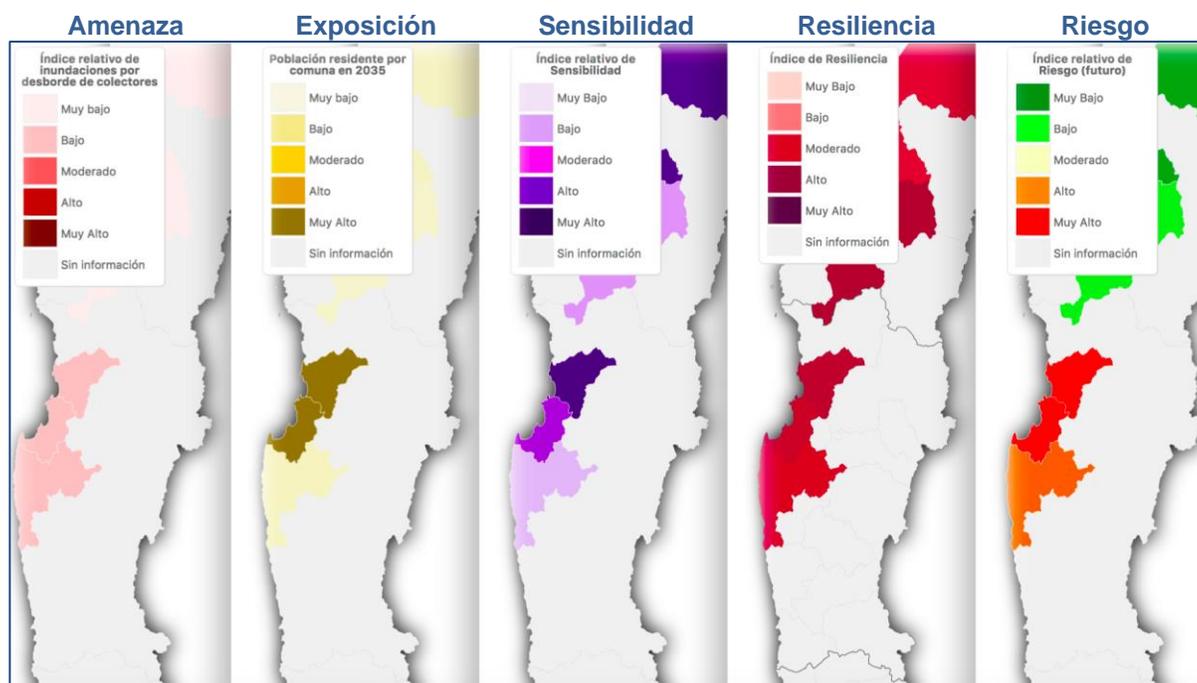


Figura 9. Riesgo de inundaciones por desborde de colectores de aguas lluvias en la Región de Coquimbo. Fuente: ARCLim.

Mortalidad prematura neta por cambio de temperatura

Esta cadena de impacto evalúa el riesgo asociado al cambio neto de la mortalidad para todas las causas no accidentales debido a cambios en la temperatura y al aumento en la frecuencia de olas de calor por efecto del cambio climático.

La mortalidad neta incluye tanto el aumento de muertes por calor, como la disminución de muertes debido al aumento de temperatura en zonas donde estas son típicamente bajas. La amenaza corresponde a un cambio en el promedio anual de la temperatura máxima diaria para un futuro comprendido entre el año 2035 y 2065 en comparación con un clima histórico comprendido entre los años 1980 y 2010. El indicador de exposición corresponde a la población urbana que se proyecta para el año 2050, mientras que como indicador de sensibilidad se usó un índice compuesto que incluye la tasa base de mortalidad que representa la vulnerabilidad general de la población, así como la relación temperatura-mortalidad que relaciona la temperatura con el riesgo relativo de muerte para cada día del año a escala comunal.

El riesgo mortalidad prematura neta por cambio de temperatura se evaluó para un total de 10 comunas de la Región de Coquimbo (Coquimbo, La Serena, Vicuña, Monte Patria, Ovalle, Andacollo, Punitaqui, Canela, Los Vilos, y Salamanca). En términos generales, todas las comunas analizadas presentan entre un aumento de 1°C a 2°C de las temperaturas máximas, mostrando los valores más altos las comunas del interior de la Región. Las comunas de Coquimbo y La Serena presentan un nivel “muy alto” de exposición, seguido por la comuna de Ovalle. Por otro lado, las comunas de Ovalle, Coquimbo y La Serena presentan los niveles de sensibilidad más altos de la Región (muertes totales no accidentales esperadas). El riesgo de mortalidad prematura neta por aumento en las temperaturas máximas es mayor en las comunas de La Serena, Coquimbo y Ovalle, y menor en las comunas del interior de la Región (Vicuña, Monte Patria y Salamanca) (**Fig. 10**).



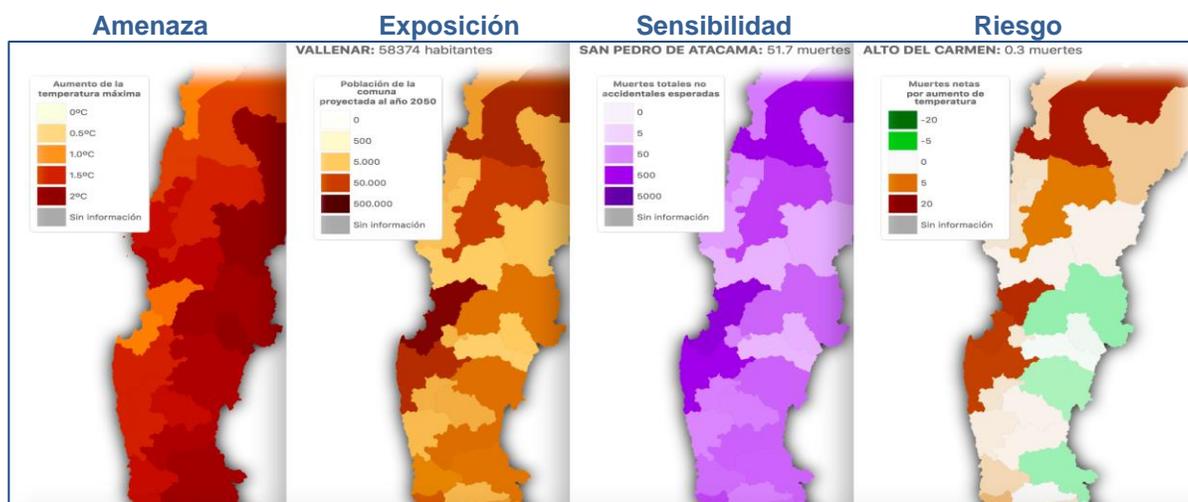


Figura 10. Riesgo de muerte prematura neta por cambios en las temperaturas en la Región de Coquimbo. Fuente: ARCLim.

Mortalidad prematura por calor

Esta cadena de impacto evalúa el riesgo asociado mortalidad prematura (muertes por causas no accidentales) para el año 2050 considerando un aumento en la temperatura promedio anual máxima. El indicador de amenaza se basa en el cambio en el promedio anual de la temperatura máxima diaria durante el periodo 2035-2064 (escenario RCP8.5) con respecto al promedio de la temperatura máxima observada durante el período 1980-2010, para los meses con aumento de mortalidad. Por otro lado, se considera como indicador de exposición la población proyectada para el año 2050, y como indicador de sensibilidad un índice que integra la tasa base de mortalidad que representa la vulnerabilidad general de la población, así como la relación temperatura-mortalidad la cual asocia la temperatura con el riesgo relativo de muerte para cada día del año.

La cadena de impacto para la región de Coquimbo evaluó el riesgo de mortalidad prematura por calor para 15 comunas (La Serena, Coquimbo, Andacollo, La Higuera, Paihuano, Vicuña, Illapel, Canela, Los Vilos, Salamanca, Ovalle, Combarbalá, Monte Patria, Punitaqui, y Río Hurtado). Todas las comunas analizadas (con excepción de Coquimbo y La Serena) presentan un nivel de amenaza “alto” (temperaturas incrementadas en 1.5 a 2°C). Por otro lado, las comunas de Coquimbo y La Serena presentan un incremento de temperatura de 1°C. En términos de exposición y sensibilidad, las comunas de Coquimbo y La Serena presentan los niveles máximos, seguidos por la comuna de Ovalle. En términos de riesgo a sufrir un aumento de muertes prematuras por calor, las comunas de Coquimbo y La Serena presentan los mayores niveles (sobre 5,000 muertes), seguido por Ovalle (sobre 500 muertes) (**Fig. 11**).

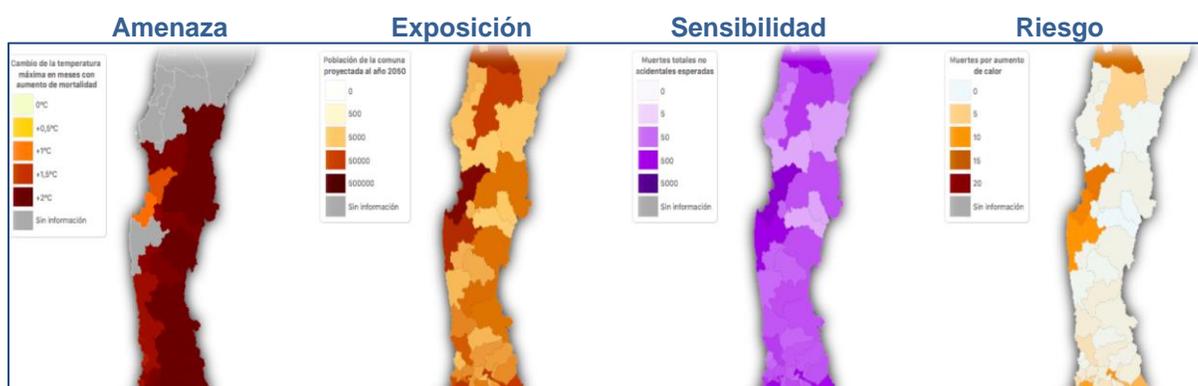


Figura 11. Riesgo de muerte prematura por cambios en las temperaturas en la Región de Coquimbo. Fuente: ARCLim.

Efectos de olas de calor en la salud humana



Esta cadena de impacto evalúa los efectos adversos sobre la salud humana (mortalidad y morbilidad) generados por las olas de calor considerando condiciones climáticas, sociales e institucionales tanto históricas como futuras. Como indicador de amenaza se consideró la incidencia de olas de calor entre el clima histórico (1980-2010) y futuro (2035-2065 bajo el escenario RCP8.5), mientras que el indicador de exposición considera la población (urbana y rural) que proyectada a residir en las distintas comunas de la Región para el año 2035. El indicador de sensibilidad representa la presencia de condiciones poblacionales o territoriales que aumentan la susceptibilidad de la comuna a sufrir impactos adversos de olas de calor (considera 15 indicadores subdivididos en 5 dimensiones: islas de calor urbano, empleo sensible, condiciones socioeconómicas, condiciones etarias y de salud y otras condiciones etarias). El indicador de resiliencia es una aproximación a la capacidad de distintos asentamientos humanos para responder y adaptarse a las amenazas climáticas a las que están expuestos y se construyó a partir de un total de 31 indicadores agrupados en 5 dimensiones, 3 para capacidad de respuesta (diversidad, redundancia y conectividad) y 2 para capacidad de adaptación (gestión municipal y vinculación municipal con la ciudadanía).

Este riesgo fue evaluado para todas las comunas de la Región de Coquimbo, y los resultados indican que las comunas de Ovalle y Combarbalá presentan el mayor índice de amenaza (“fuerte aumento” de mortalidad y morbilidad) en comparación con el resto de comunas (“leve aumento” de mortalidad y morbilidad). Las comunas de La Serena y Coquimbo presentan el mayor nivel de exposición (“muy alto”), seguido por la comuna de Ovalle (“alto”), mientras que las comunas con mayor nivel de sensibilidad son aquellas localizadas en el interior de la región (Paihuano, Monte Patria, Salamanca, Rio Hurtado y Vicuña). El nivel de resiliencia para todas las comunas se distribuye entre “moderado” y “alto”, con excepción de Punitaqui, Paihuano, Monte Patria, Illapel, y Andacollo que presentan niveles de resiliencia “muy bajo”. En relación al riesgo, las comunas de Illapel, Combarbalá, Punitaqui, Rio Hurtado, y Monte Patria presentan un potencial “fuerte aumento” en los efectos de las olas de calor en la salud humano (muertes y enfermedades asociadas) (**Fig. 12**).

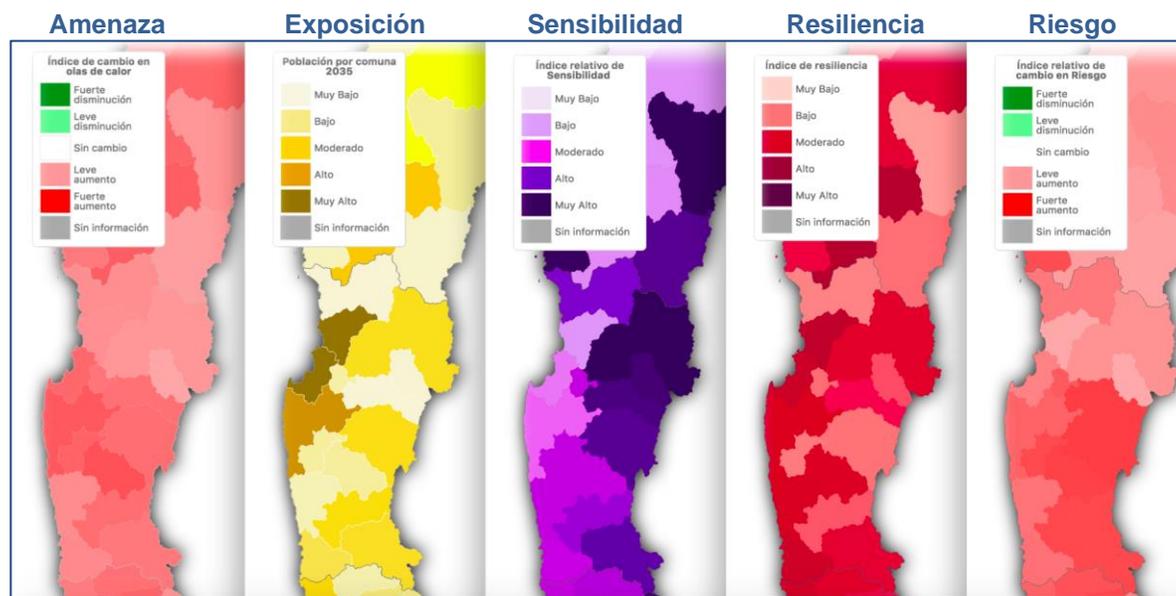


Figura 12. Riesgos en la salud humano por olas de calor para la Región de Coquimbo. Fuente: ARCLim.

Disconfort térmico

Para la construcción de esta cadena de impacto se determinó el riesgo de disconfort térmico ambiental debido al calor y humedad en los meses de verano. El disconfort térmico ambiental representa el grado de satisfacción de la población en los espacios abiertos, especialmente en parques, plazas y calles. El análisis se presenta para las ciudades principales, sobre 50.000 habitantes, por su relevancia en la modificación del clima local e importancia en el sistema urbano nacional.

Para el cálculo de riesgo se consideró como amenaza un aumento en las temperaturas y humedad relativa del aire para el mes más caluroso del año (enero) durante el período nocturno. El indicador de exposición corresponde al porcentaje de población infantil (0-5 años) y adulta mayor (sobre los 65 años), respecto del total de la población de cada ciudad, mientras que el indicador de sensibilidad corresponde al índice de vulnerabilidad social (SoVI) construido en base a factores socio-económicos y demográficos



de la población urbana. Para la región de Coquimbo se evaluó el riesgo de desconfort térmico para la conurbación La Serena-Coquimbo y la ciudad de Ovalle. Ambas ciudades presentan niveles máximos de amenaza y exposición. Por otro lado, la ciudad de Ovalle presenta un nivel máximo de sensibilidad, mientras que la conurbación La Serena – Coquimbo presenta niveles intermedios. El nivel de riesgo a sufrir desconfort térmico para ambas localidades es “bajo” (**Fig. 13**).

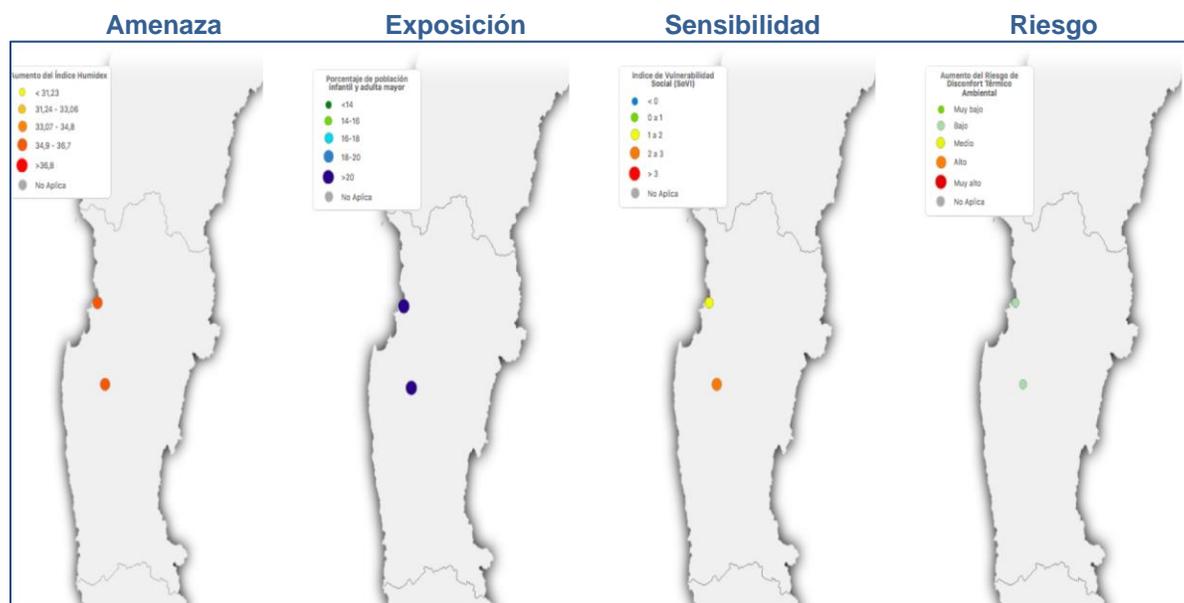


Figura 13. Riesgo de desconfort térmico para la Región de Coquimbo. Fuente: ARCLim.

Seguridad hídrica doméstica urbana

Esta cadena de impacto describe los efectos adversos sobre la seguridad hídrica rural a nivel doméstico generados por la sequía meteorológica considerando condiciones climáticas, sociales e institucionales tanto históricas como futuras. Para la construcción de esta cadena se consideró como amenaza la variación en la incidencia de sequías meteorológicas entre el clima histórico (1980-2010) y futuro (2035-2065 bajo el escenario RCP8.5). El indicador de exposición representa la población urbana que se proyecta residir en distintas comunas del país para el año 2035, mientras que el indicador de sensibilidad representa la presencia de condiciones demográficas, socioeconómicas y de infraestructura hídrica que aumentan la susceptibilidad de las comunas a sufrir impactos adversos en su seguridad hídrica doméstica urbana (8 indicadores divididos en cuatro sub-dimensiones: grupos vulnerables, condiciones de los hogares, servicios sanitarios, y condiciones territoriales). Por otra parte, el indicador de resiliencia ofrece una aproximación a la capacidad de distintos asentamientos humanos para responder y adaptarse a las amenazas climáticas a las que están expuestos. Este indicador es un índice compuesto por 31 factores agrupados en 5 dimensiones, 3 para capacidad de respuesta (diversidad, redundancia y conectividad) y 2 para capacidad de adaptación (gestión municipal y vinculación municipal con la ciudadanía).

Para la Región de Coquimbo se evaluó el riesgo de sufrir inseguridad hídrica para todas las comunas de la región con excepción de la Paihuano y Rio Hurtado que no presentan datos de exposición (sin información).

Los resultados indican que la incidencia de la sequía meteorológica son mayores en la zona interior y sur de la Región, mientras que las comunas de La Serena y Coquimbo presentan niveles de exposición “muy alto” y la de Ovalle “alto”. El resto de comunas tienen niveles de exposición “bajos” o “moderados”. En términos de sensibilidad, todas las comunas de la región presentan niveles “muy altos”, mientras que los niveles de resiliencia muestran valores “moderados” o “altos” con excepción de Punitaqui, Andacollo y Monte Patria que presentan valores “bajos”.

El riesgo de sufrir inseguridad hídrica urbana para la Región de Coquimbo es “muy alta” para todas las comunas de la región (**Fig. 14**).



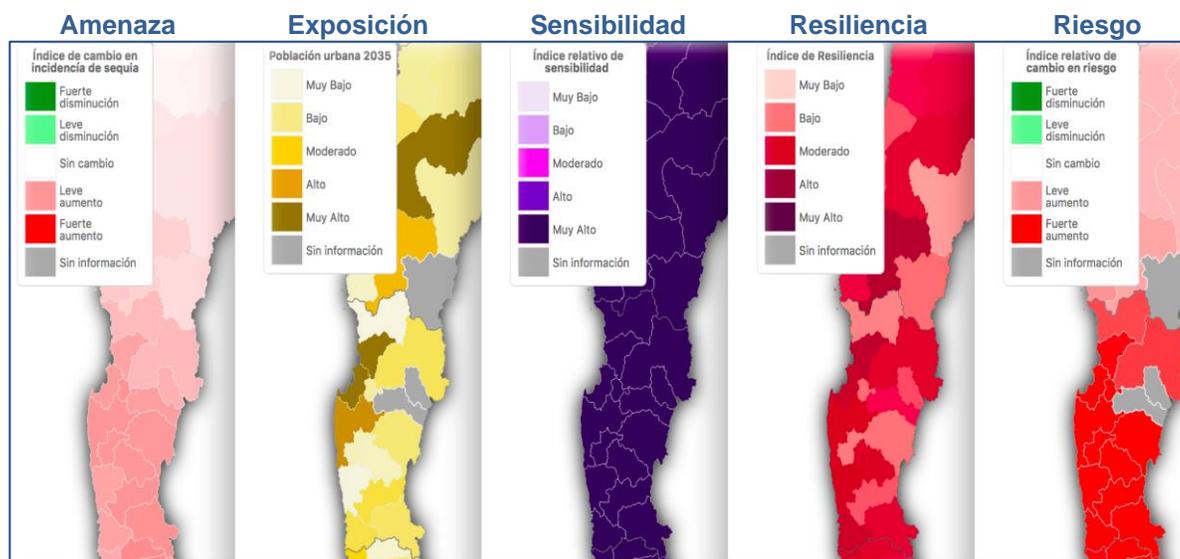


Figura 14. Riesgo de sufrir inseguridad hídrica doméstica urbana en la Región de Coquimbo. Fuente: ARCLim.

Seguridad hídrica doméstica rural

Esta cadena describe los efectos adversos sobre la seguridad hídrica urbana a nivel doméstico generados por la sequía meteorológica considerando condiciones climáticas, sociales e institucionales históricas y futuras. Para la construcción de esta cadena se consideró como amenaza la variación en la incidencia de sequías meteorológicas entre el clima histórico (1980-2010) y futuro (2035-2065 bajo el escenario RCP8.5). El indicador de exposición representa la población rural que se proyecta residir en distintas comunas del país en 2035, mientras que el indicador de sensibilidad representa la presencia de condiciones demográficas, socioeconómicas y de infraestructura hídrica que aumentan la susceptibilidad de la comuna a sufrir impactos adversos en su seguridad hídrica doméstica urbana (8 indicadores, divididos en cuatro sub-dimensiones: grupos vulnerables, condiciones de los hogares, servicios sanitarios, y condiciones territoriales). Por otra parte, el indicador de resiliencia ofrece una aproximación a la capacidad de distintos asentamientos humanos para responder y adaptarse a las amenazas climáticas a las que están expuestos. Este indicador es un índice compuesto por 31 indicadores agrupados en 5 dimensiones, 3 para capacidad de respuesta (diversidad, redundancia y conectividad) y 2 para capacidad de adaptación (gestión municipal y vinculación municipal con la ciudadanía).

Para la Región de Coquimbo se evaluó el riesgo de sufrir inseguridad hídrica doméstica rural para todas las comunas. Los resultados indican que la incidencia de la sequía meteorología son mayores en la zona interior y sur de la Región, mientras que las comunas de La Serena y Coquimbo presentan niveles de exposición “muy alto” y la de Ovalle “alto”. El resto de comunas tienen niveles de exposición “bajos” o “moderados”. En términos de sensibilidad, todas las comunas de la región presentan niveles “altos” y “muy altos”, mientras que los niveles de resiliencia muestran valores “moderados” o “altos”, con excepción de las comunas de Punitaqui, Andacollo y Monte Patria que presentan niveles “bajos”.

El riesgo de sufrir inseguridad hídrica doméstica rural para la Región de Coquimbo es “muy alta” para todas las comunas, con excepción de la comuna de Paihuano que presente niveles de riesgo “moderado” (Fig. 15).



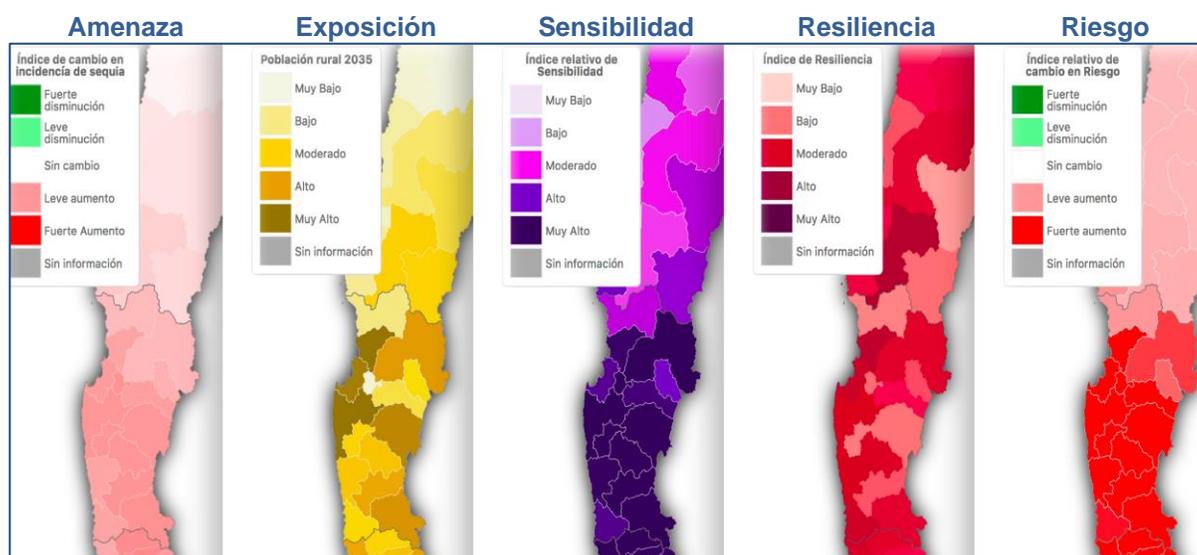


Figura 15. Riesgo de sufrir inseguridad hídrica doméstica rural en la Región de Coquimbo. Fuente: ARCLim.

4.1.3. Sectores Bosques Nativos y Plantaciones Forestales

Para los **sectores bosques nativos y plantaciones forestales** se evaluaron 4 riesgos relacionados con el verdor y presencia de incendios en bosques nativos y plantaciones forestales. Para mayor información sobre la metodología usada revisar Miranda et al., (2020).¹¹

Verdor en bosques nativos y plantaciones forestales

Este riesgo representa el efecto potencial de los cambios en el clima sobre el vigor o verdor de los bosques nativos y/o plantaciones forestales (es decir, la abundancia de clorofila en las hojas, lo que es una aproximación de la capacidad fotosintética y potencial de crecimiento de las plantas) a nivel comunal. La disminución de verdor puede representar disminución del crecimiento, defoliación y muerte de partes de la copa o de los individuos.

Para la evaluación del riesgo de pérdida de verdor se considera como indicador de amenaza la variación en la incidencia conjunta de sequías y olas de calor, mientras que el indicador de exposición representa la superficie cubierta de bosque nativo y/o plantación forestal a escala comunal. El potencial efecto del contenido de agua del suelo, la elevación y el índice de humedad topográfico aportan a la sensibilidad frente a sequías y olas de calor.

Para la región de Coquimbo se analizó el riesgo de pérdida de verdor en bosques nativos y plantaciones forestales para la totalidad de las comunas. Debido a que la superficie cubierta por bosques nativos (exposición) (**Fig. 16**) y/o plantaciones forestales (**Fig. 17**) en la Región es “baja”, los niveles de riesgo para toda la región de pérdida de verdor por sequía y olas de calor es “muy bajo”.

¹¹Miranda, A.; Carrasco, J.; González, M.; Mentler, R.; Moletto, Í.; Altamirano, A. & Lara, A.; 2020. Informe Proyecto ARCLim: Bosques Nativos y Plantaciones Forestales. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, Universidad de La Frontera, Instituto de Sistemas Complejos de Ingeniería, Universidad de Chile y Universidad Austral de Chile coordinado por Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia y Centro de Cambio Global UC para el Ministerio del Medio Ambiente a través de La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Temuco.



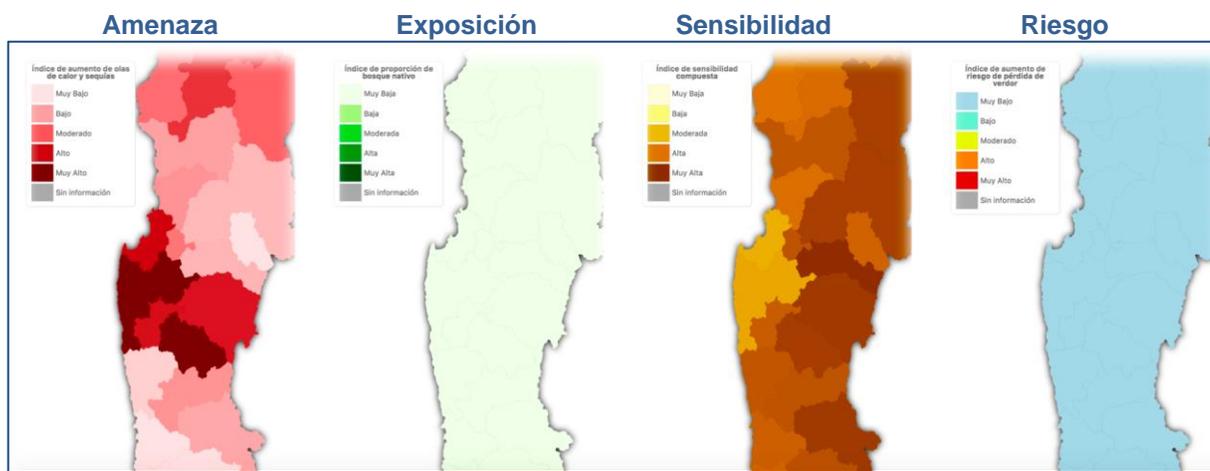


Figura 16. Riesgo de pérdida de verdor en bosques nativos por sequía y olas de calor en la Región de Coquimbo. Fuente: ARCLim.

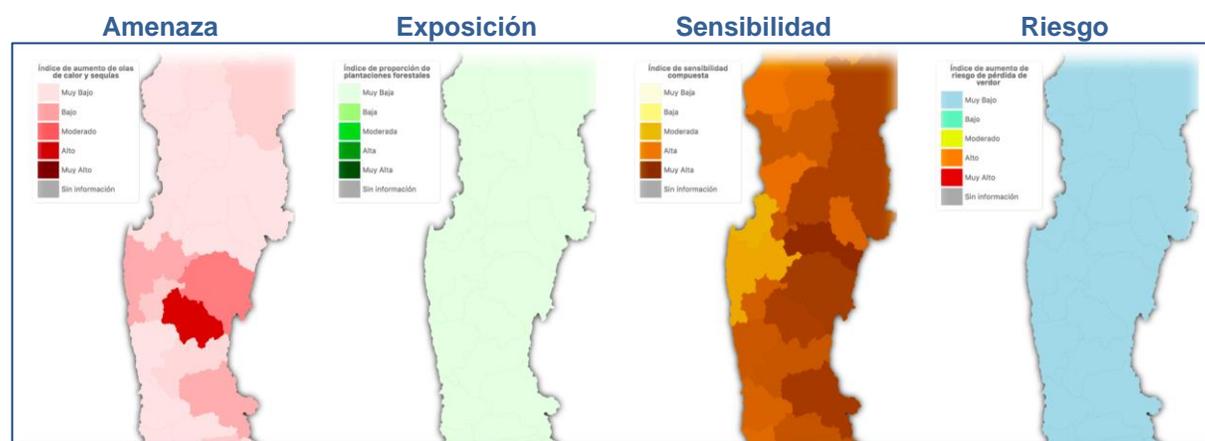


Figura 17. Riesgo de pérdida de verdor en plantaciones forestales por sequía y olas de calor en la Región de Coquimbo. Fuente: ARCLim.

Incendios en bosques nativos y plantaciones forestales

Los incendios forestales ocurren con mayor frecuencia en el periodo estival y, en particular, en los periodos de más calor. El riesgo de ocurrencia de incendios (aumento) consideró como indicador de amenaza la variación en la incidencia de temperaturas sobre 30°C (propicias para la ocurrencia de incendios forestales) entre el clima histórico (1980-2010) y futuro (2035-2065 bajo el escenario RCP 8.5). El indicador de exposición corresponde a la superficie cubierta por bosques nativos y/o plantaciones forestales a escala comunal, mientras que el indicador de sensibilidad es un índice compuesto con información sobre la densidad de caminos, distancia a caminos, distancia a ciudades, densidad poblacional, densidad de casas, elevación, pendiente, latitud y longitud y las coberturas del suelo.

Para la región de Coquimbo se analizó el riesgo de aumento de incendios en bosques nativos y plantaciones forestales para la totalidad de las comunas. Debido a que la superficie cubierta por bosques nativos (**Fig. 18**) y/o plantaciones forestales (**Fig. 19**) en la Región es “baja”, los niveles de riesgo de aumento de incendio para toda la región son de nivel “muy bajo”.



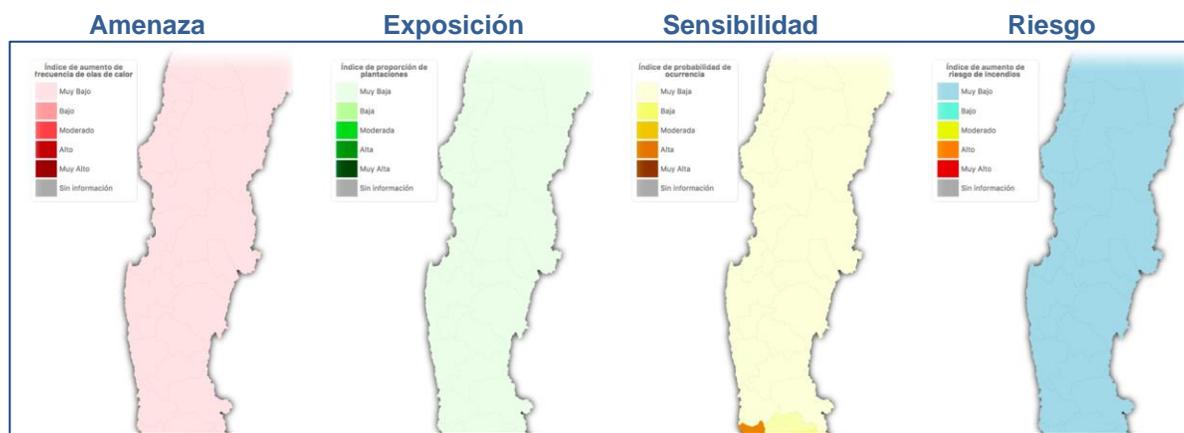


Figura 18. Riesgo de incendios en bosques nativos por sequía y olas de calor en la Región de Coquimbo. Fuente: ARCLim.

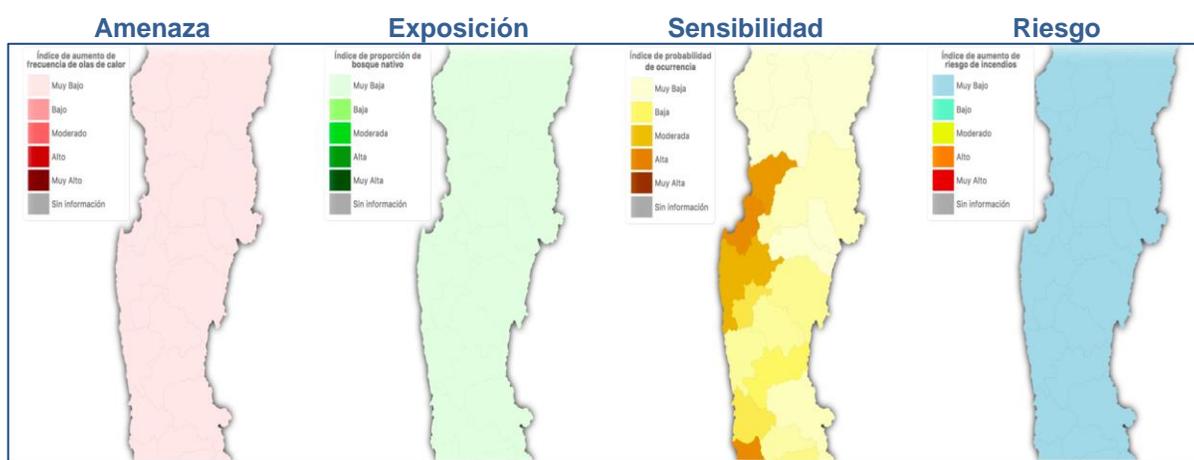


Figura 19. Riesgo en incendios en plantaciones forestales por sequía y olas de calor en la Región de Coquimbo. Fuente: ARCLim.

4.1.4. Sector Infraestructura Costera

Para el **sector infraestructura costera** se evaluaron dos riesgos relacionados con el aumento del *downtime* (cierre de operaciones) en caletas de pescadores y puertos estatales debido a cambio en el régimen de oleaje, es decir, presencia de marejadas. Para más detalle sobre la metodología usada ver Winckler et al., (2020)¹².

Aumento del *downtime* para caletas de pescadores

Durante los episodios de mal tiempo, con fuerte oleaje y marejadas, las actividades de la pesca artesanal se detienen generando pérdidas importantes en el ingreso de los pescadores.

Esta cadena de impacto evalúa el riesgo de pérdida de desembarque de las caletas de pescadores debido a cambios en el régimen del oleaje (amenaza) que se traduce en *downtime* (condiciones que no permiten la realización de actividades pesqueras en embarcaciones menores). El indicador de exposición se estimó combinando datos sobre el número de todos los pescadores (recolectores, buzos, armadores y pescadores) y embarcaciones (inferiores a 18 metros de eslora), lo cual se traduce finalmente en desembarque de peces, invertebrados y algas. La sensibilidad de las caletas frente a marejadas está relacionada con la sensibilidad estructural (fracción de navegantes, fracción de embarcaciones mayores y capacidad organizativa, relacionada con existencia de AMERB), y sensibilidad operacional (ruralidad de la caleta, existencia de obras de abrigo, muelle o rampa, abrigo natural).

¹² Winckler, P.; Contreras - López, M.; Larraguibel, C.; Mora, J.; Esparza, C.; Agredano, R. Martínez, C. & Torres, I., 2020. Informe Proyecto ARCLim: Zonas Costeras. Universidad de Valparaíso, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Pontificia Universidad Católica de Chile, coordinado por Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia y Centro de Cambio Global UC para el Ministerio del Medio Ambiente a través de La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Valparaíso.



Para la Región de Coquimbo se evaluó el riesgo de cierre de operaciones para las caletas El Apollado, Punta Choros A (San Agustín), Punta Choros B (Los Corrales), Los Choros (Choreadero), Chungungo, Totalillo Norte, Hornos, San Pedro, La Serena, Peñuelas, Coquimbo, Guayacán, Playa Chica de La Herradura, Totalillo Centro (Totalillo), Guanaqueros, Tongoy, Puerto Aldea (Hornilla), Total, Talcaruca, El Sauce, Limarí (El Toro), Talquilla, Talca, La Cebada, Sierra (El Maitén), Maitencillo, Puerto Oscuro, Puerto Manso, Huentelauquén, Chigualoco, San Pedro, Los Vilos, Las Conchas, Cascabeles y Totalillo. Los resultados indican que el riesgo de pérdida de desembarque por aumento de marejadas es “alto” y “muy alto” en caletas del norte y sur de la región, mientras que el resto de caletas tienen niveles de riesgo “bajos” o “moderados” (**Fig. 20**).

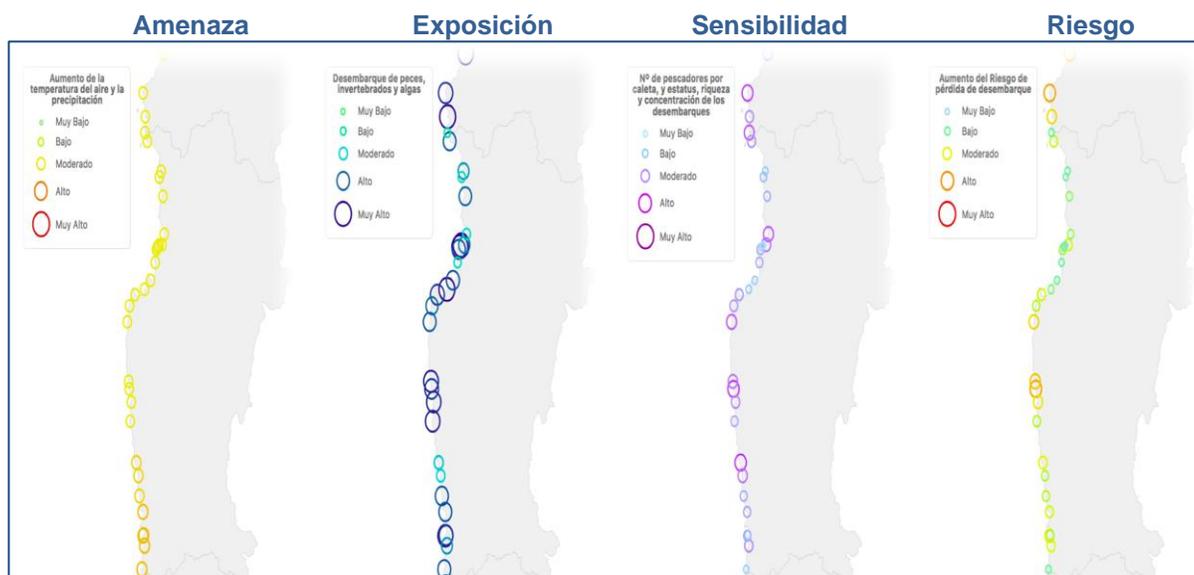


Figura 20. Riesgo en aumento de cierre de puertos en caletas de pescadores por marejadas en la Región de Coquimbo. Fuente: ARCLim.

Aumento de downtime para puertos estatales

Durante los episodios de mal tiempo, los puertos estatales marítimos se cierran para garantizar la seguridad de las naves, carga y operadores, incluyendo la suspensión total o parcial del tránsito o actividades marítimas, de remolcadores y de los botes salvavidas lo que finalmente resulta en pérdidas económicas del orden de millones de dólares a los actores de la cadena logística.

En esta cadena de impacto se analiza el impacto asociado a la pérdida de disponibilidad de sitios de atraque debido a oleaje en los puertos chilenos estatales en aguas expuestas, en el contexto del cambio climático. Para el cálculo del indicador de riesgo se consideró como amenaza el cambio en la frecuencia de marejadas, mientras que el indicador de exposición determina la carga transferida como una aproximación de las pérdidas de exportaciones e importaciones por puerto cerrado. La sensibilidad se evaluó a través de los certificados de cierre de puerto (2015, 2016 y 2017), así como de datos de cierres de puerto.

Para la región de Coquimbo se evaluó el riesgo del cierre de operaciones para el puerto de Coquimbo, el cual en términos de operación (cierre de puerto por marejadas) presentará un “deterioro leve”. Este deterioro está principalmente basado en la “alta sensibilidad” del puerto a cerrar por malas condiciones (**Fig. 21**).



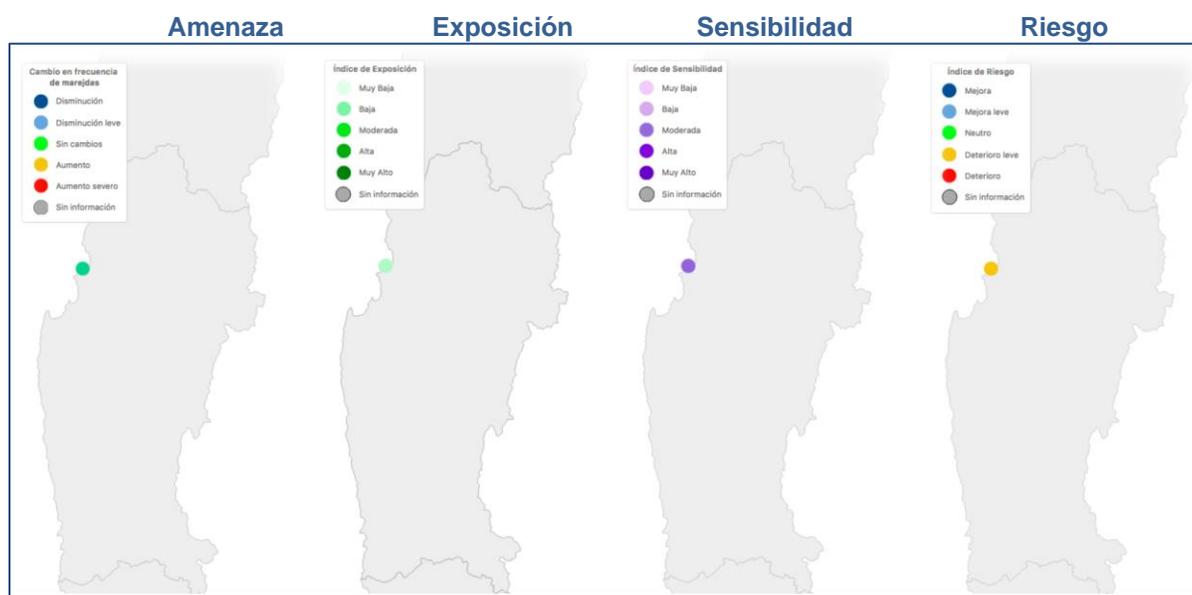


Figura 21. Riesgo en aumento de cierre de puertos estatales por marejadas en la Región de Coquimbo. Fuente: ARCLim.

4.1.5. Sector Recursos Hídricos

Para el sector **recursos hídricos** se evaluaron 4 riesgos relacionados con el aprovechamiento de agua superficial, inundaciones, y sequías hidrológicas. Para mayor detalle sobre la metodología revisar Vicuña et al., (2020)¹³.

Riesgo en el aprovechamiento de agua superficial de riego

Esta cadena de impacto está asociada al riesgo de aprovechamiento de agua superficial de riego (medido como requerimiento de agua, exposición) considerando como amenaza el cambio en la precipitación anual (en milímetros) del clima futuro (2035-2065) e histórico (1980-2010). Por otro lado, como indicador de sensibilidad se evalúa la sensibilidad climática del sistema y la capacidad de ejercer la extracción deseada de recursos hídricos superficiales. En términos generales, una variación positiva corresponde a un aumento del déficit promedio de abastecimiento, mientras que una variación negativa corresponde a una disminución del déficit promedio de abastecimiento.

Para la región de Coquimbo se evaluó el riesgo de aprovechamiento de agua superficial de riego para las zonas de riego de las cuencas del Limarí y Choapa. Para el horizonte 2035-2065, los resultados indican un riesgo de “moderado” a “bajo” para ambas cuencas. Sin embargo, el nivel de amenaza es alto (reducciones de precipitaciones de hasta el 20%), y los niveles de sensibilidad son de “altos” a “muy altos” para ambas cuencas (**Fig. 22**).

¹³Vicuña, S.; Bustos, E.; Calvo, C.; Tesen, K.; Gironás, J. & Suárez, F., 2020. Informe Proyecto ARCLim: Recursos Hídricos. Centro de Cambio Global UC coordinado por Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia y Centro de Cambio Global UC para el Ministerio del Medio Ambiente a través de La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Santiago.



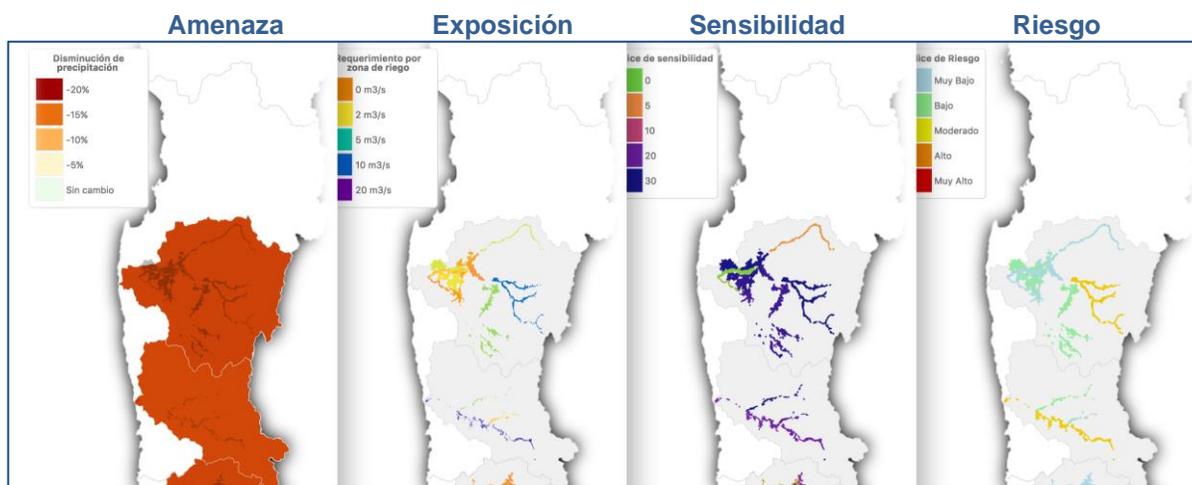


Figura 22. Riesgo en aprovechamiento de agua superficial de riego para la Región de Coquimbo. Fuente: ARCLim.

Inundaciones por desbordes de ríos

Esta cadena de impacto evalúa el riesgo a sufrir efectos negativos como consecuencia de inundaciones generadas por precipitaciones extremas con un período de retorno de 100 años, las cuales aumentan los caudales en esteros y ríos, y además incrementan la altura de escurrimiento. Dependiendo de las condiciones del río, este aumento puede generar desbordes en los cauces, lo que comúnmente define áreas inundadas en los centros poblados que colindan con los ríos.

Para la construcción de esta cadena de impacto se consideró como amenaza el cambio en los caudales máximos asociados a precipitaciones extremas. Por otro lado, la exposición está dada por la densidad de infraestructura crítica (obras hidráulicas dentro de 2km) y el porcentaje de centros urbanos expuesto a inundaciones. La sensibilidad está determinada por la vulnerabilidad de las obras hidráulicas, la cual se basa en el período de retorno de diseño de la obra hidráulica respecto al período de retorno de la crecida evaluada. Las características del cauce y las obras de defensa fluvial colindantes también son consideradas factores que aportan a la sensibilidad del sistema.

Para la región de Coquimbo se evaluó el riesgo de inundación por desborde de ríos para 14 centros poblados (La Serena, Coquimbo, Paihuano, Vicuña, Samo Alto, Monte Patria, Carén, Mincha Norte, Illapel, Salamanca, Coiron, Chillepin, Tranquilla, y Concumen). Los resultados indican que los centros urbanos de La Serena y Mincha Norte presenta el mayor riesgo a sufrir inundaciones por desborde de ríos en la Región de Coquimbo. El resto de localidades presentan riesgo “alto”. Los niveles de exposición (densidad de infraestructura crítica y centros urbanos) así como de sensibilidad (vulnerabilidad de obras hidráulicas) tiene niveles “severos” a “muy severos” para la Región de Coquimbo (**Fig. 23**).

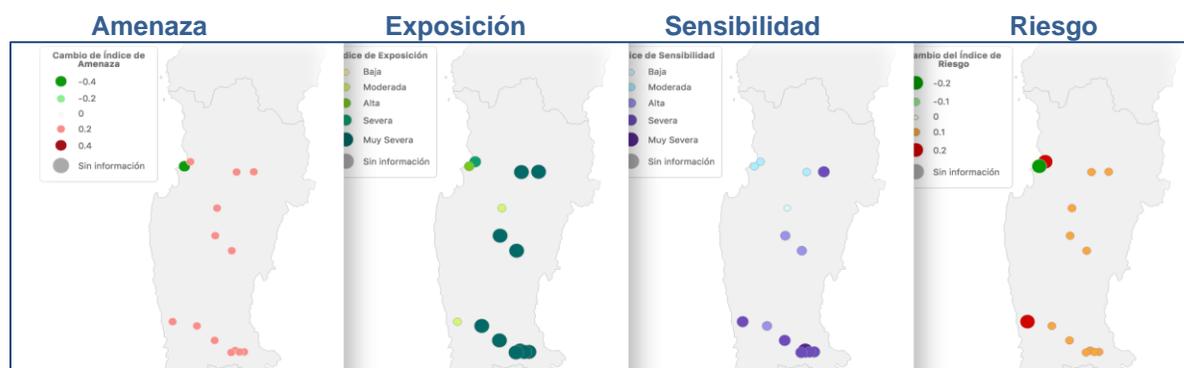


Figura 23. Riesgo en aumento de inundaciones por desbordes de ríos en la Región de Coquimbo. Fuente: ARCLim.

Inundaciones en zonas urbanas

Esta cadena de impacto evalúa el riesgo a sufrir efectos negativos de inundaciones generadas por precipitaciones extremas en zonas urbanas de diferentes comunas de la región de Coquimbo, considerando aspectos sociales y existencia de servicios básicos junto a las condiciones climáticas presentes y futuras. El indicador de amenaza muestra el cambio del porcentaje de falla de colectores de aguas lluvia debido a eventos de lluvias extremas. Como indicadores de exposición se consideraron la



densidad poblacional, densidad de infraestructura educacional y la cantidad de servicios críticos, mientras que el indicador de sensibilidad considera la vulnerabilidad asociada a la calidad de las viviendas y servicios críticos.

Para la región de Coquimbo se evaluó el riesgo de inundaciones para 3 zonas urbanas (La Serena, Coquimbo y Ovalle). Los resultados indican que La Serena sufrirá un “leve aumento” en el riesgo de inundación debido a lluvias extremas, mientras que las localidades de Coquimbo y Ovalle presentan un “bajo riesgo”. Esto es debido principalmente a que la amenaza de falla de colectores de agua lluvia frente a eventos extremos de lluvia (amenaza) afectará principalmente a La Serena. En cuanto a los niveles de exposición y sensibilidad, Coquimbo es la localidad con mayor exposición, mientras que la sensibilidad es “alta” o “severa” para los 3 centros urbanos de la región analizados (**Fig. 24**).



Figura 24. Riesgo en aumento inundaciones en zonas urbanas generadas por precipitaciones extremas en la Región de Coquimbo. Fuente: ARClím.

Sequías hidrológicas

Se entiende por sequía hidrológica una condición de déficit extremo en alguna variable hidrológica con respecto a su comportamiento habitual en una o más cuencas de interés. Este riesgo muestra los efectos adversos de sequías hidrológicas, identificada en base a mediciones de caudal asociadas tanto a un aumento en la frecuencia de los caudales bajos, como también a una disminución en la magnitud de los caudales extremos bajos.

Para la construcción de este riesgo se consideraron como indicadores de amenazas los cambios en los caudales medios diarios y el número de días promedio en los cuales la cuenca se encuentra en una condición de sequía entre el clima histórico (1979-2014) y futuro (2025-2060 bajo el escenario RCP 8.5). Por otro lado, como indicador de exposición se considera la población rural residente a nivel comunal, mientras que el indicador de sensibilidad considera cuatro conjuntos de parámetros que incluyen las condiciones de sensibilidad territorial (zonas de escasez hídrica, declaraciones de prohibición y restricción de aprovechamiento del recurso hídrico, índice de desertificación, huella hídrica y APR con derechos de agua, condiciones de sensibilidad poblacional – socioeconómica (incidencia de pobreza por ingreso, incidencia de pobreza multidimensional, proporción de población con reducida educación y fuente principal de suministro de agua por camión aljibe), condiciones de sensibilidad poblacional – etaria y de salud (proporción de la población en la categoría de adulto mayor, proporción de población infantil y prevalencia de condiciones de riesgo por desnutrición), y condiciones de sensibilidad demográficas (proporción de hogares liderados por una mujer, proporción de habitantes pertenecientes a pueblos originarios, proporción de población inmigrante y número promedio de habitantes por vivienda).

Para la Región de Coquimbo se estimó el riesgo de sequía hidrológica para 10 comunas (La Serena, Andacollo, Paihuano, Vicuña, Monte Patria, Rio Hurtado, Combarbalá, Punitaqui, Ovalle, e Illapel). Los resultados indican que todas las comunas de la región tienen niveles de riesgo “moderado” o “alto”. La magnitud del riesgo es consecuencia de niveles “severos” de amenazas (ocurrencia de sequía), así como niveles de sensibilidad “moderada” y niveles de exposición “altos” y “muy altos” (**Fig. 25**).



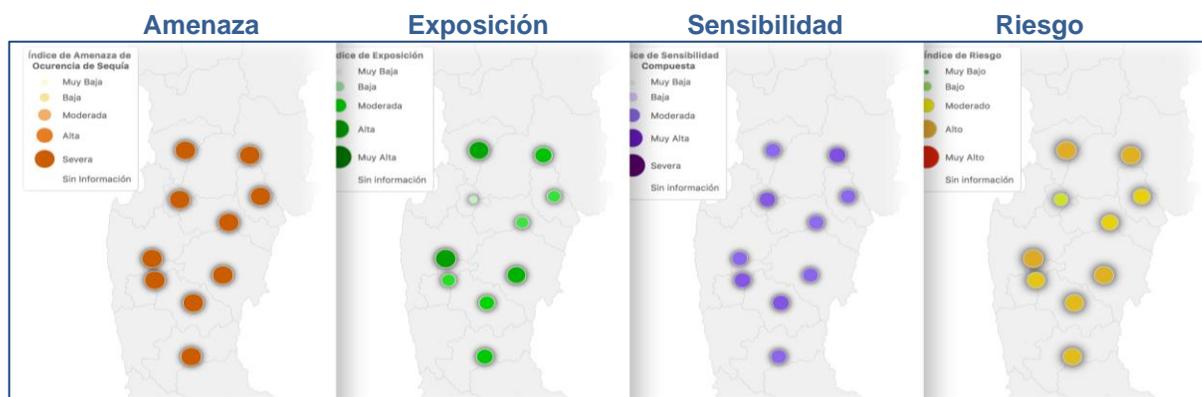


Figura 25. Riesgo de ocurrencia de sequía hidrológica en la Región de Coquimbo. Fuente: ARCLim.

4.1.6. Sector Turismo

Para el **sector turismo** se evaluaron 3 riesgos relacionados con la pérdida de atractivo turístico debido a cambios en la cotas de inundaciones, erosión de playa y aumentos de olas de calor, respectivamente. Para más detalle ver Gibbs et al., 2020¹⁴.

Pérdida de atractivo turístico por erosión de playas

Las playas actúan como un sistema de protección natural, donde la acción conjunta del oleaje, la marea astronómica y otros fenómenos climáticos actúan erosionando y/o depositando el sedimento disponible. El potencial erosivo de estos procesos puede causar consecuencias dramáticas tanto para playas como para la infraestructura costera. Para la construcción de este riesgo se consideró como indicador de amenaza el cambio en la cota de inundación debido a la combinación de aumento del nivel de mar y aumento de intensidad de las marejadas. Por otro lado, los indicadores de exposición consideran el área de las playas, mientras que el indicador de sensibilidad es un indicador compuesto a partir de la sensibilidad estructural que a su vez considera la importancia relativa del tipo de rompiente, la existencia de drenaje y la existencia de dunas, así como la tasa de erosión normalizada.

Para la región de Coquimbo se estimó el riesgo de erosión de playas para 6 playas (La Serena, La Herradura, Guanaqueros, Playa Grande de Tongoy, Playa Amarilla de Los Vilos, y Playa Pichidangui de Los Vilos). Los resultados indican que Playa Grande de Tongoy presenta un riesgo “muy alto” debido a niveles “muy altos” de exposición y “altos” de sensibilidad (**Fig. 26**).



Figura 26. Riesgo erosión de playa en la Región de Coquimbo. Fuente: ARCLim.

¹⁴ Gibbs, M. & Meza, R., 2020. Informe Proyecto ARCLim: Turismo. AKUTERRA coordinado por Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia y Centro de Cambio Global UC para el Ministerio del Medio Ambiente a través de La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Santiago.



Pérdida de atractivo turístico en destinos sol y playa

Este riesgo evalúa la potencial pérdida de atractivo turístico de sol y playa en los destinos de tipología litoral debido al aumento de eventos de marejadas que provocan erosión costera, pérdida de playas, eventuales cierres de caletas y puertos, así como un impacto negativo para el turismo.

Para la construcción de este riesgo se consideró como indicador de amenaza el potencial aumento de riesgo de erosión de playas entre el periodo histórico (1985-2004) y futuro (2026-2045 bajo el escenario RCP 8.5), mientras que el indicador de exposición representa la demanda turística en temporada alta de sol y playa. El indicador de sensibilidad representa la diversidad de oferta estimada en el período presente a partir de dos factores: presencia de otros atractivos turísticos, distintos a los subtipos "balnearios"; y la llegada de pasajeros en período de temporada baja (invierno).

Para la Región de Coquimbo se estimó el riesgo de pérdida de atractivo turístico en destinos sol y playa por marejadas para 6 playas (La Serena, La Herradura, Guanaqueros, Playa Grande de Tongoy, Playa Amarilla de Los Vilos y Playa Pichidangui de Los Vilos). Los resultados indican que las playas de Grande de Tongoy y La Serena presentan riesgos "muy altos", mientras que el resto de las playas presentan riesgos "moderados" o "bajos". Los niveles de amenazas para las playas evaluadas se distribuyen entre "muy bajos" a "muy altos", siendo la Playa Grande de Tongoy y La Serena la que presentan un mayor nivel de potencial erosión. Los niveles "muy altos" de exposición fueron establecidos para La Serena, mientras que el riesgo de las playas de la región presenta niveles "moderados", "altos" o "muy altos" de sensibilidad (**Fig. 27**).

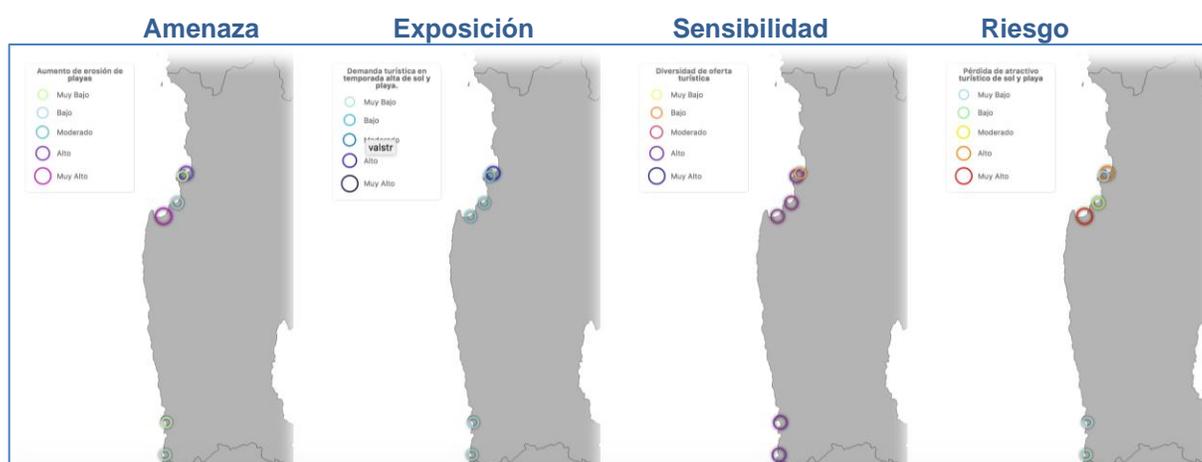


Figura 27. Riesgo pérdida de atractivo sol y playa en la Región de Coquimbo. Fuente: ARCLim.

Pérdida de atractivo turístico por ocurrencia de incendios forestales

Esta cadena de impacto evalúa la pérdida del patrimonio turístico y paisaje natural por aumento de incendios forestales, específicamente en bosque nativo debido a altas temperaturas, sequía y cambios en los patrones de vientos, entre otros.

Para la construcción de esta cadena se consideró como indicador de amenaza el incremento de olas de calor (temperaturas sobre 30°C), mientras que el indicador de exposición representa la densidad del bosque nativo a nivel comunal y el indicador de sensibilidad representa la presencia de plantaciones forestales en el entorno, densidad de población, rasgos geomorfológicos, entre otros.

Para la Región de Coquimbo se evaluó el riesgo de pérdida de atractivo turístico por incendios forestales para todas las comunas. Los resultados indican un riesgo "muy bajo" o "nulo" en el aumento de incendios forestales. Sin embargo, los niveles de sensibilidad y exposición para la región de Coquimbo son "moderados" a "muy altos" (**Fig. 28**).



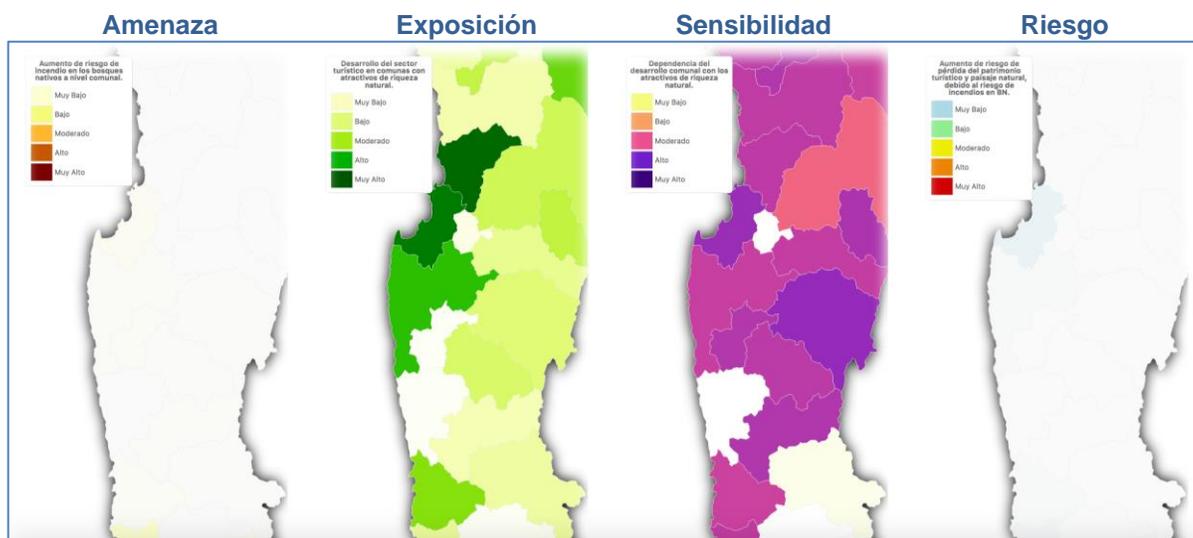


Figura 28. Riesgo de atractivo turístico por incendios forestales en la Región de Coquimbo. Fuente: ARClím.

4.1.7. Sector Pesca Artesanal

Para el **sector pesca artesanal** se evaluó un único riesgo asociado a la pérdida de desembarque artesanal frente a cambios en la temperatura del aire y de las precipitaciones (amenaza) para desembarques de peces, invertebrados y algas (exposición). Como indicador de sensibilidad se usó un índice compuesto que considera tanto el número de pescadores como el estatus, riqueza específica y concentración de recursos pesqueros. Para más detalle sobre la metodología, ver Cubillos et al., 2020¹⁵.

Para la Región de Coquimbo se evaluaron un total de 34 caletas de pescadores artesanales (El Apollado, Punta Choros A (San Agustín), Punta Choros B (Los Corrales), Los Choros (Choreadero), Chungungo, Totalillo Norte, Hornos, San Pedro, La Serena, Peñuelas, Coquimbo, Guayacán, Playa Chica de La Herradura, Totalillo Centro (Totalillo), Guanaqueros, Tongoy, Puerto Aldea (Hornilla), Totoral, Talcaruca, El Sauce, Limarí (El Toro), Talquilla, Talca, La Cebada, Sierra (El Maitén), Maitencillo, Puerto Oscuro, Puerto Manso, Huentelauquen, Chigualoco, San Pedro, Los Vilos, Las Conchas, Cascabeles, Totalillo Sur, Pichidangui). Los resultados indican que los niveles de riesgo de pérdida de desembarque pesquero artesanal son mayores en el norte y sur de la Región con niveles “muy altos”, “altos” y “moderados”. Los niveles de amenazas son “moderados” para todas las caletas de la región, mientras que los niveles de exposición son “altos” o “muy altos”. Por otro lado, los niveles de sensibilidad son variables entre caletas y se encuentran entre “bajos” a “muy altos” (**Fig. 29**).

¹⁵ Cubillos, L.; Soto, D.; Hernández, A. & Norambuena, R., 2020. Informe Proyecto ARClím: Pesca Costera. COPAS Sur-Austral, Universidad de Concepción e INCAR coordinado por Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia y Centro de Cambio Global UC para el Ministerio del Medio Ambiente a través de La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Concepción.



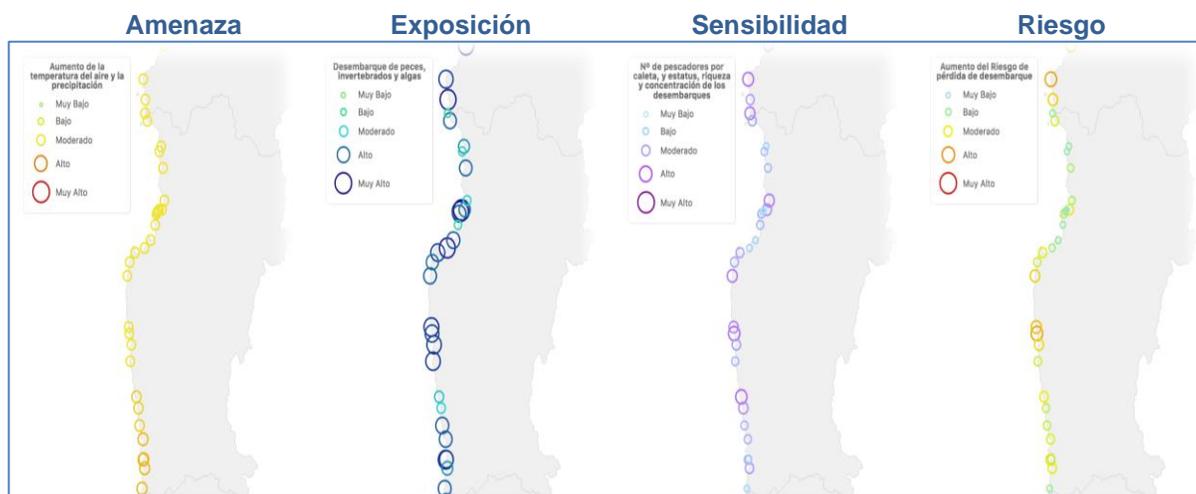


Figura 29. Riesgo de pérdida de desembarque artesanal en la Región de Coquimbo. Fuente: ARCLim.

4.1.8. Sector Biodiversidad

Para el **sector biodiversidad** se evaluaron 4 riesgos relacionados con la pérdida de diversidad de especies vegetales y animales por cambios en precipitaciones y temperatura (amenaza), donde el indicador de sensibilidad evalúa la tolerancia fisiológica y la amplitud del nicho climático de las especies (hábitat potencial de las especies animales y vegetales) para todas las comunas de la Región de Coquimbo. Para más información sobre la metodología usada, ver Pliscoff et al., 2020¹⁶.

Cambios de fauna y flora terrestre por cambios de precipitación

Para la Región de Coquimbo, el riesgo de pérdida de la diversidad de especies vegetales y animales producto del cambio futuro en la precipitación promedio anual es “bajo” o “moderado” para la fauna, y “moderado” o “muy alto” para la flora. El nivel de amenaza (disminución de precipitaciones) es “bajo” para todas las comunas de la Región, mientras que el nivel de exposición es “moderado o bajo” o “muy bajo” para la fauna, mientras que para la flora se distribuye entre “bajo” o “muy alto” en el sur de la región. Los niveles de sensibilidad para fauna son “muy bajos” para todas las comunas, mientras que para la flora son “altos y muy altos” (**Fig. 30 y 31**).

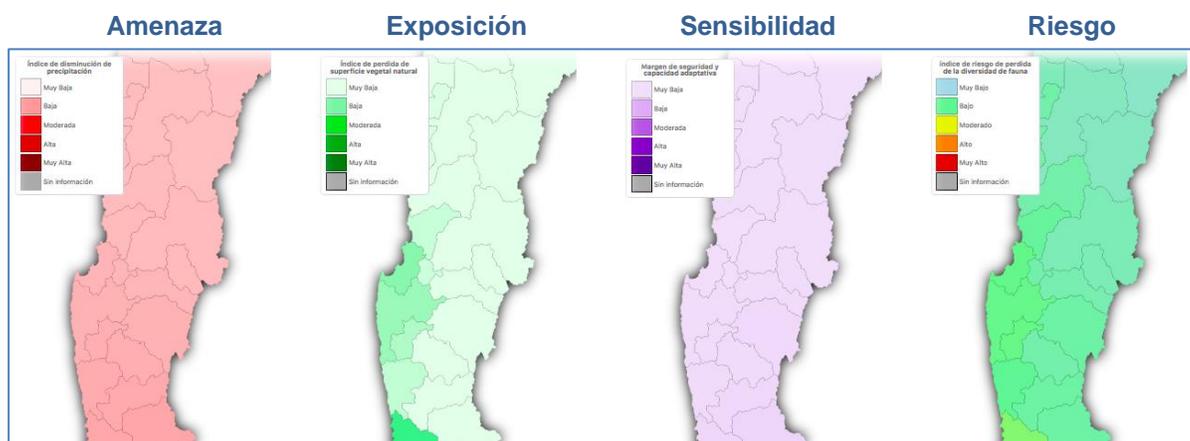
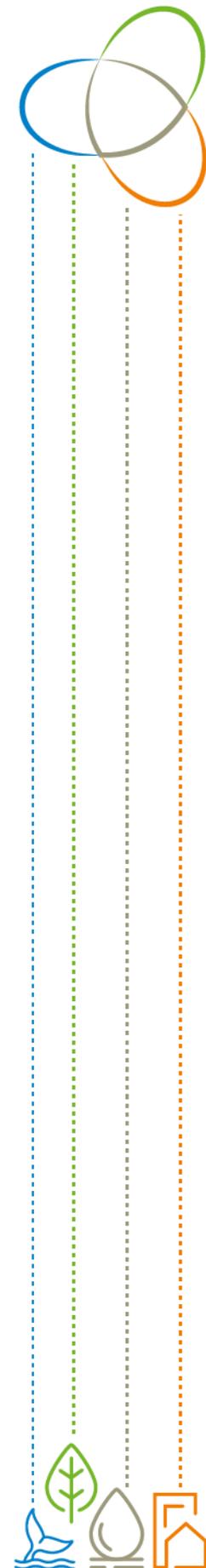


Figura 30. Riesgo de pérdida fauna terrestre por cambios en precipitaciones en la Región de Coquimbo. Fuente: ARCLim.

¹⁶ Pliscoff, P.; Uribe, D., 2020. Informe Proyecto ARCLim: Biodiversidad. Centro de Cambio Global UC coordinado por Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia y Centro de Cambio Global UC para el Ministerio del Medio Ambiente a través de La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Santiago.



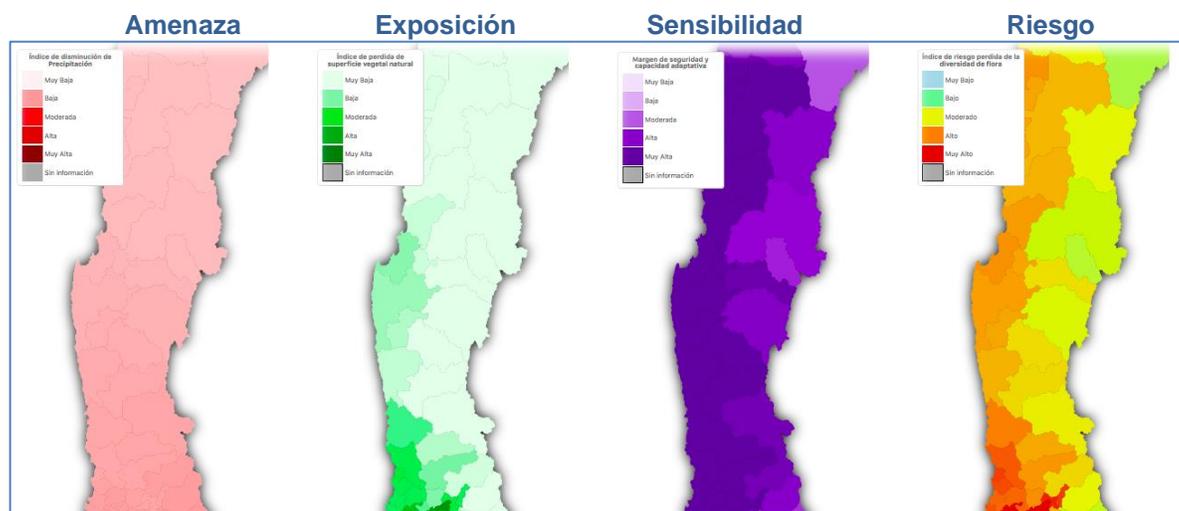


Figura 31. Riesgo de pérdida flora terrestre por cambios en precipitaciones en la Región de Coquimbo. Fuente: ARCLim.

Cambios de fauna y flora terrestre por cambios de temperatura

Para la Región de Coquimbo, el riesgo de pérdida de la diversidad de especies vegetales y animales producto del cambio futuro en la temperatura es “bajo” o “muy bajo” (fauna y flora). El nivel de amenaza (aumento de la temperatura media) es “bajo” o “muy bajo” para todas las comunas de la Región, mientras que los niveles de exposición (fauna y flora) son “bajos a muy bajos”. Los niveles de sensibilidad para fauna y flora son “bajos” y “muy bajos” para todas las comunas” (**Fig. 32 y 33**).

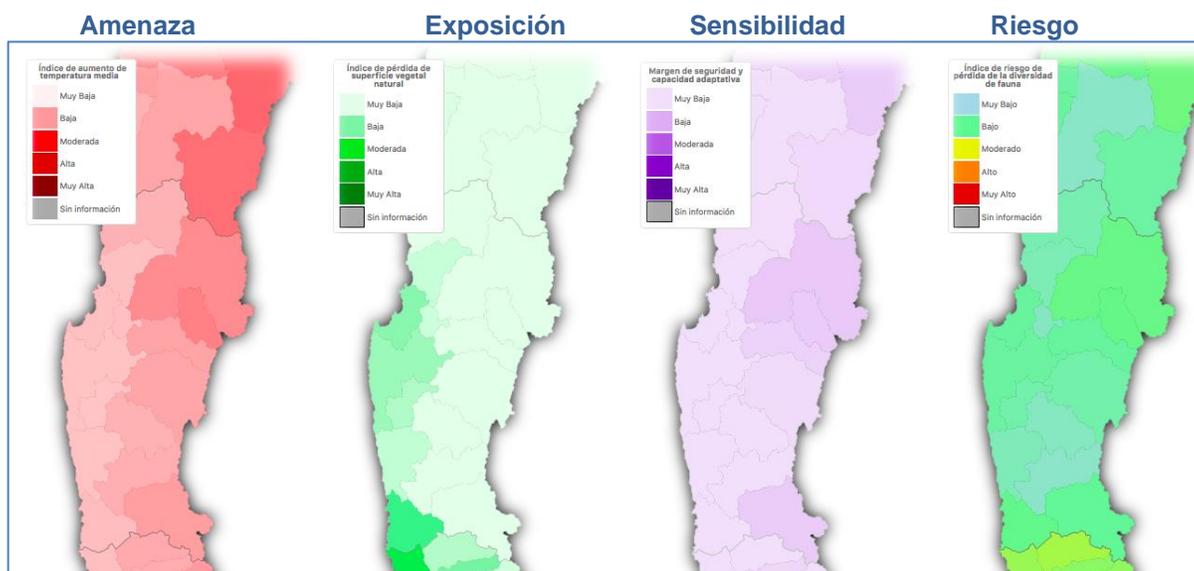


Figura 32. Riesgo de pérdida de fauna terrestre por aumento de temperaturas en la Región de Coquimbo. Fuente: ARCLim.



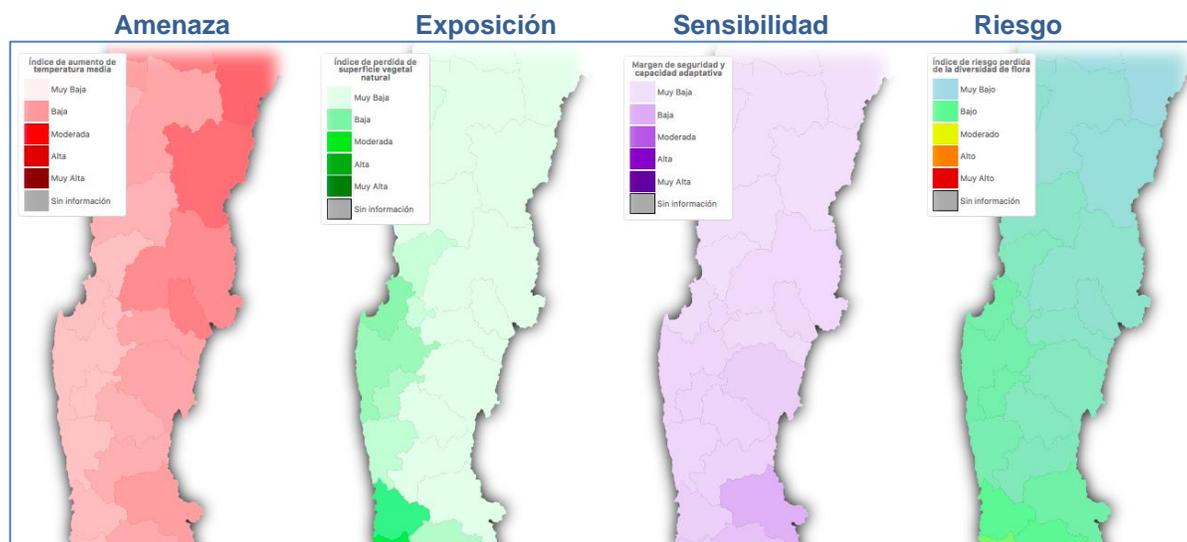


Figura 33. Riesgo de pérdida de flora terrestre por aumento de temperaturas en la Región de Coquimbo. Fuente: ARCLim.

4.1.9. Sector Energía Eléctrica

Para el sector **energía eléctrica** se evaluaron 4 riesgos relacionados con disminución de recursos hídricos, cambios en la radiación solar, aumento de temperatura y su impacto en las líneas de transmisión. Para más información ver Lorca et al., 2020¹⁷.

Impactos de disminución del recurso hídrico y eólico.

Esta cadena de impacto evalúa el riesgo de aumento de los costos marginales del sistema eléctrico asociado a la disminución del recurso hídrico de las principales plantas de generación hidroeléctrica y eólicas. Para la construcción de este riesgo se consideró como indicador de amenaza la disminución promedio de la energía total generada (en relación con las otras centrales hidroeléctricas y eólicas del país) debido a la disminución de las precipitaciones entre el clima histórico (1980-2010) y el clima futuro (2035-2065 bajo el escenario RCP 8.5). En el caso del impacto de cambios en el recurso eólico, la amenaza considera el porcentaje de cambio de la velocidad del viento percibida por las centrales de generación eólica. Por otro lado, el indicador de exposición considera la concentración de demanda eléctrica respecto al consumo máximo. Este indicador asocia el consumo de cada una de las subestaciones a su porcentaje de participación en la demanda de cada comuna. Finalmente, el indicador de sensibilidad considera la susceptibilidad de sufrir impactos adversos debido a una menor disponibilidad de los recursos hídricos o eólicos en el sistema.

Para la Región de Coquimbo, el riesgo a sufrir costos marginales en el sistema eléctrico por reducción de recurso hídrico o eólico fue determinado para todas las comunas de la región.

En relación a cambios en las precipitaciones, los niveles de riesgo mayores (“moderados” y “altos”) fueron encontrados para la zona central de la región debido principalmente a los niveles “altos” y “muy altos” de sensibilidad. La exposición para la región es “moderada” para las comunas de Coquimbo, y “bajos” para el resto de comunas (**Fig. 34**). En relación a cambios en el recurso eólico, los mayores riesgos fueron encontrados para la zona sur de la Región (“leve aumento”) que presenta a su vez los mayores niveles de sensibilidad (**Fig. 35**).

¹⁷ Lorca, A.; Sauma, E. & Tapia, T., 2020. Informe Proyecto ARCLim: Sistema Eléctrico. Centro Energía UC y Centro de Cambio Global UC coordinado por Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia y Centro de Cambio Global UC para el Ministerio del Medio Ambiente a través de La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Santiago.



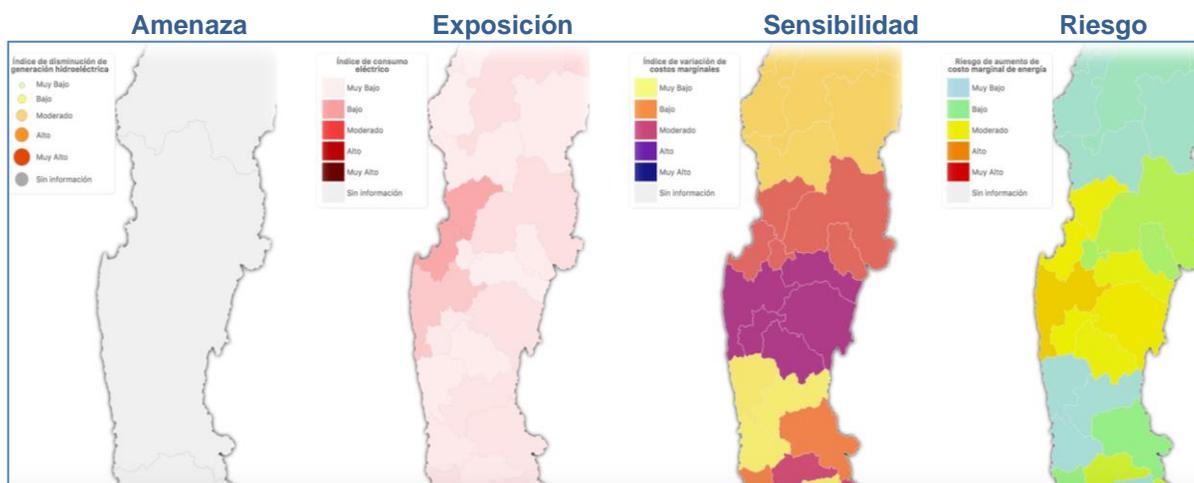


Figura 34. Riesgo de aumento de los costos marginales del sistema eléctrico por reducción de lluvias en la Región de Coquimbo. Fuente: ARCLim.

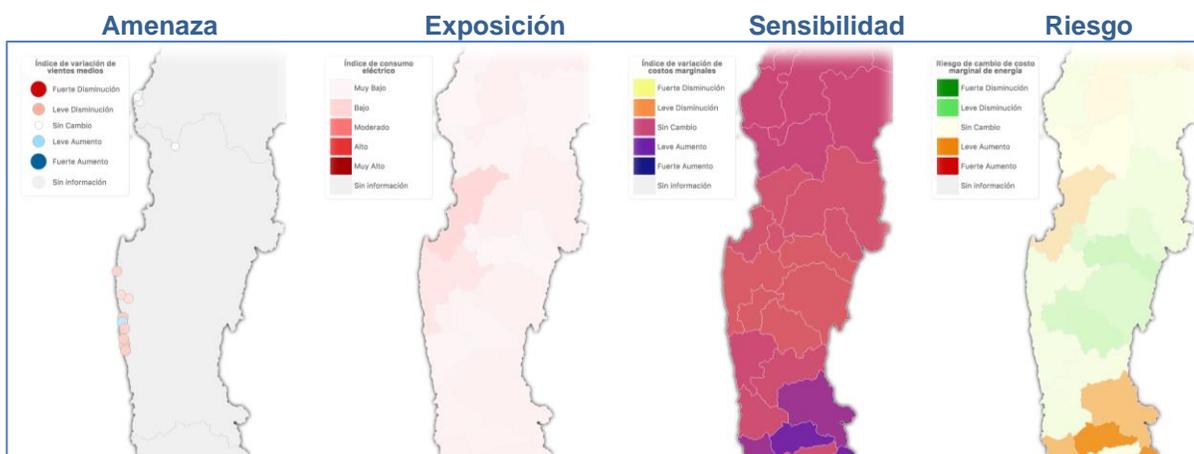


Figura 35. Riesgo de aumento de los costos marginales del sistema eléctrico por cambios en los vientos en la Región de Coquimbo. Fuente: ARCLim.

Impactos del Cambio en Radiación Solar

Esta cadena de impacto evalúa el riesgo de aumento de los costos marginales del sistema eléctrico asociado cambios en la radiación solar de las principales centrales de generación solar de nuestro país. Para la construcción de este riesgo se consideró como indicador de amenaza la disminución promedio de la energía total generada debido al porcentaje de cambio relativo de la radiación solar percibida por las centrales de generación solar entre el clima futuro (2035-2065 bajo el escenario RCP8.5) y el clima histórico (1980-2010). Por otro lado, el indicador de exposición considera la concentración de demanda eléctrica respecto al consumo máximo. Este indicador asocia el consumo de cada una de las subestaciones a su porcentaje de participación en la demanda de cada comuna. Finalmente, el indicador de sensibilidad considera la susceptibilidad de sufrir impactos adversos debido a una menor disponibilidad de radiación solar en el sistema.

Para la Región de Coquimbo, el riesgo a sufrir cambios en los costos marginales en el sistema eléctrico por cambios en radiación solar es altos mostrando una “fuerte disminución” para todo el norte y parte del centro de la región. La zona sur de la región presentará una “leve disminución”, niveles de riesgo altamente relacionados con los niveles de sensibilidad, mientras que los niveles de exposición son “bajos” o “muy bajos” (**Fig. 36**).



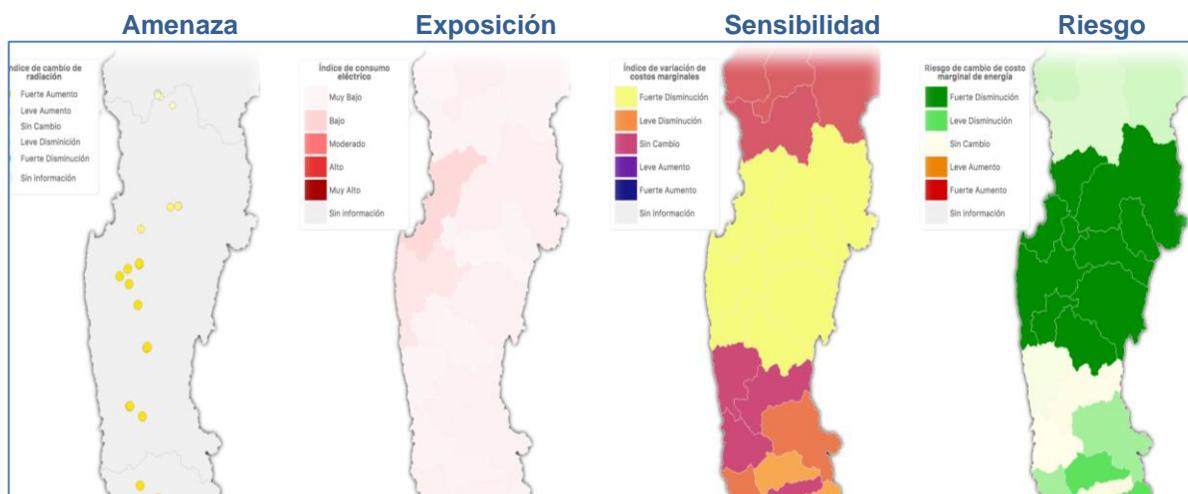


Figura 36. Riesgo de aumento de los costos marginales del sistema eléctrico por cambios en la radiación solar en la Región de Coquimbo. Fuente: ARCLim.

Impacto de aumento de temperatura sobre líneas de transmisión

Esta cadena de impacto evalúa el cambio de los costos marginales del sistema eléctrico asociado al aumento de las temperaturas sobre las líneas de transmisión eléctrica por el efecto del cambio climático. Como indicador de amenaza se considera la incidencia de cambio relativo de días con altas temperaturas entre el clima histórico (1980-2010) y el clima futuro (2035-2065 bajo el escenario RCP8.5). El indicador toma valores mayores en los lugares donde existe un mayor aumento en la cantidad de días donde se superan los 30°C en una de las líneas de transmisión que conecta a cada una de las comunas del país. Para el indicador de exposición se consideró la concentración de demanda eléctrica respecto al consumo máximo en las distintas comunas del país en 2018, mientras que para indicador de sensibilidad se consideró la susceptibilidad de la comuna a sufrir impactos adversos debido al aumento de temperaturas sobre las líneas de transmisión a las cuales está conectada.

Para la región de Coquimbo, el riesgo de cambio en los costos marginales de energía debido a un aumento en la frecuencia de olas de calor es de un “leve aumento” a “sin cambios”. Sin embargo, la zona central de la Región presenta una variación de costos marginales (sensibilidad) con un “leve a fuerte aumento”. Los niveles de exposición son “bajos” para toda la Región (**Fig. 37**).

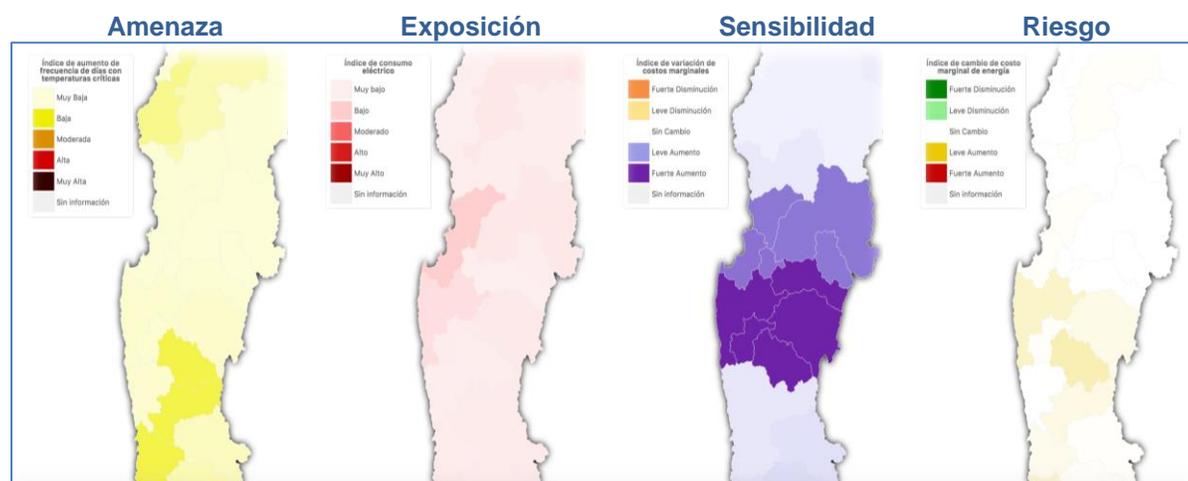


Figura 37. Riesgo de aumento de los costos marginales del sistema eléctrico por aumento de temperatura sobre las líneas de transmisión en la Región de Coquimbo. Fuente: ARCLim.



4.2. Estimación de los valores relativos de riesgo climático y de los factores subyacentes (Actividad 2).

4.2.1. Amenazas e indicadores atmosféricas, terrestres y costeras para la región de Coquimbo.

Los indicadores de amenazas para las cadenas terrestres se basan en cambios en la temperatura de aire y las precipitaciones en el futuro cercano (2035-2065) con respecto al periodo pasado reciente (1980-2010) bajo proyecciones de modelos climáticos con intensas emisiones de GEI (RCP8.5) (**Fig. 38**). Las variables climáticas fueron obtenidas de la plataforma *ARCLim* y se estiman a escala comunal (valores promedios para cada comuna) para un año completo o periodos/estaciones del año relevantes para cada cadena (**Ver Anexo I, Tabla S1**).

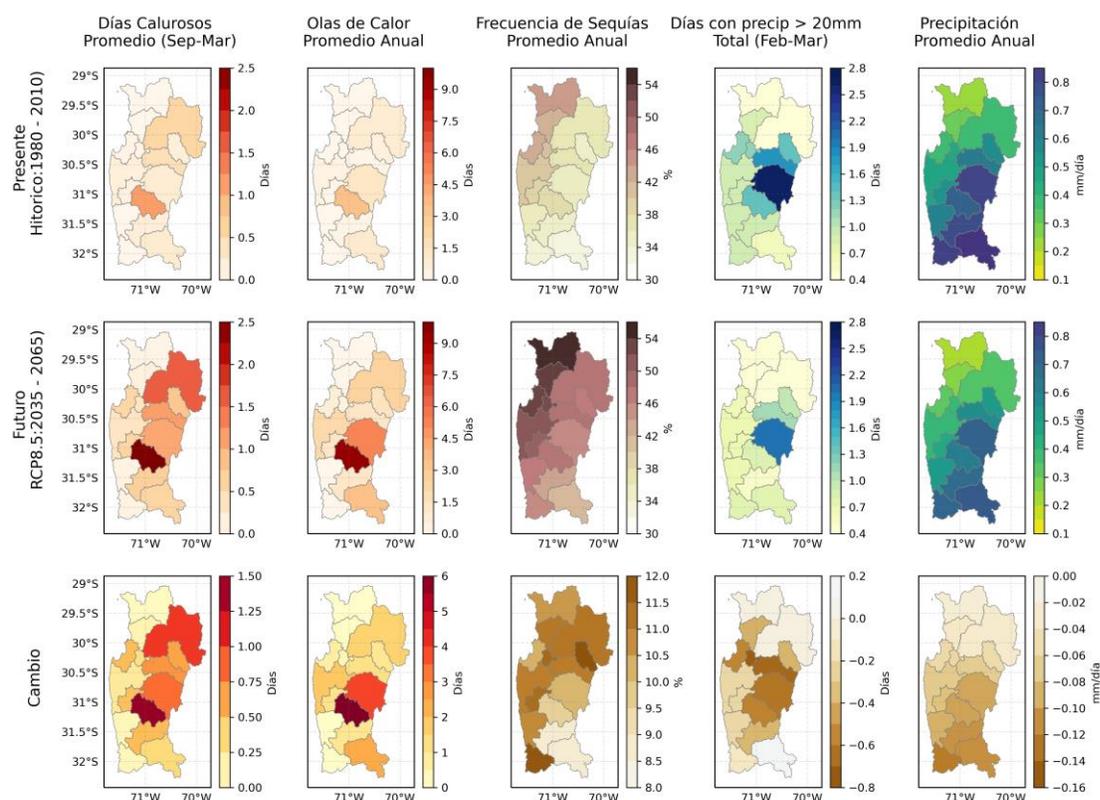


Figura 38. Índices climáticos basados en temperatura de aire y precipitaciones usados para el cálculo de indicadores amenazas de las cadenas terrestres: (de izquierda a derecha), número promedio de días calurosos en marzo-septiembre, Número promedio anual de días con olas de calor, Frecuencia anual de sequías, Número total de días con precipitaciones > 20 mm en febrero-marzo, Precipitación promedio anuales (de izquierda a derecha). Las filas superior, central e inferior muestran el periodo presente (1980-2010), el periodo futuro (2035-2065) y los cambios (diferencia) correspondientes, respectivamente). Para mayor información ver Anexo I. Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, los indicadores de amenazas costeras para las cadenas del sector “Zona Costera” se basan en el cambio o perturbación del ciclo anual promedio de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) y de la surgencia costera, medida como el transporte vertical de agua en el océano desde el fondo marino hasta las profundidades de 15 y 30 metros, entre el periodo futuro (2035-2064) y el periodo histórico (1976-2005) en base a las proyecciones de cinco modelos globales *CMIP5* bajo el escenario de emisiones con efecto invernadero RCP 8.5 (**ver Anexo I**).

Teniendo en cuenta la baja resolución espacial de los modelos globales *CMIP5* (> 83 km), para el cálculo de estas amenazas se utilizaron los resultados de un modelo regional oceanográfico de alta resolución espacial (3 km) en combinación con las perturbaciones climatológicas de los cinco modelos *CMIP5* para generar las amenazas por cambios en la TSM (**Fig. 39**) y en la surgencia costera (**Fig. 40a y 40b**) a lo largo de la costa de la región de Coquimbo.



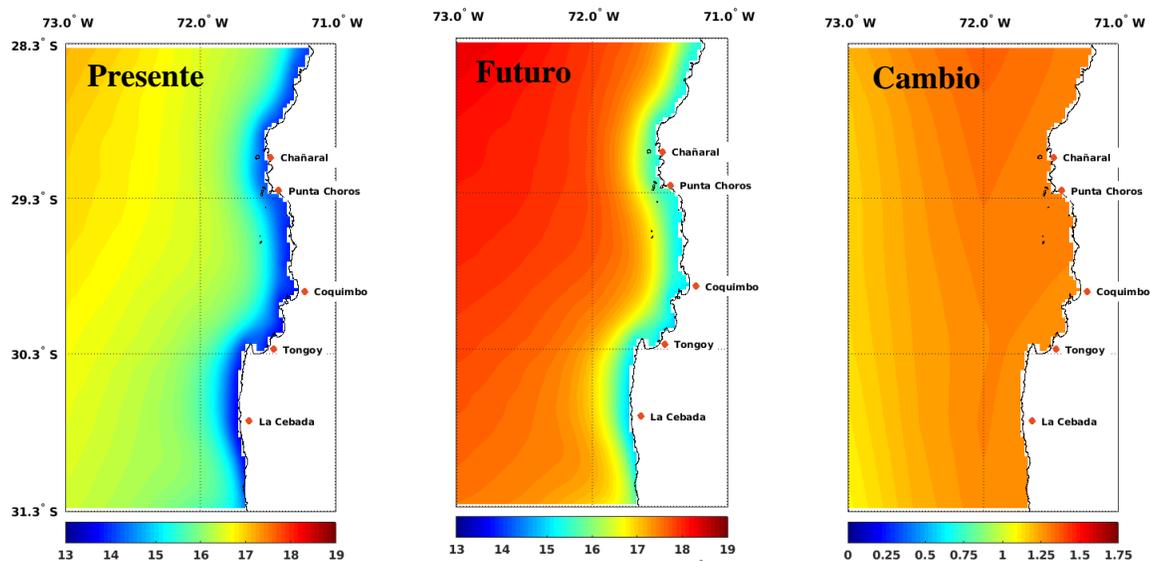


Figura 39. Mapa regional de la Temperatura Superficial del Mar para A) periodo actual o histórico (1976-2005), B) periodo futuro (2035-2064) y C) diferencia de TSM entre ambos periodos. Para más información ver Anexo I. Fuente: Elaboración propia.

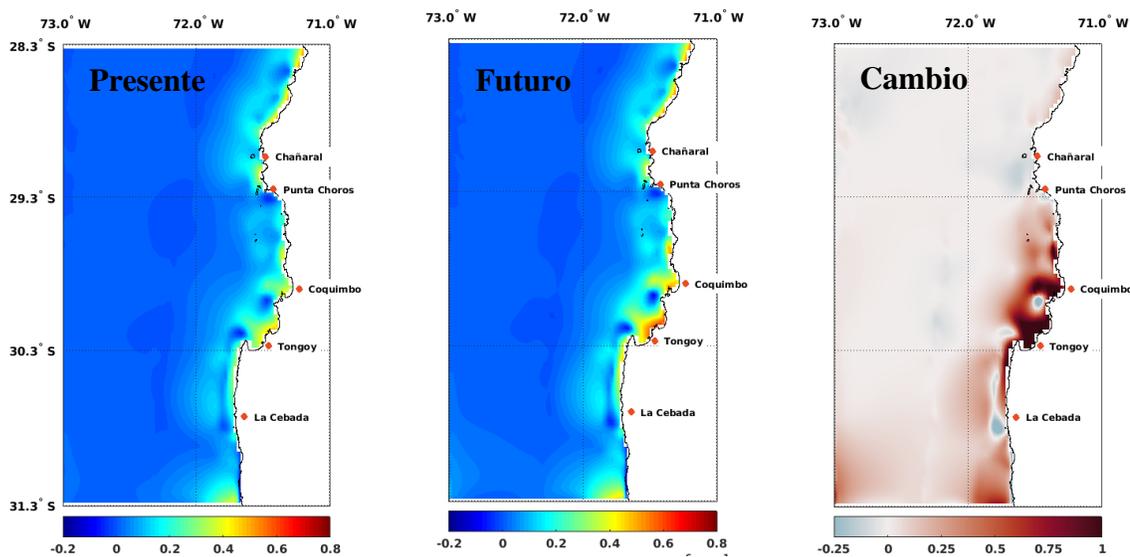


Figura 40a. Mapa regional de surgencia costera a 15 metros de profundidad para A) periodo actual o histórico (1976-2005), B) periodo futuro (2035-2064) y C) diferencia entre ambos periodos. Para más información, ver Anexo I. Fuente: Elaboración propia



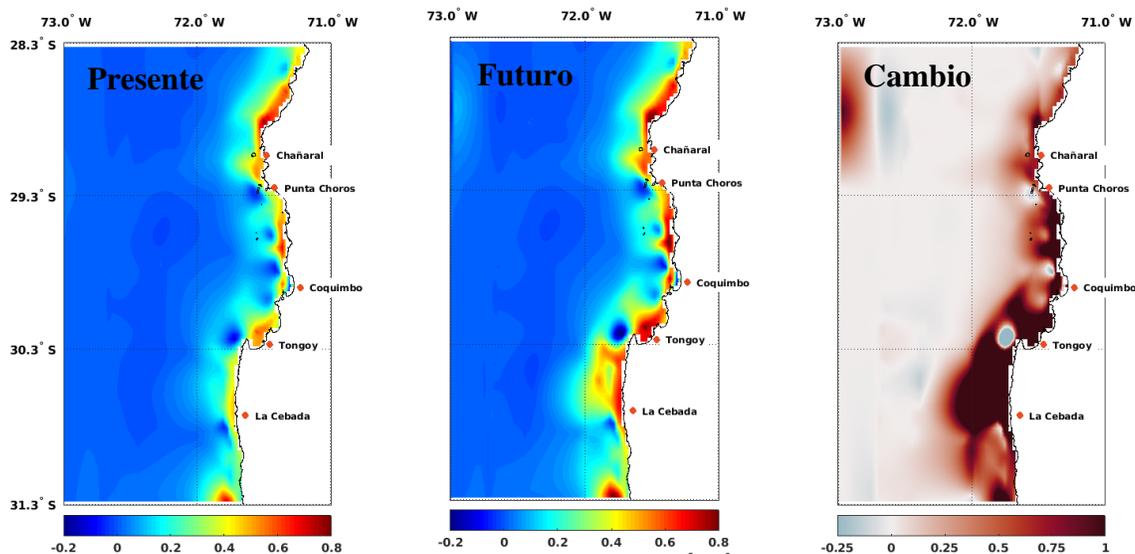


Figura 40b. Mapa regional de surgencia costera a 30 metros de profundidad para A) periodo actual o histórico (1976-2005), B) periodo futuro (2035-2064) y C) diferencia entre ambos periodos. Para más información, ver Anexo I. Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Riesgos y Cadenas de Impacto

Un total de 18 nuevos riesgos a través de la construcción de cadenas de impactos fueron evaluados en cuatro grandes sectores: 'Biodiversidad', 'Agua y Suelo', 'Ciudad e Infraestructura' y 'Zona Costera' (**Tabla 2**). Las cadenas del sector 'Agua y Suelo' y 'Ciudad e Infraestructura' (CDI 6, 7, y 8) estiman el riesgo a escala comunal (**ver Fig. 41**), mientras que las cadenas de impacto del sector 'Zona Costera' evaluaron los riesgos a nivel localidades (Tongoy y Guanaqueros) o Areas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERBs). Por otro lado, los riesgos evaluados para el sector 'Biodiversidad' fueron evaluados a una escala aproximada de 9.2 km.

Tabla 2. Riesgos estimados por el proyecto *AdaptaClim* para la Región de Coquimbo.

Sector	Cadenas de Impacto	
Biodiversidad	1	Cambios en la riqueza de especies marinas por aumento en la temperatura superficial del mar
	2	Cambios en la composición de especies marinas por aumento en la temperatura superficial del mar
	3	Cambios en la diversidad funcional de especies marinas por aumento en la temperatura superficial del mar
	4	Cambios en la ocupación espacial del pingüino de Humboldt por aumento en la temperatura superficial del mar
	5	Cambios en la ocupación espacial de la ballena jorobada por aumento en la temperatura superficial del mar
	6	Cambios en la ocupación espacial del cachalote por aumento en la temperatura superficial del mar
	7	Cambios en la ocupación espacial del delfín nariz de botella por aumento en la temperatura superficial del mar
	8	Cambios en la ocupación espacial de la ballena azul por aumento en la temperatura superficial del mar
	9	Cambios en la ocupación espacial del yunquito por aumento en la temperatura superficial del mar
Ciudad e Infraestructura	10	Aumento de la presencia de medusas agua viva por aumento en la temperatura superficial del mar
	11	Aumento de la presencia de fragata portuguesa por aumento en la temperatura superficial del mar
	12	Cambios en la continuidad de agua potable en los Sistemas Sanitarios Rurales (SSRs) por cambios en las precipitaciones
Agua y Suelo	13	Pérdida de área cultivable de uva pisquera por aumento en la frecuencia de olas de calor
	14	Pérdida de área cultivable de uva pisquera por aumento en la frecuencia de sequía
Zona Costera	15	Pérdida de desembarque artesanal de macha (<i>Mesodesma donacium</i>) por cambios en la temperatura superficial del mar
	16	Pérdida de desembarque artesanal de macha (<i>Mesodesma donacium</i>) por cambios en el régimen de surgencia
	17	Pérdida de producción acuícola del ostión del norte por cambios en la temperatura superficial del mar
	18	Pérdida de producción acuícola del ostión del norte por cambios en el régimen de surgencia



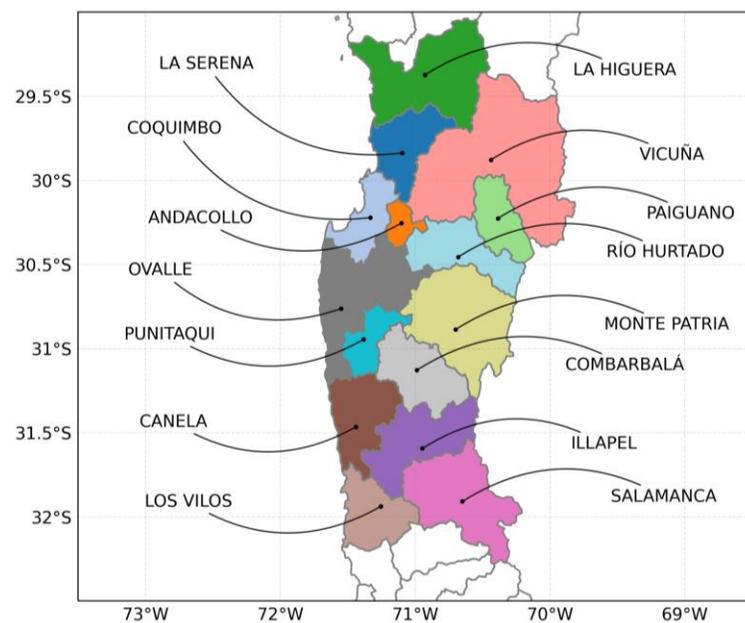


Figura 41. Mapa territorial de la Región de Coquimbo y sus 15 comunas.
Fuente: Elaboración propia.

4.2.2.1. Biodiversidad

Nombre de la Cadena de Impacto:

Cambios en la riqueza de especies marinas por aumento en la temperatura superficial del mar

Justificación de la cadena seleccionada:

El cambio climático está alterando los patrones de distribución geográfica (Parmesan 2006, Poloczanska et al. 2013) de las especies marinas, mediado por la dependencia que tienen la temperatura de mar en los procesos fisiológicos de los organismos (Sunday et al., 2012). Estos cambios en distribución geográfica se traducirán en un cambio en la riqueza local de especies (Cheung et al., 2009, García-Molinos et al., 2015).

Definición de la cadena:

Componente de riesgo	Indicador
Amenaza	Incremento en promedio anual de la temperatura superficial del mar
Exposición	Riqueza de especies
Sensibilidad	Delta de seguridad de temperatura superficial del mar
Capacidad de adaptación	Amplitud del nicho termal
Riesgo	Riesgo de cambios en la riqueza de especies marinas
Escala espacial	9.2 km

Metodología para el cálculo de indicadores de amenazas:

El incremento en el promedio anual temperatura superficial ($\Delta TSMp$) se estima como:

$$\Delta TSMp = TSMp_{fututuro} - TSMp_{presente}$$

, donde $TSMp_{fututuro}$ es la temperatura promedio anual para la ventana temporal 2040 - 2050 proyectada de acuerdo al escenario RCP8.5 versus la actualidad ($TSMp_{presente}$, 2000 - 2014). La información fue extraída para todo el borde costero de la región de Coquimbo, empleando *rasters* geoespaciales disponibles en la base de datos global *BioOracle* (Assis et al., 2018) con una resolución espacial de aproximadamente 9.2 km.

Metodología para el cálculo de indicadores de exposición:

La riqueza de especies marinas fue determinada a partir de ocurrencias georreferenciadas de especies marinas disponibles en la base de datos generada por Chaudhary et al. (2021), tomada y curada a partir



de la *Ocean Biodiversity Information System* (OBIS, <https://obis.org/>). Se emplearon sólo especies presentes en la plataforma continental de la provincia biogeográfica del Pacífico Suroriental Templado-Cálida (5.02°S a 41.56°S, sensu Spalding et al., 2007), pero considerando sus ocurrencias espaciales globales sobre la plataforma continental (<200 m profundidad). Para reducir la incertidumbre introducida por sesgos de muestreo, se asumió una distribución continua de las especies entre sus rangos latitudinales norte y sur a lo largo de la costa Pacífico oriental (entre Alaska y Tierra del Fuego, 70°N a 55°S). La riqueza de especies fue determinada para celdas en una grilla espacial de 9.2 km, homologable a la resolución espacial de la capa de amenaza. La base de datos final estuvo compuesta por un total de 294 especies, e incluyeron 11 phyla, 27 clases, 80 órdenes y 174 familias de animales (**ver Anexo IV**).

Metodología para el cálculo de indicadores de sensibilidad:

La sensibilidad en cada celda espacial de 9.2km se estimó como el recíproco del Δ Seguridad climática:

$$\text{Sensibilidad} = \frac{1}{\Delta\text{Seguridad climática}}$$

$$\Delta\text{Seguridad climática} = [Tsup] - TSMp_{\text{presente}}$$

, donde $M[Tsup]$ es el margen de seguridad estimado como la mediana del límite termal superior $Tsup$ de todas las especies presentes en la celda, y $TSMp_{\text{presente}}$. La $Tsup$ de cada especie fue obtenida a partir del cruce de las ocurrencias georreferenciadas y la $TSMp_{\text{presente}}$. Valores altos de Δ Seguridad climática sugieren celdas con alta resistencia (menor sensibilidad) a los incrementos en la temperatura del mar.

Metodología para el cálculo de indicadores de capacidad adaptativa:

La capacidad adaptativa se evaluó como el recíproco la amplitud de nicho termal, definido como:

$$\text{Capacidad Adaptativa} = \text{nicho termal} = M[Tsup - Tinf]$$

, donde $M[Tsup - Tinf]$ es la mediana entre los límites termales superior ($Tsup$) e inferior ($Tinf$) de cada especie, las que fueron obtenida a partir del cruce de las ocurrencias georreferenciadas y la $TSMp_{\text{presente}}$. Valores altos de nicho termal indican zonas de alta capacidad adaptativa, y valores bajos de nicho termal indican zonas con especie de baja capacidad adaptativa.

Metodología para el cálculo del indicador de riesgo:

Las amenazas, exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa en cada celda fueron re-escaladas a valores entre 0 y 1 para hacerlas comparables. Posteriormente, para calcular el riesgo de pérdida de riqueza de especies se empleó la expresión

$$\text{Riesgo} = \frac{\Delta TSMp' + \text{Riqueza de especies}' + \text{Sensibilidad}' * [1 - \text{capacidad adaptativa}]}{3}$$

, donde ' indica el re-escalamiento de las variables.



Fuentes de Información:

Componente del Riesgo	Indicadores	Fuente
Amenaza	Temperatura superficial del mar (TSM)	BioOracle, v.2.2, https://bio-oracle.org/
Exposición	Riqueza de especies	OBIS, https://obis.org/
Sensibilidad	Delta de seguridad de temperatura superficial del mar (TSM)	OBIS, https://obis.org/ , BioOracle, v.2.2
Capacidad adaptativa	Amplitud del nicho termal	OBIS, https://obis.org/ , BioOracle, v.2.2

Referencias

Assis, J., Tyberghein, L., Bosch, S., Verbruggen, H., Serrão, E.A. and De Clerck, O., 2018. Bio-ORACLE v2.0: Extending marine data layers for bioclimatic modelling. *Global Ecology and Biogeography*, 27(3): 277-284.

Chaudhary, C., Richardson, A.J., Schoeman, D.S. and Costello, M.J., 2021. Global warming is causing a more pronounced dip in marine species richness around the equator. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(15): e2015094118

Cheung, W.W., Lam, V.W., Sarmiento, J.L., Kearney, K., Watson, R. and Pauly, D., 2009. Projecting global marine biodiversity impacts under climate change scenarios. *Fish and Fisheries*, 10(3):235-251.

García Molinos, J., Halpern, B.S., Schoeman, D.S., Brown, C.J., Kiessling, W., Moore, P.J., Pandolfi, J.M., Poloczanska, E.S., Richardson, A.J. and Burrows, M.T., 2016. Climate velocity and the future global redistribution of marine biodiversity. *Nature Climate Change*, 6(1): 83-88.

Parmesan, C., 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 37: 637-669.

Poloczanska, E.S., Brown, C.J., Sydeman, W.J., Kiessling, W., Schoeman, D.S., Moore, P.J., Brander, K., Bruno, J.F., Buckley, L.B., Burrows, M.T. and Duarte, C.M., 2013. Global imprint of climate change on marine life. *Nature Climate Change*, 3(10):919-925.



Resultado:

Cambios en la riqueza de especies marinas por aumento en la temperatura superficial del mar

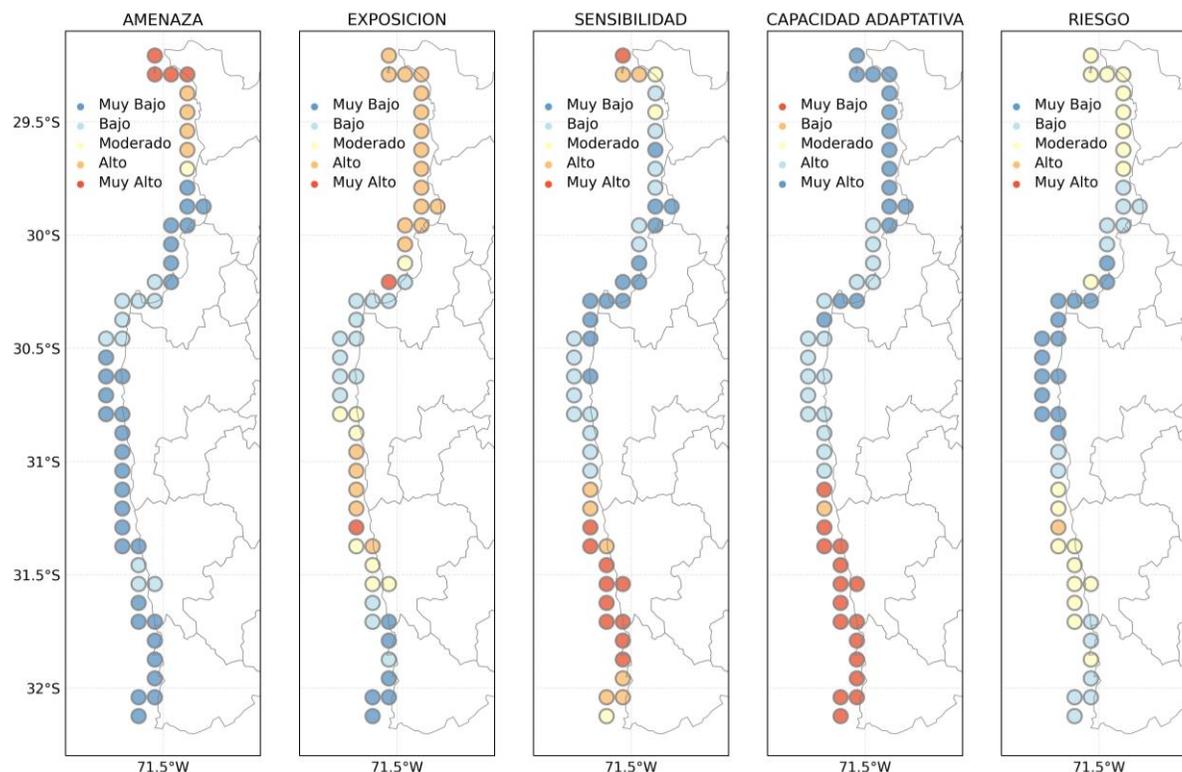


Figura 42. Riesgo de cambios en la riqueza de especies marinas por aumento en la temperatura superficial del mar en la Región de Coquimbo. Fuente: Elaboración propia.

Descripción del Resultado:

Para el horizonte 2040-2050 se espera que la zona norte de la región de Coquimbo presente un aumento importante en su temperatura superficial del mar (nivel de amenaza “alta” a “muy alta”). Por otro lado, los niveles de amenaza son “muy bajos” o “bajos” para el resto de la región en lugares como la Bahía de Coquimbo, Tongoy - Guanaqueros y los Vilos. La exposición (riqueza de especies) alcanza valores “altos” a “muy altos” particularmente en las comunas de Coquimbo y Canela. La sensibilidad presenta valores “muy altos” hacia las zonas extremas de la región, mientras que la capacidad adaptativa se reduce progresivamente hacia las comunas del sur.

El nivel de riesgo de cambio en la riqueza de especies es “moderado” particularmente en las comunas de la Higuera y Canela frente a un aumento en la temperatura superficial del mar. Para el resto de comunas, el riesgo de cambios en la riqueza de especies marinas es “bajo” (**ver Fig. 42**).



Nombre de la Cadena de Impacto:

Cambios en la composición de especies por aumento en la temperatura superficial del mar

Justificación de la cadena seleccionada:

Uno de los mayores impactos del cambio global en la biodiversidad es la alteración de los patrones de distribución geográfica (Parmesan 2006, Poloczanska et al., 2013), mediado por la dependencia que tienen la temperatura de mar en los procesos fisiológicos de los organismos marinos por (Sunday et al., 2012). Estos cambios en distribución geográfica se traducirán en un cambio en la composición local de especies (Cheung et al., 2009, García-Molinos et al., 2015).

Definición de la cadena desarrollada:

Componente de riesgo	Indicador
Amenazas	Incremento en promedio anual de la temperatura superficial del mar
Exposición	Composición de especies
Sensibilidad	Delta de seguridad de temperatura superficial del mar (TSM)
Capacidad de adaptación	Amplitud del nicho termal
Riesgo	Riesgo de cambios en la riqueza de especies marinas
Escala espacial	9.2 km

Metodología para el cálculo de indicadores de amenazas:

El incremento en el promedio anual temperatura superficial (ΔTSM_p) se estima como:

$$\Delta TSM_p = TSM_{p_{fututuro}} - TSM_{p_{presente}}$$

, donde $TSM_{p_{fututuro}}$ es la temperatura promedio anual para la ventana temporal 2040 - 2050 proyectada de acuerdo al escenario RCP8.5 versus la actualidad ($TSM_{p_{presente}}$, 2000 - 2014). La información fue extraída para todo el borde costero de la región de Coquimbo, empleando *rasters* geoespaciales disponibles en la base de datos global BioOracle (Assis et al., 2018) a una resolución espacial de aproximadamente 9.2 km.

Metodología para el cálculo de indicadores de exposición:

La composición de especies marinas fue determinada a partir de ocurrencias georreferenciadas de especies marinas disponibles en la base de datos generada por Chaudhary et al. (2021), tomada y curada a partir de la *Ocean Biodiversity Information System* (OBIS, <https://obis.org/>). Se emplearon sólo especies presentes en la plataforma continental de la provincia biogeográfica del Pacífico Suroriental Templado-Cálida (5.02°S a 41.56°S, sensu Spalding et al. 2007), pero considerando sus ocurrencias espaciales globales sobre la plataforma continental (<200 m profundidad). Para reducir la incertidumbre introducida por sesgos de muestreo, se asumió una distribución continua de las especies entre sus rangos latitudinales norte y sur a lo largo de la costa Pacífico oriental (entre Alaska y Tierra del Fuego, 70°N a 55°S). a base de datos final estuvo compuesta por un total de 294 especies, e incluyeron 11 phyla, 27 clases, 80 órdenes y 174 familias de animales (**ver Anexo IV**).

La composición de especies fue estimada sobre una grilla espacial de 9.2 km, homologable a la resolución espacial de la capa de amenaza, empleando el índice de disimilitud de Sorensen entre celdas adyacentes, definido como:

$$\beta_{Sorensen} = 1 - \frac{2 * Spp_{AB}}{Spp_A + Spp_B}$$

, donde $Spp_{celda A}$ es el total de especies en la celda focal A, $Spp_{celda B}$ es el total de especies en la celda adyacente B, y Spp_{AB} es el número de especies que están en ambas celdas. La celda adyacente se define como aquella celda ubicada al sur de la celda focal. Se espera que zonas de alto recambio en composición espacial ($\beta_{Sorensen}$ elevados) también sean más proclives a experimentar mayor recambio temporal de especies.



Metodología para el cálculo de indicadores de sensibilidad:

La sensibilidad en cada celda espacial se estimó como el recíproco del Δ Seguridad climática:

$$\text{Sensibilidad} = \frac{1}{\Delta\text{Seguridad climática}}$$

$$\Delta\text{Seguridad climática} = [Tsup] - TSMp_{\text{presente}}$$

, donde $M[Tsup]$ es el margen de seguridad estimado como la mediana del límite termal superior $Tsup$ de todas las especies presentes en la celda, y $TSMp_{\text{presente}}$. La $Tsup$ de cada especie fue obtenida a partir del cruce de las ocurrencias georreferenciadas y la $TSMp_{\text{presente}}$. Valores altos de Δ Seguridad climática sugieren celdas con alta resistencia a los incrementos en la temperatura del mar.

Metodología para el cálculo de indicadores de capacidad adaptativa:

La capacidad adaptativa se evaluó como el recíproco la amplitud de nicho termal, definido como:

$$\text{Capacidad Adaptativa} = \text{nicho termal} = M[Tsup - Tinf]$$

, donde $M[Tsup - Tinf]$ es la mediana entre los límites termales superior ($Tsup$) e inferior ($Tinf$) de cada especie, las que fueron obtenida a partir del cruce de las ocurrencias georreferenciadas y la $TSMp_{\text{presente}}$. Valores altos de nicho termal indican se reflejarían en zonas de alta capacidad adaptativa, mientras que valores bajos de nicho termal indicarían áreas de baja capacidad adaptativa.

Metodología para el cálculo del indicador de riesgo:

Las amenazas, exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa en cada celda fueron re-escaladas a valores entre 0 y 1 para hacerlas comparables. Posteriormente, para calcular el riesgo de pérdida de diversidad de especies se empleó la expresión

$$\text{Riesgo} = \frac{\Delta TSMp' + \beta'_{\text{Sorensen}} + \text{Sensibilidad}' * [1 - \text{Capacidad adaptativa}]'}{3}$$

, donde ' indica el re-escalamiento de las variables.

Fuentes de Información:

Componentes del Riesgo	Indicadores	Fuente
Amenaza	Temperatura superficial del mar (TSM)	BioOracle, v.2.2, https://bio-oracle.org/
Exposición	Composición de especies	OBIS, https://obis.org/
Sensibilidad	Delta de seguridad de temperatura superficial del mar (TSM)	OBIS, https://obis.org/ , BioOracle, v.2.2
Capacidad adaptativa	Amplitud del nicho termal	OBIS, https://obis.org/ , BioOracle, v.2.2

Referencias

Assis, J., Tyberghein, L., Bosch, S., Verbruggen, H., Serrão, E.A. and De Clerck, O., 2018. Bio-ORACLE v2.0: Extending marine data layers for bioclimatic modelling. *Global Ecology and Biogeography*, 27(3): 277-284.

Chaudhary, C., Richardson, A.J., Schoeman, D.S. and Costello, M.J., 2021. Global warming is causing a more pronounced dip in marine species richness around the equator. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(15): e2015094118

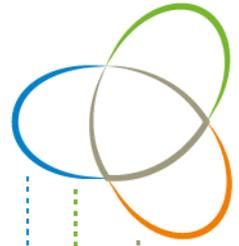
Cheung, W.W., Lam, V.W., Sarmiento, J.L., Kearney, K., Watson, R. and Pauly, D., 2009. Projecting global marine biodiversity impacts under climate change scenarios. *Fish and Fisheries*, 10(3):235-251.



García Molinos, J., Halpern, B.S., Schoeman, D.S., Brown, C.J., Kiessling, W., Moore, P.J., Pandolfi, J.M., Poloczanska, E.S., Richardson, A.J. and Burrows, M.T., 2016. Climate velocity and the future global redistribution of marine biodiversity. *Nature Climate Change*, 6(1): 83-88.

Parmesan, C., 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 37: 637-669.

Poloczanska, E.S., Brown, C.J., Sydeman, W.J., Kiessling, W., Schoeman, D.S., Moore, P.J., Brander, K., Bruno, J.F., Buckley, L.B., Burrows, M.T. and Duarte, C.M., 2013. Global imprint of climate change on marine life. *Nature Climate Change*, 3(10): 919-925.



Resultado:

Cambios en la composición de especies marinas por aumento en la temperatura superficial del mar

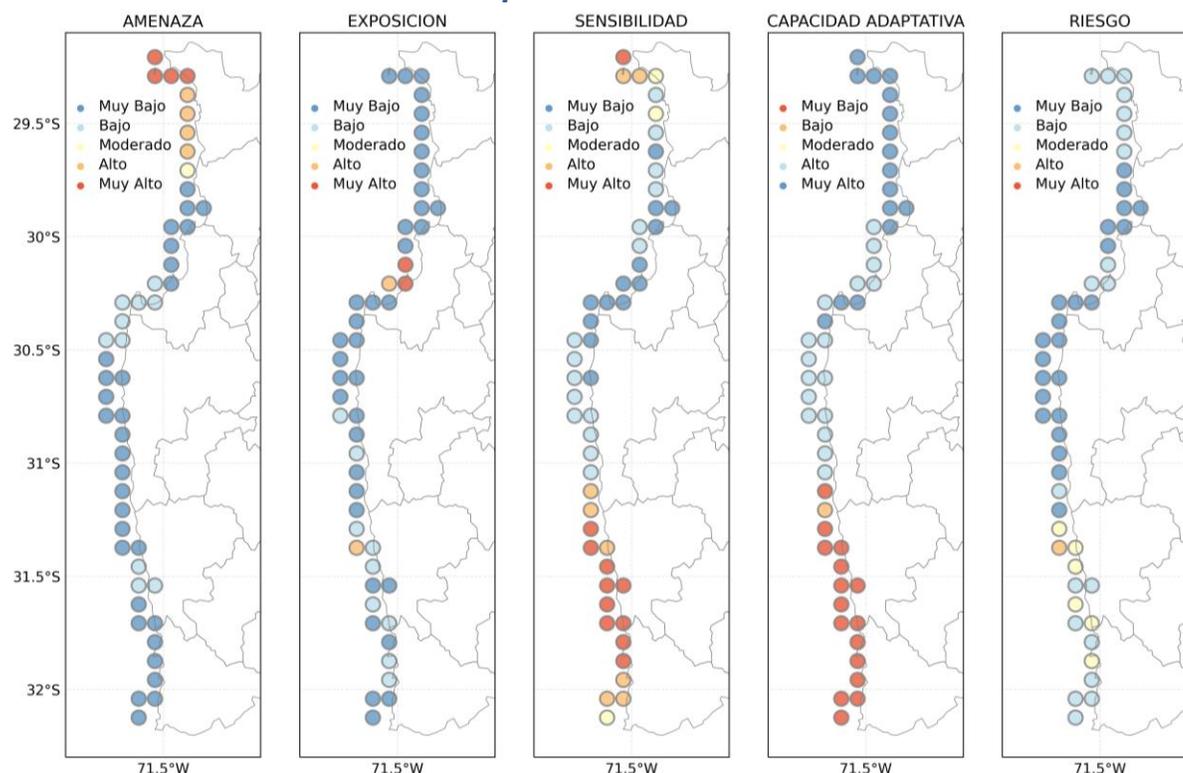


Figura 43. Riesgo de cambios en la composición de especies marinas por aumento en la temperatura superficial del mar en la Región de Coquimbo. Fuente: Elaboración propia.

Descripción del Resultado:

Para el horizonte 2040-2050 se espera que la zona norte de la región de Coquimbo presente un aumento importante en su temperatura superficial del mar (nivel de amenaza “alta” a “muy alta”). Por otro lado, los niveles de amenaza son “muy bajos” o “bajos” para el resto de la región en lugares como la Bahía de Coquimbo, Tongoy - Guanaqueros y los Vilos. La exposición (composición de especies) alcanza valores “altos” a “muy altos” solo en unas pocas áreas emplazadas en las comunas de Coquimbo y Canela. La sensibilidad presenta valores “altos” o “muy altos” hacia las zonas extremas de la región, mientras que la capacidad adaptativa se reduce progresivamente hacia las comunas del sur.

El riesgo de cambio en la composición de especies frente a un aumento en la temperatura superficial del mar alcanza valores “moderados” particularmente en la comunas de Canela, y valores “bajos” para el resto de comunas de la Región de Coquimbo (*ver Fig. 43*).



Nombre de la Cadena de Impacto:

Cambios en la diversidad funcional de especies marinas por aumento en la temperatura superficial del mar

Justificación de la cadena seleccionada:

Uno de los mayores impactos del cambio global en la biodiversidad es la alteración de los patrones de distribución geográfico (Parmesan, 2006, Poloczanska et al., 2013), mediado por la dependencia que tienen la temperatura de mar en los procesos fisiológicos de los organismos marinos (Sunday et al., 2012). Estos cambios en distribución geográfica se traducirán en un cambio en la riqueza y composición local de especies (Cheung et al., 2009, García-Molinos et al., 2015). Considerando que los rasgos de la ecología e historia de vida de las especies marinas (Costello et al., 2015) tienen directa incidencia en las dinámicas de recambio espacio-temporal (Pimiento et al., 2020), se espera que la diversidad funcional de los ensamblajes también se vea afectada.

Definición de la cadena desarrollada:

Componentes del riesgo	Indicador
Amenazas	Incremento en promedio anual de la temperatura superficial del mar
Exposición	Diversidad funcional de especies
Sensibilidad	Delta de seguridad de temperatura superficial del mar
Capacidad de adaptación	Amplitud del nicho termal
Riesgo	Riesgo de cambios en la riqueza de especies marinas
Escala espacial	9.2 km

Metodología para el cálculo de indicadores de amenazas:

El incremento en el promedio anual temperatura superficial (ΔTSM_p) se estima como:

$$\Delta TSM_p = TSM_{p_{fututuro}} - TSM_{p_{presente}}$$

, donde $TSM_{p_{fututuro}}$ es la temperatura promedio anual para la ventana temporal 2040 - 2050 proyectada de acuerdo al escenario RCP8.5 versus la actualidad ($TSM_{p_{presente}}$, 2000 - 2014). La información fue extraída para todo el borde costero de la región de Coquimbo, empleando *rasters* geoespaciales disponibles en la base de datos global BioOracle (Assis et al. 2018), con una resolución espacial de alrededor de 9.2 km.

Metodología para el cálculo de indicadores de exposición:

La diversidad funcional de especies marinas fue determinada a partir de ocurrencias georreferenciadas de especies marinas disponibles en la base de datos generada por Chaudhary et al. (2021), tomada y curada a partir de la *Ocean Biodiversity Information System* (OBIS, <https://obis.org/>).

Se emplearon sólo especies presentes en la plataforma continental de la provincia biogeográfica del Pacífico Suroriental Templado-Cálida (5.02°S a 41.56°S, sensu Spalding et al. 2007), pero considerando sus ocurrencias espaciales globales sobre la plataforma continental (<200 m profundidad). Para reducir la incertidumbre introducida por sesgos de muestreo, se asumió una distribución continua de las especies entre sus rangos latitudinales norte y sur a lo largo de la costa Pacífico oriental (entre Alaska y Tierra del Fuego, 70°N a 55°S). La base de datos final estuvo compuesta por un total de 294 especies, e incluyeron 11 phyla, 27 clases, 80 órdenes y 174 familias de animales (**ver Anexo IV**). Para aquellas especies presentes en la región de Coquimbo, se obtuvo información de dos rasgos de su ecología: modo de vida, y categoría de tamaño corporal. Para el modo de vida se emplearon las categorías bentónico/bento-pelágico/pelágico-nerítico/pelágico/parasítico. Para el tamaño corporal se emplearon 5 clases de tamaño (largo máximo), que incrementan por factor de 10, desde 0.2 mm a <2000 mm (Costello et al., 2015).



La diversidad funcional de especies fue determinada para celdas en una grilla espacial de 9.2 km, homologable a la resolución espacial de la capa de amenaza. Se utilizó el índice de diversidad funcional Q de Rao (Botta-Dukát 2005), expresado como:

$$FD_Q = \sum_{i=1}^{s-1} \sum_{j=i+1}^s d_{ij} * p_i * p_j$$

, donde FD_Q es la entropía funcional, d_{ij} es la distancia funcional entre los pares de especies i y j (estimado empleando el índice de Gower basado en los 2 rasgos funcionales) y p representa la presencia (1) o ausencia de las especies en cada celda. Valores elevados de FD_Q sugieren una alta diversidad funcional.

Metodología para el cálculo de indicadores de sensibilidad:

La sensibilidad en cada celda espacial se estimó como el recíproco del Δ Seguridad climática:

$$Sensibilidad = \frac{1}{\Delta Seguridad climática}$$

$$\Delta Seguridad climática = [Tsup] - TSMp_{presente}$$

, donde $M[Tsup]$ es el margen de seguridad estimado como la mediana del límite termal superior $Tsup$ de todas las especies presentes en la celda, y $TSMp_{presente}$. La $Tsup$ de cada especie fue obtenida a partir del cruce de las ocurrencias georreferenciadas y la $TSMp_{presente}$. Valores altos de Δ Seguridad climática sugieren celdas con alta resistencia a los incrementos en la temperatura del mar.

Metodología para el cálculo de indicadores de capacidad adaptativa:

La capacidad adaptativa se evaluó como el recíproco la amplitud de nicho termal, definido como:

$$Capacidad Adaptativa = nicho termal = M[Tsup - Tinf]$$

, donde $M[Tsup - Tinf]$ es la mediana entre los límites termales superior ($Tsup$) e inferior ($Tinf$) de cada especie, las que fueron obtenida a partir del cruce de las ocurrencias georreferenciadas y la $TSMp_{presente}$. Valores altos de nicho termal indican se reflejarían en zonas de alta capacidad adaptativa, mientras que valores bajos de nicho termal indicarían áreas de baja capacidad adaptativa

Metodología para el cálculo del indicador de riesgo:

Las amenazas, exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa en cada celda fueron re-escaladas a valores entre 0 y 1 para hacerlas comparables. Posteriormente, para calcular el riesgo de pérdida de diversidad funcional de especies se empleó la expresión

$$Riesgo = \frac{\Delta TSMp' + FD_Q' + Sensibilidad' * [1 - Capacidad adaptativa']}{3}$$

, donde ' indica el re-escalamiento de las variables.

Fuentes de Información:

Componentes del Riesgo	Indicadores	Fuente
Amenaza	Temperatura superficial del mar (TSM)	BioOracle, v.2.2, https://bio-oracle.org/
Exposición	Diversidad funcional actual de especies	OBIS, https://obis.org/
Sensibilidad	Delta de seguridad de temperatura superficial del mar (TSM)	OBIS, https://obis.org/ , BioOracle, v.2.2
Capacidad adaptativa	Amplitud del nicho termal	OBIS, https://obis.org/ , BioOracle, v.2.2



Referencias

Assis, J., Tyberghein, L., Bosch, S., Verbruggen, H., Serrão, E.A. and De Clerck, O., 2018. Bio-ORACLE v2.0: Extending marine data layers for bioclimatic modelling. *Global Ecology and Biogeography*, 27(3): 277-284.

Botta-Dukát, Z., 2005. Rao's quadratic entropy as a measure of functional diversity based on multiple traits. *Journal of Vegetation Science*, 16(5): 533-540.

Chaudhary, C., Richardson, A.J., Schoeman, D.S. and Costello, M.J., 2021. Global warming is causing a more pronounced dip in marine species richness around the equator. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(15): e2015094118

Cheung, W.W., Lam, V.W., Sarmiento, J.L., Kearney, K., Watson, R. and Pauly, D., 2009. Projecting global marine biodiversity impacts under climate change scenarios. *Fish and Fisheries*, 10(3):235-251.

Costello, M.J., Claus, S., Dekeyzer, S., Vandepitte, L., Tuama, É.Ó., Lear, D. and Tyler-Walters, H., 2015. Biological and ecological traits of marine species. *PeerJ*, 3, p.e1201.

García Molinos, J., Halpern, B.S., Schoeman, D.S., Brown, C.J., Kiessling, W., Moore, P.J., Pandolfi, J.M., Poloczanska, E.S., Richardson, A.J. and Burrows, M.T., 2016. Climate velocity and the future global redistribution of marine biodiversity. *Nature Climate Change*, 6(1): 83-88.

Parmesan, C., 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 37: 637-669.

Pimiento, C., Leprieur, F., Silvestro, D., Lefcheck, J.S., Albouy, C., Rasher, D.B., Davis, M., Svenning, J.C. and Griffin, J.N., 2020. Functional diversity of marine megafauna in the Anthropocene. *Science Advances*, 6(16): eaay7650.

Poloczanska, E.S., Brown, C.J., Sydeman, W.J., Kiessling, W., Schoeman, D.S., Moore, P.J., Brander, K., Bruno, J.F., Buckley, L.B., Burrows, M.T. and Duarte, C.M., 2013. Global imprint of climate change on marine life. *Nature Climate Change*, 3(10):919-925.



Resultado:

Cambios en la diversidad funcional de especies marinas por aumento en la temperatura superficial del mar

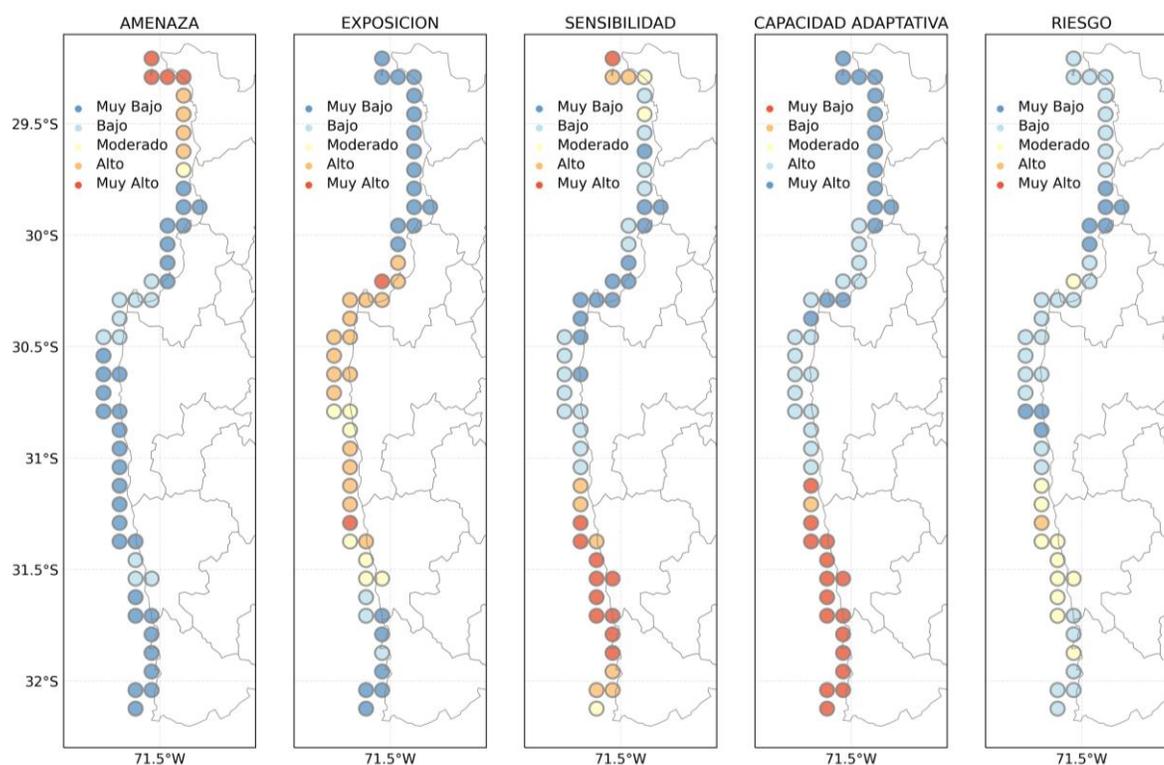


Figura 44. Riesgo de cambios en la diversidad funcional de especies marinas por aumento en la temperatura superficial del mar en la Región de Coquimbo. Fuente: Elaboración propia.

Descripción del Resultado:

Para el horizonte 2040-2050 se espera que la zona norte de la región de Coquimbo presente un aumento importante en su temperatura superficial del mar (nivel de amenaza “alta” a “muy alta”). Por otro lado, los niveles de amenaza son “muy bajos” o “bajos” para el resto de la región en lugares como la Bahía de Coquimbo, Tongoy - Guanaqueros y los Vilos. La exposición (diversidad funcional de especies marinas) presenta valores “altos” a “muy altos” hacia la zona central de la zona costera de la región, disminuyendo hacia los extremos. La sensibilidad presenta valores “altos” o “muy altos” hacia las zonas extremas de la región, mientras que la capacidad adaptativa se reduce progresivamente hacia las comunas del sur.

El riesgo de cambio en la diversidad funcional de especies marinas en la Región de Coquimbo frente al aumento de la temperatura superficial del mar presenta valores “moderado” particularmente en la comunas de Canela, mientras que el nivel de riesgo es “bajo” para el resto de comunas de la Región de Coquimbo (**ver Fig. 44**).



Nombre de la Cadena de Impacto:

Cambios en especies de interés en conservación marinas por cambios en la temperatura superficial del mar

Justificación de la cadena seleccionada:

Dentro de los organismos marinos, las aves y mamíferos son los que enfrentan mayores riesgos de extinción asociados al cambio global (Davidson et al., 2012, Pimiento et al., 2020, Richards et al., 2021). En Chile, diversos estudios han propuesto el uso del sistema de áreas marinas protegidas (AMPs) como una herramienta para la protección de vertebrados marinos superiores (Tognelli et al., 2005, 2009). Sin embargo, su efectividad es una cuestionable (Petit et al., 2018), aunque esto una problemática a nivel global (Pendleton et al., 2018). Diversas especies de aves y mamíferos marinos presentes en la región de Coquimbo tienen un carácter carismático y/o son de interés en conservación (Thiel et al., 2007), particularmente en el Archipiélago de Humboldt (Luna-Jorquera et al., 2012), y se hace necesario generar medidas de protección particulares para cada una.

Definición de la cadena desarrollada:

Componentes del riesgo	Indicador
Amenazas	Incremento en promedio anual de la temperatura superficial del mar
Exposición	Probabilidad actual de ocupación espacial de especies marinas de interés de conservación
Sensibilidad	Densidad de personas en zonas costeras
Capacidad de adaptación	Distancia a la Área Marina Protegida (AMP) más cercana
Riesgo	Cambios en la probabilidad de ocupación espacial de especies de interés especial en conservación y manejo
Escala espacial	9.2 km

Metodología para el cálculo de indicadores de amenazas:

El incremento en el promedio anual temperatura superficial ($\Delta TSMp$) se estima como:

$$\Delta TSMp = TSMp_{fututuro} - TSMp_{presente}$$

, donde $TSMp_{fututuro}$ es la temperatura promedio anual para la ventana temporal 2040 - 2050 proyectada de acuerdo al escenario RCP8.5 versus la actualidad ($TSMp_{presente}$, 2000 - 2014). La información fue extraída para todo el borde costero de la región de Coquimbo, empleando *rasters* geoespaciales disponibles en la base de datos global *BioOracle* (Assis et al. 2018), a una resolución espacial de alrededor de 9.2 km.

Metodología para el cálculo de indicadores de exposición:

La exposición se estimó en base a la probabilidad de ocupación actual de diferentes especies de interés de conservación presentes en el borde costero. Se empleó como base el listado de especies de aves y mamíferos marinos reportada para la región entre los 27°S y los 32°S (Thiel et al., 2007). Se seleccionaron seis especies de interés en conservación para la región.

Especie	Nombre común	Estatus de conservación	Número de ocurrencias en GBIF
<i>Spheniscus humboldti</i>	Pingüino de Humboldt	vulnerable	6629
<i>Megaptera novaeangliae</i>	Ballena jorobada	vulnerable	336961
<i>Physeter macrocephalus</i>	Cachalote	vulnerable	85640
<i>Tursiops truncatus</i>	Delfín nariz de botella	en peligro	135517
<i>Balaenoptera musculus</i>	Ballena azul	en peligro	21451
<i>Pelecanoides garnotii</i>	Yunquito	en peligro	4080



Se extrajeron ocurrencias espaciales georreferencias de cada especie desde la base de datos de libre acceso de la *Global Biodiversity Información Facility* (GBIF, <https://www.gbif.org/>). Los datos fueron filtrados para evitar outliers and valores repetidos. Las estimaciones se realizaron empleando modelos de distribución de especies correlacionales (i.e., modelos de nicho) a partir de ocurrencias georreferenciadas globales de las especies y 12 variables medioambientales obtenidas de *BioOracle* (Assis et al., 2018).

Variable	Unidades
Temperatura	°C
Rango Temperatura	°C
Salinidad	PSS (escala práctica de Salinidad)
Concentración de hielo marino	Fracción
Nitrato	mmol · m ⁻³
Fosfato	mmol · m ⁻³
Silicato	mmol · m ⁻³
Oxígeno molecular disuelto	mmol · m ⁻³
Hierro disuelto	mmol · m ⁻³
Clorofila	mg · m ⁻³
Fitoplancton	mmol · m ⁻³
Productividad primaria	g · m ⁻³ · dia ⁻¹

Posteriormente, se modeló la distribución espacial de cada especie empleando el algoritmo de máxima entropía Maxent. Se seleccionaron pseudo-ausencias (i.e. 3x el número de presencias) con una distribución restringida a un buffer espacial de 1000 km, con el fin de crear escenarios realistas de distribución. Se realizó un ‘plegado espacial’ en patrón de damero para realizar validaciones cruzadas de los modelos. Se realizó un ajuste fino de los hiper-parámetros de los modelos, explorando 100 posibles combinaciones de valores mediante un algoritmo genético con tres generaciones. Se evaluó el ajuste de los modelos en términos de al AUC, escogiendo el modelo con el mejor ajuste. El modelo final arroja las probabilidades de ocurrencia para cada especie. Todos los análisis se realizaron implementando rutinas ad-hoc escritas en R (R Core Team, 2022).

Metodología para el cálculo de indicadores de sensibilidad:

Se empleó la densidad de habitantes (personas/km²) en cada celda espacial costera como medida de sensibilidad, obtenida desde la base de datos global GPW v.4. a una resolución espacial de alrededor de 30 km.

El uso de este indicador se basa en que la densidad poblacional humana escala con una gran diversidad de fenómenos demográficos y socio-culturales (Bettencourt et al. 2007, Bettencourt 2013).

Se espera que zonas más densamente pobladas implicarán mayores actividades antropogénicas (i.e., desarrollo de puertos, embarcaciones, contaminación por metales pesados y aguas servidas) lo que podría implicar una presión adicional para la viabilidad de las poblaciones de interés en conservación.

Metodología para el cálculo de indicadores de capacidad adaptativa:

Como medida de capacidad adaptativa se empleó:

$$Capacidad\ adaptativa = \frac{1}{Distancia\ AMP}$$

, donde *Distancia AMP* es la distancia de cada celda espacial al área marina protegida (AMP) oficialmente decretada más cercana, empleando los shapefiles espaciales disponibles desde el centro de Infraestructura de Datos Espacial de Chile (IDE). Sitios con mayor cercanía a un AMP tendrán valores de capacidad adaptativa más alta. En términos prácticos, la AMP más cerca a todas las celdas espaciales es la Reserva Nacional Pingüino de Humboldt, que abarca las islas Chañaral, Choros y Damas en el límite entre las regiones de Coquimbo y Atacama. Esta AMP opera desde 1990 y se encuentra bajo administración de la Corporación Nacional Forestal (CONAF).



Metodología para el cálculo del indicador de riesgo:

Las amenazas, exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa en cada celda fueron re-escaladas a valores entre 0 y 1 para hacerlas comparables. Posteriormente, para calcular el riesgo de cambios en la probabilidad de ocupación de especies emblemáticas para la conservación se empleó la expresión:

$$Riesgo = \frac{\Delta TSMp' + Prob.Ocurr' + Dens.Humanos' * [1 - Dist.AMP]'}{3}$$

, donde ' indica el re-escalamiento de las variables.

Fuentes de información:

Componentes del Riesgo	Indicadores	Fuente
Amenaza	Temperatura superficial del mar (TSM)	BioOracle, v.2.2, https://bio-oracle.org
Exposición	Probabilidad actual de ocupación espacial	GBIF, https://www.gbif.org
Sensibilidad	Densidad de personas en zonas costeras	Gridded Population of the World, v.4.0 https://sedac.ciesin.columbia.edu/data/collect/ion/gpw-v4
Capacidad adaptativa	Distancia mínima a una AMP	https://www.ide.cl/index.php/oceanos-y-costa/item/1438-areas-marinas-protegidas

Referencias

Assis, J., Tyberghein, L., Bosch, S., Verbruggen, H., Serrão, E.A. and De Clerck, O., 2018. Bio-ORACLE v2.0: Extending marine data layers for bioclimatic modelling. *Global Ecology and Biogeography*, 27(3): 277-284.

Bettencourt, L.M., Lobo, J., Helbing, D., Kühnert, C. y West, G.B., 2007. Growth, innovation, scaling, and the pace of life in cities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(17): 7301-7306.

Bettencourt, L.M., 2013. The origins of scaling in cities. *Science*, 340(6139): 1438-1441.

Davidson, A.D., Boyer, A.G., Kim, H., Pompa-Mansilla, S., Hamilton, M.J., Costa, D.P., Ceballos, G. and Brown, J.H., 2012. Drivers and hotspots of extinction risk in marine mammals. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(9): 3395-3400.

Luna-Jorquera, G., Fernández, C.E. and Rivadeneira, M.M., 2012. Determinants of the diversity of plants, birds and mammals of coastal islands of the Humboldt current systems: implications for conservation. *Biodiversity and Conservation*, 21(1): 13-32.

Pendleton, L.H., Ahmadi, G.N., Browman, H.I., Thurstan, R.H., Kaplan, D.M. y Bartolino, V., 2018. Debating the effectiveness of marine protected areas. *ICES Journal of Marine Science*, 75(3):1156-1159.

Petit, I.J., Campoy, A.N., Hevia, M.J., Gaymer, C.F. y Squeo, F.A., 2018. Protected areas in Chile: are we managing them?. *Revista Chilena de Historia Natural*, 91(1):1-8.

Pimiento, C., Leprieur, F., Silvestro, D., Lefcheck, J.S., Albouy, C., Rasher, D.B., Davis, M., Svenning, J.C. and Griffin, J.N., 2020. Functional diversity of marine megafauna in the Anthropocene. *Science Advances*, 6(16): eaay7650.

Richards, C., Cooke, R.S. and Bates, A.E., 2021. Biological traits of seabirds predict extinction risk and vulnerability to anthropogenic threats. *Global Ecology and Biogeography*, 30(5): 973-986.

Thiel, M., E. C. Macaya, E. Acuna, W. E. Arntz, H. Bastias, K. Brokordt, P. A. Camus, J. C. Castilla, L. R. Castro, M. Cortes, C. P. Dumont, R. Escribano, M. Fernandez, J. A. Gajardo, C. F. Gaymer, I. Gomez, A. E. Gonzalez, H. E. Gonzalez, P. A. Haye, J. E. Illanes, J. L. Iriarte, D. A. Lancellotti, G. Luna-Jorquera,



C. Luxoroi, P. H. Manriquez, V. Marin, P. Munoz, S. A. Navarrete, E. Perez, E. Poulin, J. Sellanes, H. H. Sepulveda, W. Stotz, F. Tala, A. Thomas, C. A. Vargas, J. A. Vasquez, and J. M. A. Vega. 2007. The Humboldt Current System of northern and central Chile: Oceanographic processes, ecological interactions and socioeconomic feedback. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 45:195-344.

R Core Team. 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.

Tognelli, M.F., Silva-Garcia, C., Labra, F.A. and Marquet, P.A., 2005. Priority areas for the conservation of coastal marine vertebrates in Chile. *Biological Conservation*, 126(3): 420-428.

Tognelli, M.F., Fernández, M. and Marquet, P.A., 2009. Assessing the performance of the existing and proposed network of marine protected areas to conserve marine biodiversity in Chile. *Biological Conservation*, 142(12): 3147-3153.

Resultados:

Cambios en la ocupación espacial de especies de interés en conservación marinas por cambios en la temperatura superficial del mar

Pingüino de Humboldt

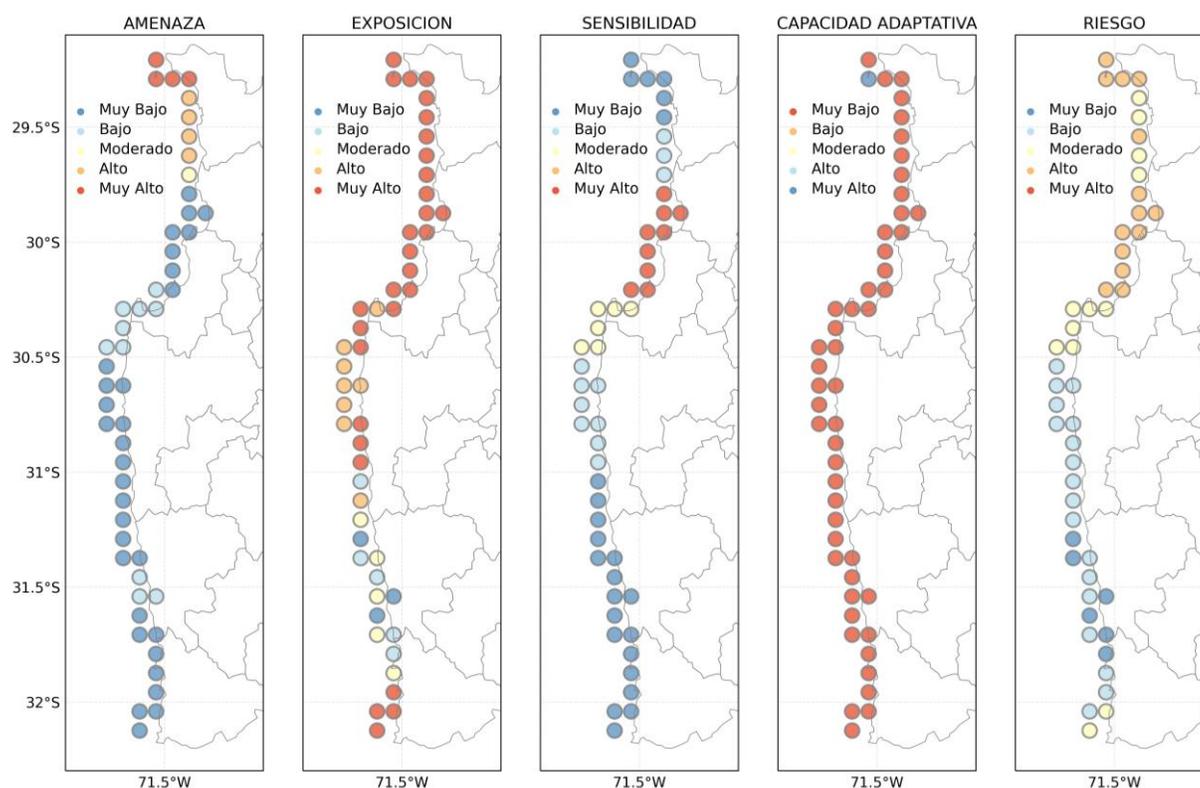


Figura 45. Riesgo de cambios en la ocupación espacial del pingüino de Humboldt por aumento en la temperatura superficial del mar en la Región de Coquimbo. Fuente: Elaboración propia.

Descripción del Resultado:

Para el horizonte 2040-2050 se espera que la zona norte de la región de Coquimbo presente un aumento importante en su temperatura superficial del mar (nivel de amenaza “alta” a “muy alta”). Por otro lado, los niveles de amenaza son “muy bajos” o “bajos” para el resto de la región en lugares como la Bahía de Coquimbo, Tongoy - Guanaqueros y los Vilos. La exposición de esta especie es, en general, “muy alta” y “alta” para la mayor parte del borde costero de la región, particularmente en los extremos. La sensibilidad es mucho más “alta” en torno a la conurbación La Serena-Coquimbo, mientras que la



capacidad adaptativa es “muy baja” en todo el borde costero, con excepción del área inmediatamente adyacente a la Reserva Nacional Pingüino de Humboldt.

El riesgo de cambios de ocupación para el pinguino de Humboldt por cambios en la temperatura superficial del mar es “moderado” o “alto”, particularmente desde la comunas de la Higuera a Coquimbo (ver Fig. 45).

Ballena jorobada

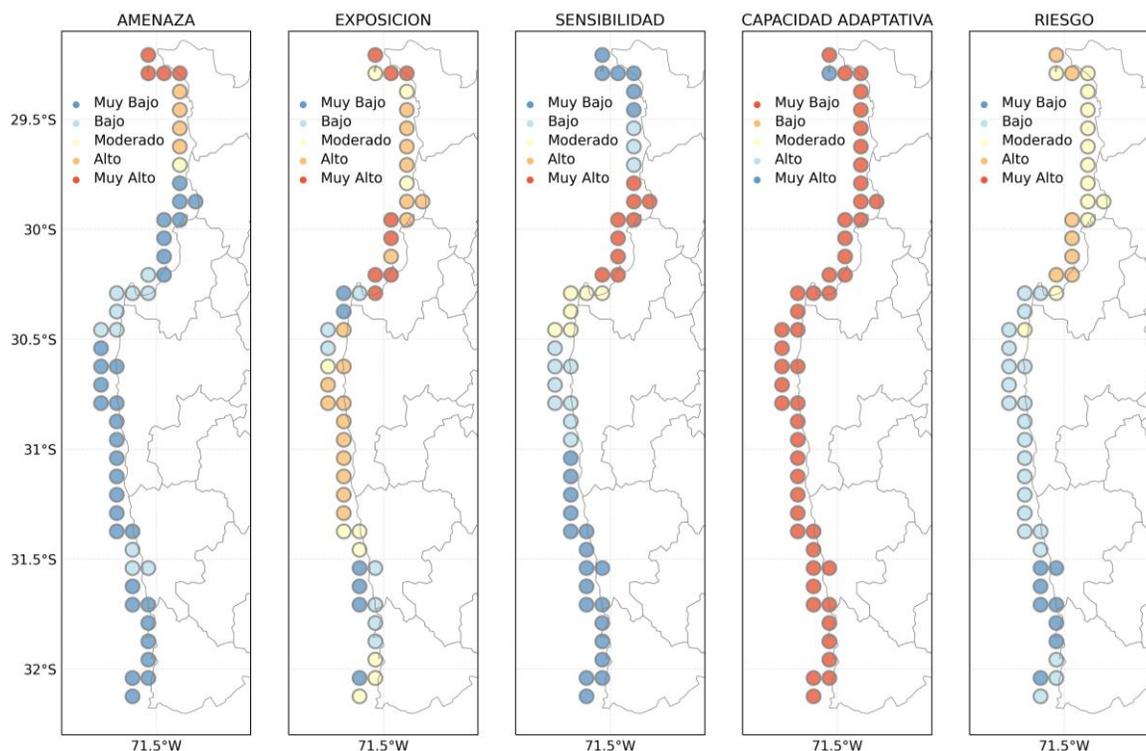


Figura 46. Riesgo de cambios en la ocupación espacial de la ballena jorobada por aumento en la temperatura superficial del mar en la Región de Coquimbo. Fuente: Elaboración propia.

Descripción del Resultado:

Para el horizonte 2040-2050 se espera que la zona norte de la región de Coquimbo presente un aumento importante en su temperatura superficial del mar (nivel de amenaza “alta” a “muy alta”). Por otro lado, los niveles de amenaza son “muy bajos” o “bajos” para el resto de la región en lugares como la Bahía de Coquimbo, Tongoy - Guanaqueros y los Vilos. La exposición de esta especie es altamente variable y se presenta en un mosaico espacial. La sensibilidad es mucho más “alta” en torno a la conurbación La Serena-Coquimbo, mientras que la capacidad adaptativa es “muy baja” en todo el borde costero, con excepción del área inmediatamente adyacente a la Reserva Nacional Pingüino de Humboldt.

El riesgo de cambios en la ocupación espacial de la ballena jorobada por cambios en la temperatura superficial del mar es “moderado” y “alto”, particularmente desde las comunas de Coquimbo y la Higuera (ver Fig. 46).



Cachalote

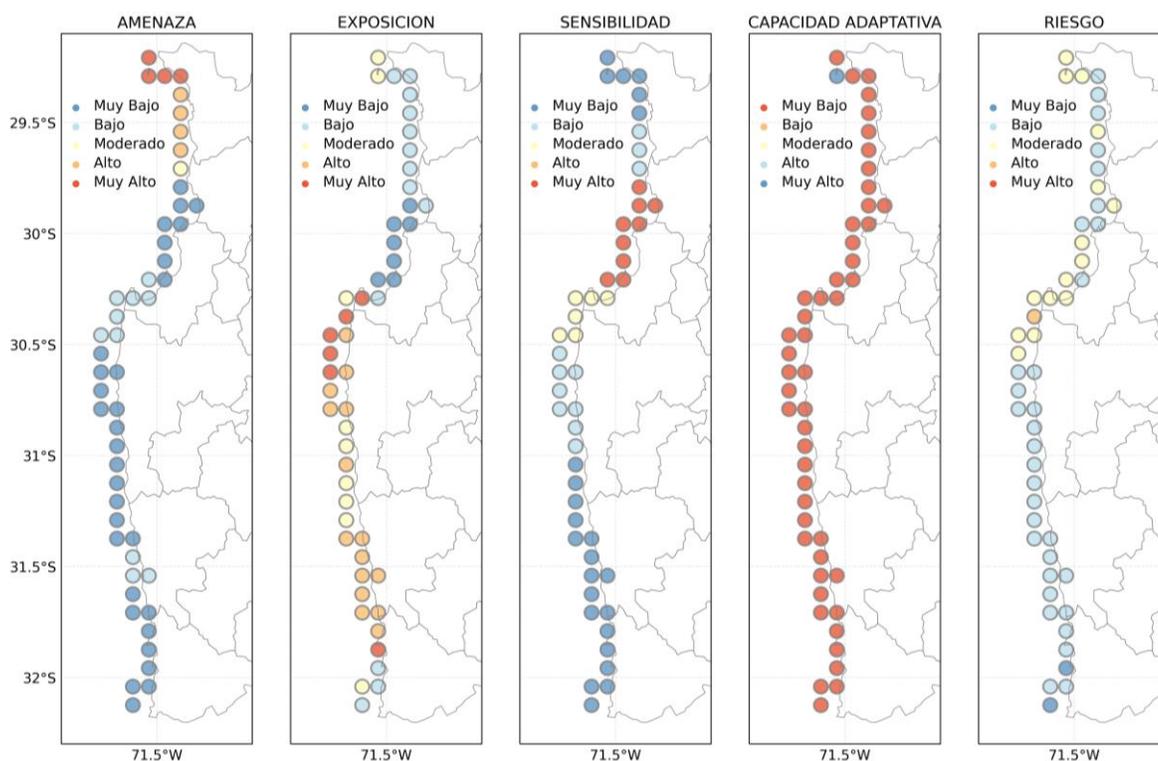


Figura 47. Riesgo de cambios en la ocupación espacial del cachalote por aumento en la temperatura superficial del mar en la Región de Coquimbo. Fuente: Elaboración propia.

Descripción del Resultado:

Para el horizonte 2040-2050 se espera que la zona norte de la región de Coquimbo presente un aumento importante en su temperatura superficial del mar (nivel de amenaza “alta” a “muy alta”). Por otro lado, los niveles de amenaza son “muy bajos” o “bajos” para lugares como la Bahía de Coquimbo, Tongoy - Guanaqueros y los Vilos. La exposición de esta especie alcanza valores de “alto” a “muy alto” desde las comunas de Ovalle hacia los Vilos. La sensibilidad es mucho más “alta” en torno a la conurbación La Serena-Coquimbo, mientras que la capacidad adaptativa es “muy baja” en todo el borde costero, con excepción del área inmediatamente adyacente a la Reserva Nacional Pingüino de Humboldt.

El riesgo de cambio en la ocupación espacial del cachalote por cambios en la temperatura superficial del mar alcanza valores “moderados”, particularmente en zonas del norte de la región (**ver Fig. 47**).



Delfín nariz de botella

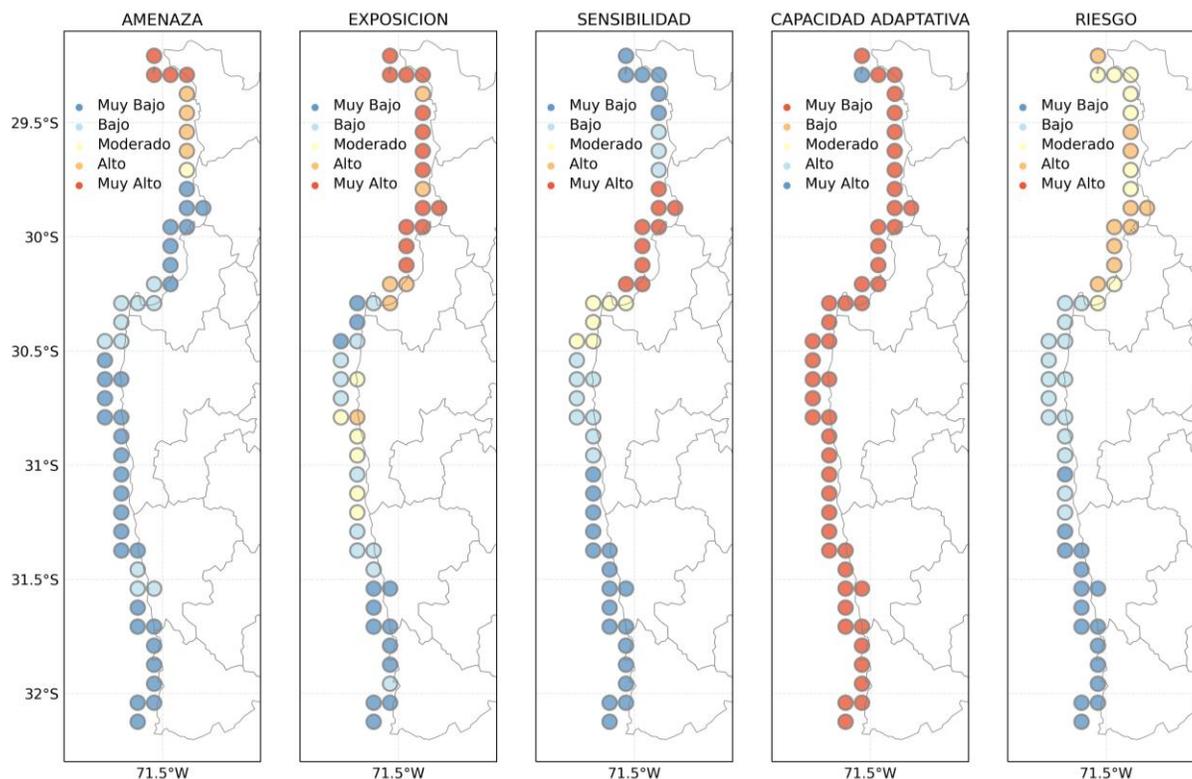


Figura 48. Riesgo de cambios en la ocupación espacial del delfín nariz de botella por aumento en la temperatura superficial del mar en la Región de Coquimbo. Fuente: Elaboración propia.

Descripción del Resultado:

Para el horizonte 2040-2050 se espera que la zona norte de la región de Coquimbo presente un aumento importante en su temperatura superficial del mar (nivel de amenaza “alta” a “muy alta”). Por otro lado, los niveles de amenaza son “muy bajos” o “bajos” para el resto de la región en lugares como la Bahía de Coquimbo, Tongoy - Guanaqueros y los Vilos. La exposición de esta especie alcanza valores “muy altos” desde la Higuera a Coquimbo. La sensibilidad es mucho más “alta en” torno a la conurbación La Serena-Coquimbo, mientras que la capacidad adaptativa es “muy baja” en todo el borde costero, con excepción del área inmediatamente adyacente a la Reserva Nacional Pingüino de Humboldt.

El riesgo de cambio en la ocupación del delfin nariz de botella por cambios en la temperatura superficial del mar alcanza valores de “moderados” a “altos”, particularmente en zonas del norte de la región (**ver Fig. 48**).



Ballena azul

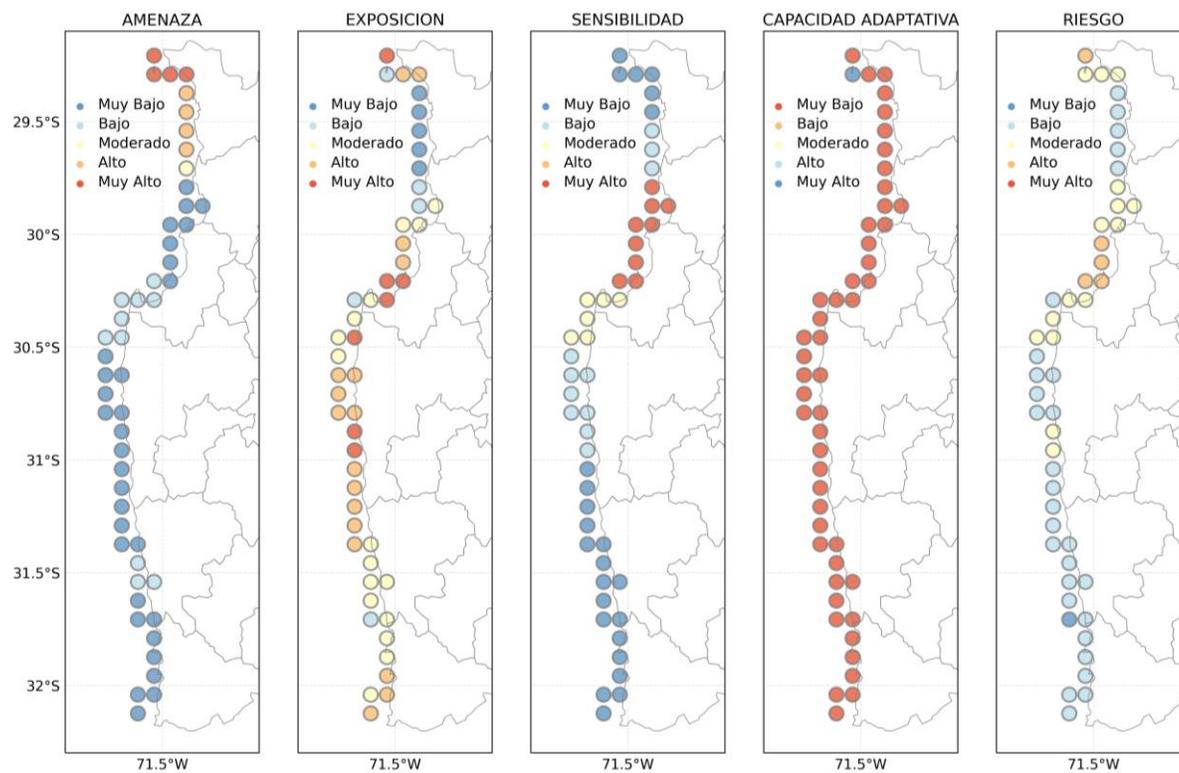


Figura 49. Riesgo de cambios en la ocupación espacial de la ballena azul por aumento en la temperatura superficial del mar en la Región de Coquimbo. Fuente: Elaboración propia.

Descripción del Resultado:

Para el horizonte 2040-2050 se espera que la zona norte de la región de Coquimbo presente un aumento importante en su temperatura superficial del mar (nivel de amenaza “alta” a “muy alta”). Por otro lado, los niveles de amenaza son “muy bajos” o “bajos” para el resto de la región en lugares como la Bahía de Coquimbo, Tongoy - Guanaqueros y los Vilos. La exposición de esta especie es altamente variable y se presenta en un mosaico espacial. La sensibilidad es mucho más “alta” en torno a la conurbación La Serena-Coquimbo, mientras que la capacidad adaptativa es “muy baja” en todo el borde costero, con excepción del área inmediatamente adyacente a la Reserva Nacional Pingüino de Humboldt.

El riesgo de cambio de ocupación espacial de la ballena azul por cambios en la temperatura superficial del mar alcanza valores de “moderados” a “altos”, particularmente desde las comunas de Coquimbo y la Higuera (**ver Fig. 49**).



Yunquito

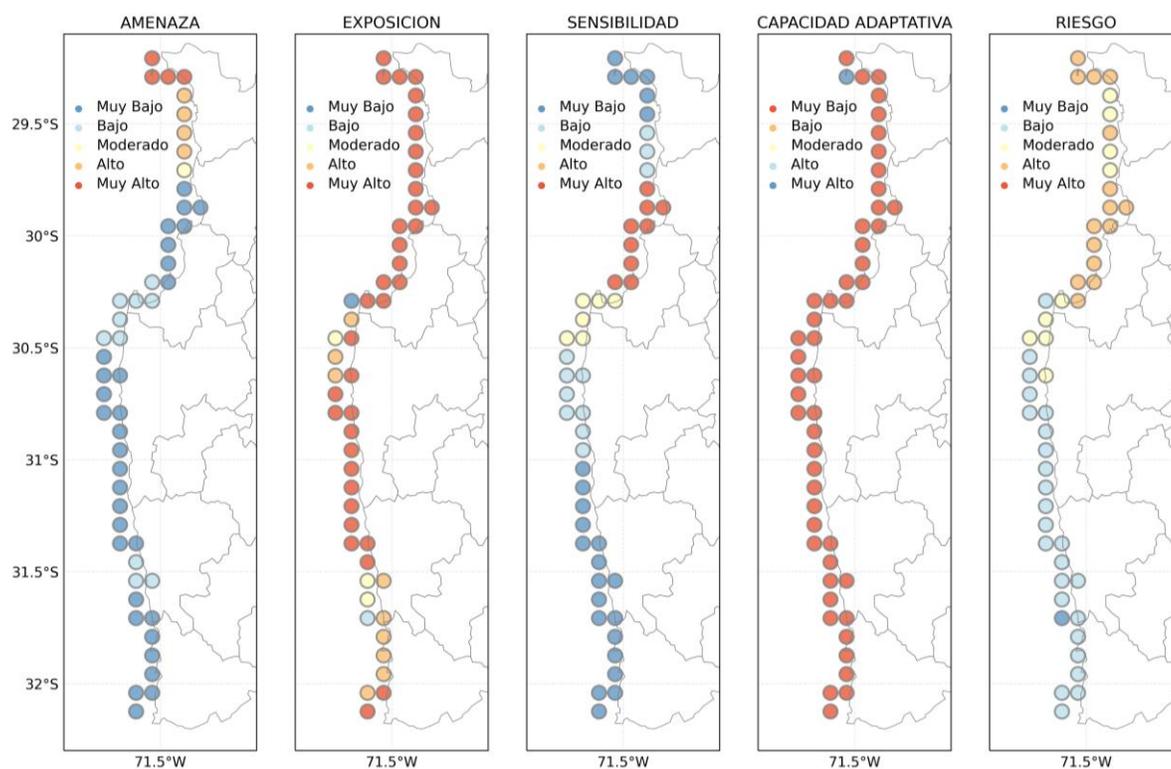


Figura 50. Riesgo de cambios en la ocupación espacial del yunquito por aumento en la temperatura superficial del mar en la Región de Coquimbo. Fuente: Elaboración propia.

Descripción del Resultado:

Para el horizonte 2040-2050 se espera que la zona norte de la región de Coquimbo presente un aumento importante en su temperatura superficial del mar (nivel de amenaza “alta” a “muy alta”). Por otro lado, los niveles de amenaza son “muy bajos” o “bajos” para el resto de la región en lugares como la Bahía de Coquimbo, Tongoy - Guanaqueros y los Vilos. La exposición de esta especie alcanza valores “muy altos” para prácticamente todo el borde costero de la región. La sensibilidad es mucho más alta en torno a la conurbación La Serena-Coquimbo, mientras que la capacidad adaptativa es “muy baja” en todo el borde costero, con excepción del área inmediatamente adyacente a la Reserva Nacional Pingüino de Humboldt.

El riesgo de cambio en la ocupación espacial del yunquito por cambios en la temperatura superficial del mar valores de “moderados” a “altos”, particularmente entre las zonas de la Higuera hasta el norte de Ovalle (*ver Fig. 50*).



4.2.2.2. CIUDAD E INFRAESTRUCTURA

Nombre de la Cadena de Impacto:

Incremento de presencia de medusas (aguaviva) y sifonóforos tóxicos (fragata portuguesa) por aumento en la temperatura superficial del mar

Justificación de la cadena seleccionada:

Diversos efectos antropogénicos, incluido el incremento en la temperatura de mar, han incrementado la frecuencia e intensidad de *blooms* de medusas y sifonóforos en diferentes partes del mundo (Purcell 2005, Purcell et al. 2007). En Chile la situación no es diferente, y estudios recientes revelan un incremento en el número de varazones de especies como la 'fragata portuguesa' (*Physalia physalis*) (Araya et al., 2016, Canepa et al., 2000, Fierro et al., 2021) y la 'aguaviva' *Chrysaora plocamia* (Mianzan et al., 2014) asociado con un incremento en la temperatura del mar y condiciones de 'El Niño'.

La presencia de estos organismos en las playas afecta la salud de las personas como el turismo de las zonas afectadas. Los nematocistos de estas especies pueden tener una toxicidad moderada a alta (Stein et al., 1989, Vega & Ogalde, 2008) obligando en la mayoría de los casos a las autoridades sanitarias del lugar a cerrar las playas a bañistas¹⁸, con el consiguiente deterioro de atractivo turístico.

Definición de la cadena desarrollada:

Componentes del riesgo	Indicador
Amenaza	Incremento en la temperatura superficial máxima del mar (i.e. verano).
Exposición	Largo total de playas de arena en celdas espaciales costeras
Sensibilidad	Distancia fuente biogeográfica
Capacidad adaptativa	Recursos de municipios con zona costera
Riesgo	Incremento en la proporción de playas afectadas por varazones de medusas y sifonóforos tóxicos
Escala espacial	9.2 km

Metodología para el cálculo de indicadores de amenazas:

El incremento en la temperatura superficial máxima, medida en el largo plazo, ($\Delta TSMm$) se estima como:

$$\Delta TSMmax = TSMmax_{fututuro} - TSMmax_{presente}$$

, donde $TSMmax_{fututuro}$ es la temperatura máxima para la ventana temporal 2040 - 2050 proyectada de acuerdo al escenario RCP8.5 versus la actualidad ($TSMmax_{presente}$, 2000 - 2014). La información fue extraída para todo el borde costero de la región de Coquimbo, empleando *rasters* geoespaciales disponibles en la base de datos global *BioOracle* (Assis et al., 2018), con una resolución espacial de aproximadamente 9.2 km.

Metodología para el cálculo de indicadores de exposición:

La exposición fue estimada como el largo total de playas de arena en cada celda de 9.2 km de resolución. La información ha obtenida a partir de imágenes de Google Earth®, y que han sido publicadas previamente (Thiel et al., 2007, Haye et al., 2019).

Metodología para el cálculo de indicadores de sensibilidad:

La sensibilidad en cada celda espacial se estimó como la *Distancia Fuente Biogeográfica* de la costa respecto a la distribución geográfica conocida de cada especie,

$$Distancia Fuente Biogeográfica = \frac{1}{M[Dist(Costa_i - Ocurrencia_j)]}$$

, donde se estima la mediana M de la distancia (en km) entre cada celda costera i y cada ocurrencia espacial de la especie en todo el planeta. Las ocurrencias especiales fueron obtenidas de la base de datos GBIF, y tras un filtrado de ocurrencias para excluir valores outliers se trabajó con un total de 166

¹⁸ <https://www.meganoticias.cl/nacional/365023-playas-cerradas-fragata-portuguesa-15-01-2022.html>



ocurrencias para *Chrysaora* y 4869 para *Physalia*. Valores altos de *Distancia Fuente Biogeográfica* se asocian a una mayor cercanía con las poblaciones de las especies, y por lo tanto implican una mayor sensibilidad

Metodología para el cálculo de indicadores de capacidad adaptativa:

La capacidad adaptativa fue calculada como:

$$\text{Recursos de municipios costeros} = BPIGM$$

, donde *BPIGM* es el presupuesto inicial en gastos municipales asignado a cada municipalidad del borde costero de la región para el año 2019, obtenido del Sistema Nacional de Información Municipal. El uso del *BPIGM* como indicador de capacidad adaptativa se justifica por la demostrada relación que existe entre la inversión municipal pública y el índice de calidad de vida urbano en Chile (Orellana y Marshall, 2016). Luego, municipios con menos recursos tendrían menor capacidad para gestionar recursos destinados a labores de detección y limpieza de aguavivas y fragata portuguesa varadas en las playas.

Para cada celda costera se asumió el recurso municipal total asignado para el municipio más cercano. Valores de recursos municipales altos se asocian a una mayor capacidad adaptativa.

Metodología para el cálculo del indicador de riesgo:

Las amenazas, exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa en cada celda fueron re-escaladas a valores entre 0 y 1 para hacerlas comparables. Posteriormente, para calcular el riesgo de incremento en la afectación del borde costero por parte de la medusa aguaviva y la especie fragata portuguesa se empleó la expresión:

$$\text{Riesgo} = \Delta TSM_{\text{Max}}' + \text{Ext. playas} + \text{Distancia Fuente}' * 1 - \text{Recursos municipales}'$$

, donde ' indica el re-escalamiento de las variables

Fuentes de información:

Componentes del Riesgo	Indicadores	Fuente
Amenaza	Temperatura superficial máxima del mar (i.e., verano)	BioOracle, v.2.2
Exposición	Extensión de playas de arena	Google Earth®, Thiel et al., 2007, Haye et al., 2019
Sensibilidad	Distancia Fuente Biogeográfica	GBIF, https://www.gbif.org/
Capacidad adaptativa	Recursos de municipios con borde costero	http://datos.sinim.gov.cl/datosmunicipales.php

Referencias

Araya, J.F., Aliaga, J.A. and Araya, M.E., 2016. On the distribution of *Physalia physalis* (Hydrozoa: Physaliidae) in Chile. *Marine Biodiversity*, 46(3): 731-735.

Haye, P.A., Segovia, N.I., Varela, A.I., Rojas, R., Rivadeneira, M.M. and Thiel, M., 2019. Genetic and morphological divergence at a biogeographic break in the beach-dwelling brooder *Excirrolana hirsuticauda* Menzies (Crustacea, Peracarida). *BMC Evolutionary Biology*, 19(1): 1-13.

Stein, M.R., Marraccini, J.V., Rothschild, N.E. and Burnett, J.W., 1989. Fatal Portuguese man-o-war (*Physalia physalis*) envenomation. *Annals of Emergency Medicine*, 18(3): 312-315.

Mianzan, H., Quiñones, J., Palma, S., Schiariti, A., Acha, E.M., Robinson, K.L. and Graham, W.M., 2014. *Chrysaora plocamia*: a poorly understood jellyfish from South American waters. En: *Jellyfish Blooms*, Pitt, K.A. & C. H. Lucas (Eds): 219-236.

Orellana, A. y Marshall, C., 2017. La relación entre inversión municipal pública y calidad de vida en las ciudades metropolitanas en Chile. *Cadernos Metrópole*, 19: 665-686.



Purcell, J.E., 2005. Climate effects on formation of jellyfish and ctenophore blooms: a review. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 85(3):461-476.

Purcell, J.E., Uye, S.I. and Lo, W.T., 2007. Anthropogenic causes of jellyfish blooms and their direct consequences for humans: a review. *Marine Ecology Progress Series*, 350:153-174.

Vega, M.A. and Ogalde, J.P., 2008. First results on qualitative characteristics and biological activity of nematocyst extracts from *Chrysaora plocamia* (Cnidaria, Scyphozoa). *Latin American Journal of Aquatic Research*, 36(1): 83-86.

Thiel, M., E. C. Macaya, E. Acuna, W. E. Arntz, H. Bastias, K. Brokordt, P. A. Camus, J. C. Castilla, L. R. Castro, M. Cortes, C. P. Dumont, R. Escribano, M. Fernandez, J. A. Gajardo, C. F. Gaymer, I. Gomez, A. E. Gonzalez, H. E. Gonzalez, P. A. Haye, J. E. Illanes, J. L. Iriarte, D. A. Lancellotti, G. Luna-Jorquera, C. Luxoroi, P. H. Manriquez, V. Marin, P. Munoz, S. A. Navarrete, E. Perez, E. Poulin, J. Sellanes, H. H. Sepulveda, W. Stotz, F. Tala, A. Thomas, C. A. Vargas, J. A. Vasquez, and J. M. A. Vega. 2007. The Humboldt Current System of northern and central Chile: Oceanographic processes, ecological interactions and socioeconomic feedback. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 45:195-344.

Resultados:

Incremento de presencia de medusas aguaviva por aumento en la temperatura superficial del mar durante la estación de verano

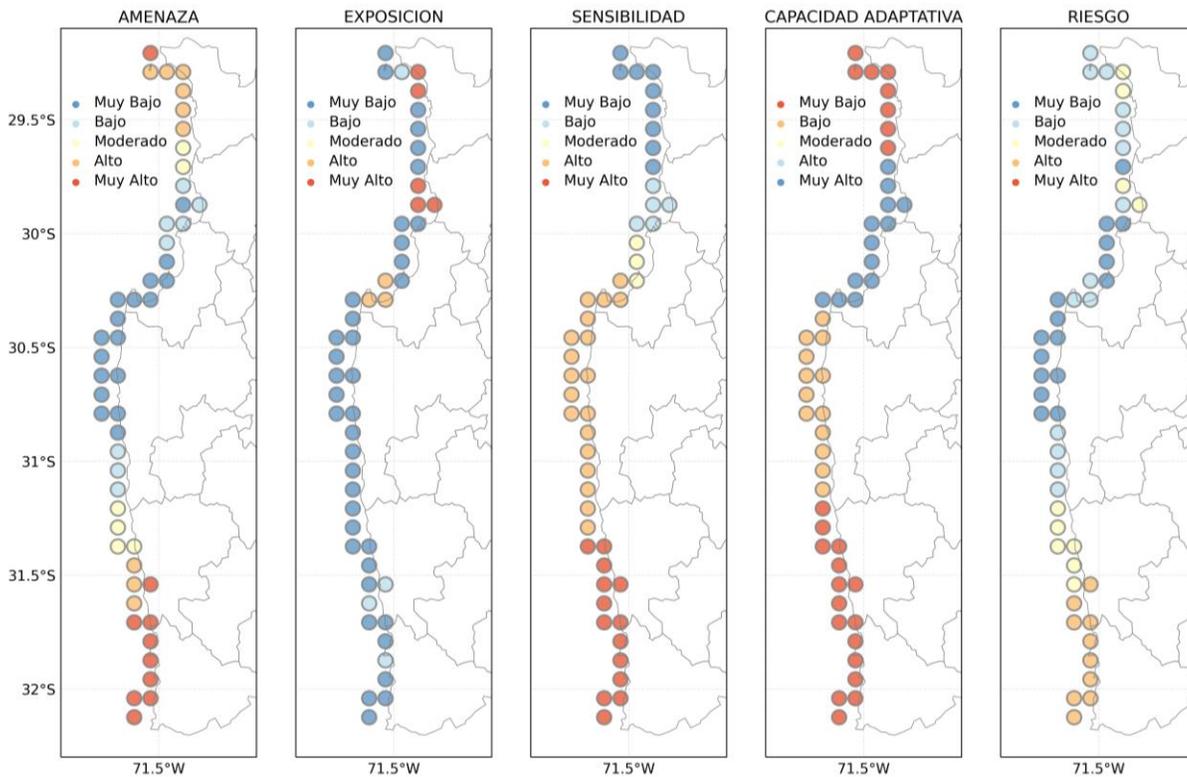
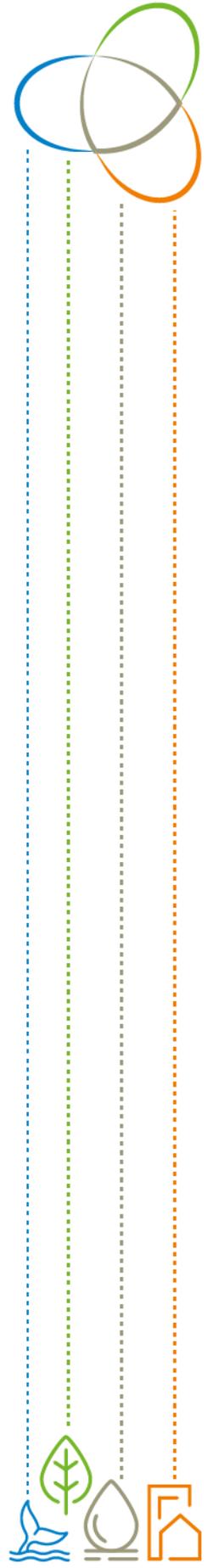


Figura 51. Riesgo en el incremento de la presencia de medusas agua viva por aumento en la temperatura superficial del mar durante la estación de verano en la Región de Coquimbo. Fuente: Elaboración propia.

Descripción del Resultado:

Para el horizonte 2040-2050 se espera que la zona norte de la región de Coquimbo presente un aumento importante en su temperatura superficial del mar (nivel de amenaza “alta” a “muy alta”). Por otro lado,



los niveles de amenaza son “muy bajos” o “bajos” para el resto de la región en lugares como la Bahía de Coquimbo, Tongoy - Guanaqueros y los Vilos. En cuanto a la exposición, los niveles son “altos” a “muy altos” en pocos puntos de la región, principalmente en La Serena y en el municipio de La Higuera. Por otro lado, la sensibilidad, asociada a la cercanía con la fuente geográfica de las poblaciones de la medusa ‘aguaviva’, muestra valores “altos” a “muy altos” incrementales hacia la zona sur de la región. La capacidad adaptativa, medida como recursos de municipios costeros disponibles, es en general “muy baja” hacia los extremos norte y sur de la región.

El riesgo de incremento en la presencia de medusa aguaviva por cambios en la temperatura superficial del mar durante la estación de verano es entre “moderado” a “alto”, particularmente en la zona sur de la región (**ver Fig. 51**).

Incremento de presencia de fragata portuguesa por aumento en la temperatura superficial del mar durante la estación de verano

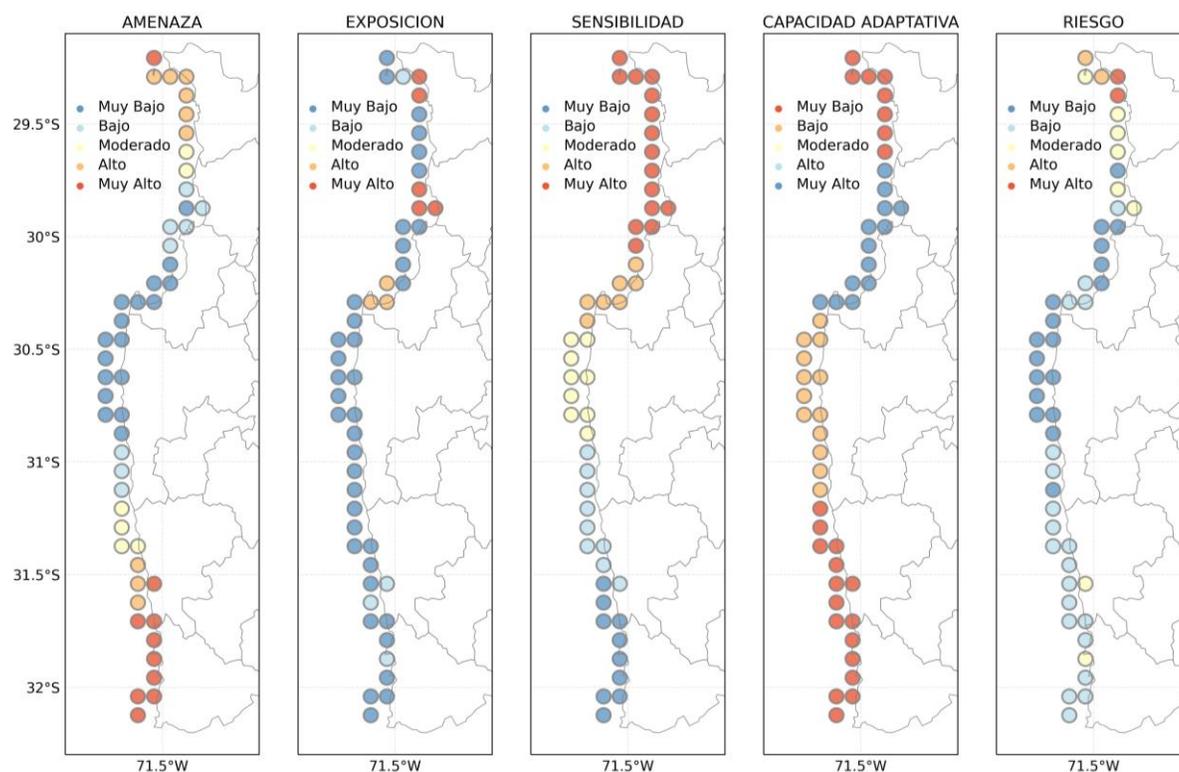


Figura 52. Riesgo en el incremento de la presencia de fragata portuguesa por aumento en la temperatura superficial del mar durante la estación de verano en la Región de Coquimbo. Fuente: Elaboración propia.

Descripción del Resultado:

Para el horizonte 2040-2050 se espera que la zona norte de la región de Coquimbo presente un aumento importante en su temperatura superficial del mar (nivel de amenaza “alta” a “muy alta”). Por otro lado, los niveles de amenaza son “muy bajos” o “bajos” para el resto de la región en lugares como la Bahía de Coquimbo, Tongoy - Guanaqueros y los Vilos. A nivel de exposición, presenta a nivel general valores que “bajos” a “muy bajos” a lo largo de la región, con excepción de los municipios de La Serena y La Higuera que denotan la mayor exposición frente al aumento en la presencia de esta especie. La sensibilidad, asociada a la cercanía con la fuente geográfica de las poblaciones de la fragata portuguesa, muestra valores “altos” a “muy altos” incrementales hacia la zona norte de la región. La capacidad adaptativa, medida como recursos de municipios costeros disponibles, es en general “muy baja” hacia los extremos norte y sur de la región.

El riesgo de incremento en la presencia de fragata portuguesa por cambios en la temperatura superficial de mar durante la estación de verano alcanza niveles “muy altos” y “altos” en torno al extremo norte de la región (**ver Fig. 52**).



Nombre de la Cadena de Impacto:

Pérdida en la continuidad de la cadena de suministro de agua potable en los Servicios Sanitarios Rurales por cambios en las precipitaciones

Justificación de la cadena seleccionada:

De acuerdo al Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), el cambio climático ha generado cambios en la temperatura del aire y de los océanos, disminución de precipitaciones, sequía, aumento en los deshielos de mantos polares, glaciares, nieves, etc. (IPCC, 2021).

A consecuencia del cambio climático gran parte de la población mundial experimentará una situación de mayor estrés hídrico, debido principalmente al aumento de la densidad poblacional y una disminución de las precipitaciones. Esto finalmente se traduce en una disminución de oferta de agua por persona, poniendo en peligro la seguridad hídrica ya que la futura relación entre la oferta y la demanda de agua estará principalmente influenciada por el rápido crecimiento de la población como también debido al fuerte desarrollo económico (IPCC, 2022).

A partir de lo mencionado, la capacidad de abastecer la demanda de agua potable en un territorio se presenta como un desafío de relevancia bajo las actuales y futuras condiciones, en donde existe una disminución de las precipitaciones, una menor escorrentía y una menor recarga de los acuíferos, estos últimos las principales fuentes de abastecimiento de los Servicios Sanitarios Rurales (SSR), condición que se ve acentuada por el efecto del cambio climático.

En la Región de Coquimbo, el 32% de los SSRs declaran tener problemas en el abastecimiento de agua desde su fuente, indicando que la fuente utilizada, casi en su totalidad desde fuentes subterráneas, no sería capaz de entregar una dotación adecuada (CAZALAC, 2016). Esta dinámica en el abastecimiento se ve aún más limitada cuando se evalúa la vulnerabilidad de los sistemas en las zonas áridas y semiáridas, en donde además de la escasez de agua, existe una dispersión geográfica de las zonas de demanda y de la población que conforma los sectores de abastecimiento. Según CAZALAC, estos sistemas manifiestan una gran heterogeneidad, en especial en lo que dice relación con la infraestructura de producción de agua, almacenamiento, distribución, calidad y fuentes de energía, entre otros, además del área organizacional y de gestión de los servicios (CAZALAC, 2016).

Al día de hoy, la Región de Coquimbo ha experimentado 3 años consecutivos de déficit pluviométrico. Los años 2018, 2019 y 2020 (este último con los datos hasta el mes de noviembre) registraron déficits de 55,8%, 85,5% y 43,5%, respectivamente, siendo el año 2019 uno de los años más secos desde que existen registros climáticos en donde algunas localidades bordearon el 92% de déficit (CEAZA, 2020). El año 2020 fue un año con precipitaciones bajo lo normal desde los valles hacia la cordillera y gran parte del seco costero y costa de la Región finalizaron con valores dentro de los rangos normales (entre 27 y 154 mm), sin embargo, durante el año 2019 se observaron valores bajo lo normal en toda la Región (entre 10 y 58 mm) (CEAZA, 2020).

De esta forma, la identificación y búsqueda de nuevas alternativas tanto técnicas como tecnológicas que permitan asegurar el abastecimiento se presentan como un desafío de adaptación a los impactos del cambio climático y de reducción de la vulnerabilidad en el abastecimiento de agua potable para consumo humano.



Definición de la cadena:

Componentes del riesgo	Indicador
Amenaza	Déficit de precipitaciones $\geq 50\%$
Exposición	<ul style="list-style-type: none"> ○ Capacidad de producción por cada SSRs ○ Número de personas abastecidas por un arranque ○ Rangos de abastecimiento por persona
Sensibilidad	<ul style="list-style-type: none"> ○ Capacidad de almacenamiento per cápita ○ Ubicación estratégica en la cuenca ○ Tipo de abastecimiento.
Capacidad de adaptación:	<ul style="list-style-type: none"> ○ Incorporación tecnológica. ○ Sistemas de alcantarillado
Riesgo:	Riesgo de pérdida de continuidad de la cadena de suministro de agua potable en los Servicios Sanitarios Rurales (SSRs)
Escala espacial:	Comuna

Metodología para el cálculo de indicadores de amenazas.

Para el indicador de amenaza (déficit de precipitaciones $\geq 50\%$) se consideró la variabilidad de las precipitaciones (promedio anual) para cada comuna de la Región de Coquimbo utilizando como escenario presente la serie temporal entre 1980 y 2010, y proyectando un escenario de cambio del clima futuro para el escenario 2035 – 2065 (RCP8.5).

El cambio en las precipitaciones (déficit o incremento) (Δpp Anual) se estimó como:

$$\Delta pp \text{ Anual (mm)} = pp_{\text{anual futuro}} - pp_{\text{anual presente}}$$

, donde pp Anual futuro corresponde al promedio anual (2035 - 2065) de precipitaciones para cada comuna bajo el escenario de cambio climático RCP8.5, y pp Anual presente corresponde al promedio de precipitaciones actual (1890 – 2010) para cada comuna.

La clasificación del nivel de amenaza fue determinada a partir de la diferencia entre la mínima y máxima variación en milímetros año, tomando como mínimo una variación de 0 milímetros y un máximo de 45 milímetros. La diferencia entre ambos fue dividida en 5 grupos categóricos, asignando niveles de amenaza incrementales asociados a la reducción de la precipitación entre ambos escenarios.

Nivel de Amenaza	Reducción de la precipitación	Valor Normalizado
Muy alta	$\Delta pp > 36 \text{ mm/año}$	0.8 – 1
Alta	$27 \text{ mm/año} < \Delta pp < 36 \text{ mm/año}$	0.6 – 0.8
Media	$18 \text{ mm/año} < \Delta pp < 27 \text{ mm/año}$	0.4 – 0.6
Leve	$9 \text{ mm/año} < \Delta pp < 18 \text{ mm/año}$	0.2 – 0.4
Nula	$\Delta pp < 9 \text{ mm/año}$	0 – 0.2

Metodología para el cálculo de indicadores de exposición:

El indicador de exposición está compuesto por tres índices:

- *Capacidad de producción por cada SSRs (E_1):*
Corresponde a la producción o extracción promedio mensual que tienen un servicio sanitario rural desde su fuente de abastecimiento para satisfacer la demanda de agua de su zona operacional. La producción se obtiene a partir de la sumatoria del registro diario del caudalímetro durante el mes o de la producción total mensual. Esta última es calculada a través de la diferencia de la producción del primer día del mes y la producción registrada en el último día del mismo mes.

La producción promedio del SSR es el resultado de la estadística histórica disponible de producción a escala mensual. El valor promedio se obtiene de una serie histórica existente, o de un solo valor informado por el propio Servicio Sanitario Rural. En caso de tener una serie



temporal histórica, la producción promedio mensual se estima sumando las producciones de cada mes, y dividiéndolas en el número de meses totales de la serie.

La segregación de grupos fue realizada en función de los mínimos y máximos de la serie de datos disponible. La agrupación, por tanto, se basó en la representatividad de estos y en el quiebre de producciones registradas. Se consideró que aquellos valores bajo el promedio fuesen clasificados como “muy expuestos”, y el resto de clasificaciones completadas con los datos restantes en 4 rangos representativos de la serie.

Nivel de exposición	Producción promedio por cada SSRs	Valor normalizado
Muy Alta	< 5.000 m ³	0.8 – 1
Alta	5.000 - 10.000 m ³	0.7 – 0.8
Media	10.000 - 20.000 m ³	0.5 – 0.7
Baja	20.000 - 30.000 m ³	0.3 – 0.5
Muy Baja	> 30.000 m ³	0 – 0.3

- *Número de personas abastecidas por el SSR (E₂):*
Corresponde al número de personas que conforman un grupo familiar promedio y que son abastecidas de agua potable en una zona rural, mediante un arranque o medidor. Un grupo familiar promedio en Chile está compuesto por ~3,1 personas, según información del Censo 2017, por tanto, cada arranque pone a disposición agua para 3,1 personas, pudiendo ese volumen dividirse en partes iguales. Este mismo dato es estimado por la Dirección de Obras Hidráulicas en su Programa de Agua Potable Rural, para todo el país.

Para la construcción de la cadena, el número fue aproximado de habitantes por vivienda fue aproximado a 3 personas. Para determinar el número de personas que son abastecidas por SSR se multiplicó el número de arranques que tiene formalizados el comité por 3 habitantes.

$$N^{\circ} \text{ de habitantes abastecidos} = N^{\circ} \text{ de arranques} \times 3 \text{ habitantes}$$

La segregación de grupos fue realizada en función de los mínimos y máximos de la serie de datos disponible. La agrupación por tanto se basó en la representatividad de estos y en el quiebre de producciones registradas. Se consideró que aquellos valores bajo el promedio fuesen clasificados como “muy expuestos”, y el resto de clasificaciones completadas con los datos restantes en 4 rangos representativos de la serie.

Nivel de exposición	Número de personas abastecidas por el SSR	Valor Normalizado
Muy Alta	> 2.000	0.8 – 1
Alta	1.500 – 2.000	0.7 – 0.8
Media	1.000 - 1500	0.5 – 0.7
Baja	500 - 1000	0.3 – 0.5
Muy Baja	< 500	0 – 0.3

- *Requerimiento de agua diario por persona (E₃):*
Corresponde a la cantidad de agua diaria que demanda una persona para satisfacer sus necesidades básicas, y dependerá la zona en la que se encuentre y de qué manera utilice el agua durante el día. Para el caso de los SSRs que no tienen sistemas de alcantarillado, se estima que el consumo diario de agua por persona puede variar entre los 80 y 140 litros por día, dependiendo la zona en la que se encuentre (HOMSI y Asociados, 2007). Cuando estos sistemas tienen saneamiento, el comportamiento de estos sistemas mostrará un incremento en el uso del agua, alcanzando niveles de dotación media anual de entre 120 a 160 litros/habitante/día.



A partir de esto, el nivel de requerimiento de agua diaria por persona puede dividirse en 4 rangos, considerando un requerimiento mínimo, requerimiento para cumplir norma, requerimiento de agua promedio y requerimiento máximo. A continuación, se define cada una de ellas:

- *Requerimiento mínimo:* Corresponde a la dotación diaria mínima de agua por persona, para que ésta pueda satisfacer sus necesidades básicas (alimentación y aseo), equivalente a una dotación de 80 litros/habitante/día.
- *Requerimiento para cumplir norma:* Corresponde a la dotación diaria de agua por persona, para que ésta pueda satisfacer sus necesidades, condicionado por el valor definido por la Superintendencia de Servicios Sanitarios. Esta dotación equivale a 100 litros/habitante/día.
- *Requerimiento promedio:* Corresponde a la dotación diaria de agua por persona para que ésta pueda satisfacer sus necesidades, considerando el abastecimiento urbano entregado por la empresa sanitaria, a partir de los volúmenes producidos y facturados. Esta dotación equivale a 125 litros/habitante/día.
- *Requerimiento máximo:* Corresponde a la dotación diaria de agua máxima por persona. Esta dotación equivale a 140 litros/habitante/día.

Nivel de exposición	Requerimiento de agua diario por persona	Valor normalizado
Muy Alta	< 50 L/hab/día	0.8 – 1
Alta	50 - 100 L/hab/día	0.7 – 0.8
Media	100 - 150 L/hab/día	0.5 – 0.7
Baja	150 - 200 L/hab/día	0.3 – 0.5
Muy Baja	> 200 L/hab/día	0 – 0.3

La exposición se calculó a partir del promedio de los resultados de los tres indicadores que se indican a continuación:

$$E = (E_1 + E_2 + E_3) / 3$$

Metodología para el cálculo de indicadores de sensibilidad:

En cuanto a los indicadores de sensibilidad, se identificaron un set de 5 factores de sensibilidad los cuales se relacionan con las características de la zona en la cual el servicio sanitario rural está inserto.

- *Capacidad de abastecimiento per cápita (S₁):*
Corresponde a la capacidad de almacenamiento de agua que un servicio sanitario rural posee, limitada por el número de estanques y el volumen de estos. La relevancia de este indicador recae en que esta condición permite estimar el volumen de agua que está disponible para los habitantes de ese sistema. A partir de esto se puede definir la seguridad de abastecimiento del servicio sanitario rural, expresado en litros disponibles por habitante.

El cálculo de la capacidad de abastecimiento per cápita esta dada por:

$$\text{Capacidad de abastecimiento (l/hab)} = \frac{\text{volumen almacenamiento total SSR (m}^3\text{)} * 1000}{N^{\circ} \text{ de habitantes}}$$

La clasificación de este indicador se categoriza de acuerdo al rango de agua disponible de acuerdo a (1) *Bajo el Mínimo*; (2) *Bajo la Media*; (3) *En la Media*; (4) *Sobre la Media* y (5) *Abastecimiento Máximo*. A continuación, se describe cada rango:

- *Bajo el mínimo:* Corresponde al rango en donde la capacidad de almacenamiento es menor a 80 litros por habitante.
- *Bajo la media:* Corresponde al rango en donde la capacidad de almacenamiento es mayor a 80 litros y menor a 100 litros por habitante.



- *En la media*: Corresponde al rango en donde la capacidad de almacenamiento es mayor a 100 litros y menor a 125 litros por habitante.
- *Sobre la media*: Corresponde al rango en donde la capacidad de almacenamiento es mayor a 125 litros y menor a 140 litros por habitante.
- *Abastecimiento máximo*: Corresponde al rango en donde la capacidad de almacenamiento es mayor a 140 litros por habitante.

Nivel de sensibilidad	Capacidad de Almacenamiento	Valor normalizado
Muy Alta	< 80 L/hab	0.74 – 1.0
Alta	80 – 100 L/hab	0.68 – 0.74
Media	100 – 125 L/hab	0.6 – 0.68
Baja	125 – 140 L/hab	0.55 – 0.6
Muy Baja	> 140 L/hab	0 – 0.55

o *Ubicación estratégica en la cuenca (S₂):*

La ubicación de los sistemas dentro de una unidad territorial como una cuenca hidrográfica puede condicionar la capacidad de acceder a fuentes de agua permanentes, considerando que los sistemas en su mayoría se abastecen desde fuentes subterráneas.

Para el cálculo de este indicador se categorizó la ubicación de servicio sanitario rural en: (1) *Sobre embalse*; (2) *Bajo embalse* y (3) *Sin influencia de embalse*. Se considera de relevancia este sistema dado que una obra de este tipo podría modificar los volúmenes de agua disponibles para el abastecimiento de esas zonas.

- *Sobre Embalse*: Serán servicios sanitarios rurales sobre embalse aquellos que geográficamente se ubican aguas arriba de una gran obra de acumulación, estando cerca del cauce principal que la abastece.
- *Bajo Embalse*: Serán servicios sanitarios rurales bajo embalse aquellos que geográficamente se ubican aguas abajo de una gran obra de acumulación, estando cerca del cauce principal que abastece.
- *Sin influencia*: Serán servicios sanitarios rurales sin influencia de embalse aquellos que geográficamente se ubican en cauces o subcuencas sin grandes obras de almacenamiento.

Sensibilidad	Ubicación estratégica en la cuenca	Valor Normalizado
Alta	Sin Influencia	0.66 – 1.0
Media	Sobre embalse	0.33 – 0.66
Baja	Bajo Embalse	0 – 0.33

o *Tipo de Abastecimiento (S₃):*

Corresponde a la clasificación dada por el tipo de abastecimiento que el servicio sanitario rural posee. Este abastecimiento podrá ser clasificado como abastecimiento permanente o intermitente. Será abastecimiento permanente aquel sistema que posee una fuente de agua permanente, condicionada por la facilidad de acceso al agua, o sea, posee una fuente propia para su abastecimiento. Será abastecimiento intermitente aquella que no posee una fuente propia y depende del abastecimiento suplementario por otra fuente, o sea, por camiones aljibes. En casos especiales el tipo de abastecimiento podrá ser de ambos tipos, o sea, fuente natural complementado con camiones aljibes.

Sensibilidad	Tipo de Abastecimiento	Valor Normalizado
Alta	Aljibe	0.66 – 1.0
Media	Ambos	0.33 – 0.66
Baja	Sin Aljibe	0 – 0.33



La sensibilidad se calculó a partir del promedio de los resultados de los cuatro indicadores que se indican a continuación:

$$S = (S_1 + S_2 + S_3) / 3$$

Metodología para el cálculo de indicadores de capacidad adaptativa:

Para la estimación de la capacidad adaptativa se han considerado indicadores relacionados con la intervención operacional de los sistemas, dentro de los cuales se encuentra la incorporación de tecnología y la evaluación de la operación. Los indicadores propuestos para esta capacidad están condicionados por la voluntariedad de los servicios sanitarios rurales a incorporar los dentro de su operación, existiendo casos en donde existen sistemas que ya poseen uno o más de estos indicadores.

Dado que la caracterización de estos indicadores está asociado a una respuesta que será binaria (posee - no posee) se asignará un peso diferenciado a cada respuesta, considerando la normalización de valores bajo el rango de 0 y 1. Será valor 0 aquel que posee alguno de los indicadores, mientras que será 1 aquel que no lo posea.

- *Incorporación de tecnologías de gestión y control (CA₁):*

Se espera conocer si el servicio sanitario rural dispone de algún sistema o tecnología de gestión y control que le permita conocer los niveles de producción, consumo eléctrico, número de horas de funcionamiento del sistema entre otros. Este indicador será categorizado en posee o no posee, entregando una ponderación diferenciada a cada respuesta.

Nivel de capacidad adaptativa	Tecnologías de gestión y control	Valor Normalizado
Alta	Posee tecnologías	0.5 – 1
Baja	No posee tecnologías	0 – 0.5

- *Sistemas de alcantarillado (CA₂):*

Se pretende conocer la infraestructura con la que cuenta el servicio sanitario rural para la recolección y tratamiento de aguas, considerando este proceso como una adaptación a los cambios normativos legales, parte del proceso de modernización de estos sistemas. Este indicador será categorizado en posee o no posee, entregando una ponderación diferenciada a cada respuesta.

Nivel de capacidad adaptativa	Sistema de Alcantarillado	Valor Normalizado
Alta	Posee sistema	0.5 – 1
Baja	No posee sistema	0 – 0.5

La capacidad adaptativa se calculó a partir del promedio de los resultados de los tres indicadores que se indican a continuación:

$$CA = (CA_1 + CA_2) / 2$$

Metodología para el cálculo del indicador de riesgo:

Para el indicador de riesgo, se realizó una ponderación por peso individual de cada indicador (amenaza, sensibilidad y capacidad adaptativa). Los pesos asignados a cada uno, responden a la proporción que tendrían la amenaza climática de disminución de las precipitaciones sobre la continuidad en el suministro de agua potable rural, la respuesta que estos tendrían frente a la disminución en el agua disponible y la capacidad de incorporación de procesos de gestión que permitan la continuidad del abastecimiento. De esta forma, aquellos indicadores que son externos al control del SSR, tienen un peso mayor que aquellos en los que sí pueden intervenir.

Las ponderaciones son:

- **Amenaza:** Corresponde al indicador de mayor peso dentro de la evaluación del riesgo, con una ponderación de 0,5 o 50%. La ponderación busca representar la relevancia que la disminución de las precipitaciones tienen sobre el abastecimiento de agua, ya que estas, están ligadas con la dinámica de escurrimientos y recarga de acuíferos dentro la cuenca, estos últimos, única fuente de abastecimiento de los SSR.





- **Exposición:** A este indicador se le ha asignado un peso de 0.3 o 30% de representatividad sobre la vulnerabilidad de los SSR. La exposición estará condicionada por la capacidad que tendrá el SSR de satisfacer la demanda de la población actual considerando sus rangos de producción y la demanda de agua estimada para la población. Ambos criterios son variables en el tiempo y exponen al SSR en cuanto a su capacidad de respuesta.
- **Sensibilidad:** A este indicador se le ha asignado un peso de 0.15 o 15% de representatividad sobre la vulnerabilidad de los SSR. La sensibilidad y su representación dentro del riesgo, estará condicionada por la capacidad que tendrá el SSR de responder a cambios ligados a su tipo de abastecimiento, a la capacidad de satisfacer la demanda de la población, pero también como es sensible a los cambios en su entorno territorial.
- **Capacidad de Adaptación:** A este indicador se le ha asignado un peso de 0.05 o 5% de representatividad sobre la vulnerabilidad de los SSR. Este indicador no depende directamente del SSR, sino más bien a agentes externos que aporten con herramientas para su adaptación al impacto del cambio climático, por tanto, al no ser controlado por el SSR posee menos peso dentro de la determinación del riesgo.

El indicador del riesgo será calculado mediante la agregación aritmética ponderada, la que se presenta en la siguiente fórmula:

$$R = \frac{(A * w_A) + (E * w_E) + (S * w_S) + (CA * w_{CA})}{w_A + w_E + w_S + w_{CA}}$$

, donde R: Indicador de Riesgo, A: Indicador de Amenaza, w_A : ponderación para amenaza, E: Indicador de exposición, w_E : ponderación para exposición, S: Indicador de sensibilidad, w_S : ponderación para sensibilidad, CA: Indicador de capacidad de adaptación, w_{CA} : ponderación para capacidad de adaptación.

Indicador de Riesgo	Valorización del Riesgo
Muy Alto	0.8 – 1
Alto	0.6 – 0.8
Moderado	0.4 – 0.6
Bajo	0.2 – 0.4
Muy Bajo	0 – 0.2

Fuentes de Información:

Componentes del Riesgo	Datos	Fuente de Información
Amenaza	Precipitaciones	Dirección Meteorológica de Chile (DMC). Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2). Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA).
Exposición	<ul style="list-style-type: none"> ○ Producción Mensual ○ Número de Arranques ○ Número de Habitantes ○ Consumo por persona 	Dirección de Obras Hidráulicas (DOH). Dirección General de Aguas (DGA). Instituto Nacional de Estadísticas (INE). Centro Regional del Agua para Zonas Áridas y Semi Áridas para América Latina y el Caribe (CAZALAC). Laboratorio de Prospección, Monitoreo y Modelación de Recursos Agrícolas y Ambientales (PROMMRA - ULS). Superintendencia de Servicios Sanitarios



<p>Sensibilidad</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Volumen de almacenamiento ○ Coordinadas ○ Habitantes ○ Abastecimiento 	<p>Dirección de Obras Hidráulicas (DOH). Dirección General de Aguas (DGA). Instituto Nacional de Estadísticas (INE). Centro Regional del Agua para Zonas Áridas y Semi Áridas para América Latina y el Caribe (CAZALAC). Laboratorio de Prospección, Monitoreo y Modelación de Recursos Agrícolas y Ambientales (PROMMRA - ULS).</p>
<p>Capacidad Adaptativa</p>	<p>Infraestructura operacional</p>	<p>Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA). Centro Regional del Agua para Zonas Áridas y Semi Áridas para América Latina y el Caribe (CAZALAC). Laboratorio de Prospección, Monitoreo y Modelación de Recursos Agrícolas y Ambientales (PROMMRA - ULS).</p>

Referencias

Centro Regional del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe (CAZALAC) (2016) Investigación de soluciones innovadoras para el abastecimiento de agua. Disponible en: <http://www.cazalac.org/publico/uploads/media/C2.ContenidoDiagnostico01.pdf>

Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA) (2020). Situación Hidrometeorológica para la Región de Coquimbo. Boletín Climático Ceaza – Diciembre 2020. Disponible en: <http://boletin.ceazamet.cl/images/boletin/boletin.ceazamet.2020.12.pdf>

HOMSI Y ASOCIADOS LTDA (2007). Estudio de Soluciones de Saneamiento Rural. Informe final. Gobierno de Chile, Ministerio del Interior – SUBDERE. Disponible en: <https://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/documentos/articles-77155recurso1.pdf>

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICAS (INE) (2019). Estimaciones y proyecciones de la población de Chile 2002 – 2035 Totales Regionales, Población Urbana y Rural. Síntesis de resultados. Disponible en: <https://www.ine.cl/docs/default-source/proyecciones-de-poblacion/publicaciones-y-anuarios/base-2017/ineestimaciones-y-proyecciones-2002-2035base-2017regáreas%C3%ADntesis.pdf?sfvrsn=aaeb88e75>



Resultados:

Cambios en la continuidad de la cadena de suministro de agua potable en los Servicios Sanitarios Rurales (SSRs) por cambios en las precipitaciones

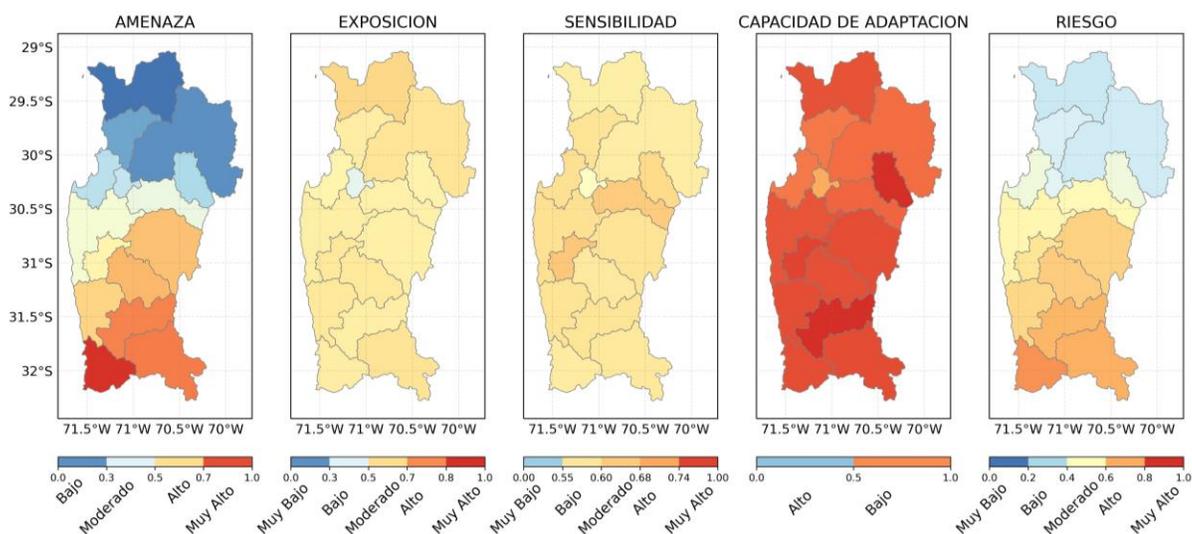


Figura 53. Riesgo asociado a la pérdida en la continuidad de la cadena de suministro de agua potable en los Servicios Sanitarios Rurales (SSRs) por cambios en las precipitaciones. Fuente: Elaboración propia.

Descripción del Resultado:

En la región de Coquimbo, todos los Servicios Sanitarios Rurales (SSRs) presentan un riesgo de pérdida de abastecimiento en la cadena de suministro de agua potable por la disminución de las precipitaciones para un horizonte comprendido entre 2035 y 2065 bajo un escenario de altas emisiones (RCP8.5). Mientras que aquellos SSRs que se encuentran en las comunas de la provincia de Elqui presentan un riesgo “bajo” ante un escenario de disminución de precipitaciones, las comunas de las provincias de Limarí y Choapa presentan un riesgo “moderado” o “muy alto”. En particular, las comunas de esas dos provincias son extremadamente relevantes ya que concentran más del 60% de la población rural que es actualmente abastecida por SSRs en la región de Coquimbo (**ver Fig. 53**).

4.2.2.3. Agua y Suelo

Nombre de la Cadena de Impacto:

Pérdida de superficie cultivable de uva pisquera por aumento en la frecuencia de olas de calor y aumento en la frecuencia de sequía

Justificación de la cadena seleccionada:

El cambio climático está intensificando la expansión de zonas áridas (alcanzando hasta la fecha 3 mil 600 millones de hectáreas¹⁹), la exacerbará la falta de recurso hídrico, la degradación de la tierra y desertificación, especialmente en regiones áridas y semiáridas (IPCC, 2014). Las consecuencias del aumento de la aridez y desertificación son especialmente importantes para el sector agrícola, el cual es altamente vulnerable a pequeñas variaciones en los patrones interanuales y estacionales de temperatura y precipitaciones (Sage, 2019).

La disminución de precipitaciones genera una reducción y cambio en la distribución del agua que circula en las cuencas hidrográficas lo que impacta significativamente en cultivos con necesidad de requerimientos hídricos estables para su producción, rendimiento y calidad, como es el caso de la uva destinada a producción de vino y pisco (Hannah et al., 2013). La producción de uva pisquera en Chile es una actividad emblemática y tradicional de Chile. Al día de hoy cuenta con denominación de origen

¹⁹ <https://www.un.org/sustainabledevelopment/biodiversity/>



(Ley N°18.455; Decreto SAG N° 521, Art. 5), y su producción es compartida únicamente por las regiones de Atacama y Coquimbo. Específicamente, la Región de Coquimbo concentra aproximadamente el 94,1% de la producción nacional, siendo una de gran relevancia económica y cultural para la Región de Coquimbo (Buzzetti, 2021).

Para la Región de Coquimbo, se proyectan cambios significativos en los patrones de precipitaciones y temperaturas. Bajo el escenario más crítico de emisiones de gases invernadero (RCP8.5), se proyecta un aumento de hasta 2°C la temperatura mínima, y hasta 4°C la máxima. Un mismo patrón de aumento en la frecuencia de sequías se proyecta para el futuro cercano (Cepal 2012; IPCC 2013; Araya-Osses et al., 2020). En adición al aumento de temperaturas medias, se proyecta que la frecuencia de eventos climáticos extremos también aumente (Barret et al., 2016). Aunque son eventos climáticos aislados, las proyecciones climáticas indican que anomalías térmicas que generen eventos de 3 o más días seguidos con máximas sobre los 30°C (olas de calor) serán más frecuentes. Adicionalmente, las olas de calor podrían estar acompañadas de un posterior evento de precipitación extrema, como la ocurrida recientemente en marzo de 2015 y que afectó a toda la zona norte y centro de Chile (Barret et al., 2016).

Por otra parte, para el caso de déficit de precipitaciones, las proyecciones muestran un déficit entre el 80 y el 100% en el peor de los escenarios (Araya-Osses et al., 2020), y aumento de sequía para Chile central de hasta un 30% (Bozkurt et al., 2018). Estas amenazas relacionadas a cambios en las temperaturas medias y extremas, así como de precipitaciones suponen un alto riesgo para el sector agropecuario, y en particular para la producción de uva pisquera, cuya dependencia a la disponibilidad de agua y acumulación de grados día es crítica durante los estadios fenológicos de la vid y maduración de la baya.

Para el desarrollo de esta cadena se evaluó el riesgo de pérdida de superficie cultivable de uva pisquera frente al aumento de la frecuencia de olas de calor y un aumento en la frecuencia de sequía (Ibacache et al., 2017), incorporando indicadores de vulnerabilidad (sensibilidad y capacidad adaptativa) que evalúan, por ejemplo, la huella hídrica requerida por variedades de uva (Verdugo & Zurita, 2020), el lugar geográfico donde se producen (Villalón-Agüero, 1997).

Definición de la cadena desarrollada:

Componentes del riesgo	Indicadores
Amenazas	<ul style="list-style-type: none"> ○ Aumento en la frecuencia de olas de calor entre septiembre y marzo con temperaturas $\geq 30^{\circ}\text{C}$ ○ Cambio en la frecuencia de sequías entre septiembre y marzo con déficit de precipitación acumulada $\leq 75\%$
Exposición	Superficie (ha) plantada de uva pisquera en la Región de Coquimbo
Sensibilidad	<ul style="list-style-type: none"> ○ Rendimiento del cultivo de uva pisquera ○ Agua consumida por kilogramo de producción de uva pisquera
Capacidad de adaptación	<ul style="list-style-type: none"> ○ Tipo de riego ○ Tipo de variedades según tiempo de maduración de la baya ○ Ubicación del predio según altitud (m.s.n.m.)
Riesgo	Pérdida de área cultivable de uva pisquera en la Región de Coquimbo por aumento de sequía y olas de calor
Escala espacial	Comuna

Metodología para el cálculo de indicadores de amenazas:

La presente cadena de impacto considera dos amenazas que son abordadas de manera independiente:

- *Amenaza 1 (A₁): Aumento de frecuencia de Olas de Calor entre septiembre y marzo con tres o más días seguidos con temperaturas $\geq 30^{\circ}\text{C}$.*
Este indicador considera el cambio del número de tres o más días seguidos con temperaturas máximas $\geq 30^{\circ}\text{C}$ durante el período de septiembre a marzo, período dentro del que ocurren los estados fenológicos de la uva pisquera, desde que brota hasta que madura la baya. El cambio de número de días se obtiene de la diferencia porcentual entre el dato mensual del clima futuro (2035-2065) y el dato mensual de la serie temporal histórica (1980-2010) (**ver Anexo I**).



- **Amenaza 2 (A_2):** Cambio en la frecuencia de sequías entre septiembre y marzo con déficit de precipitación acumulada $\leq 75\%$.

Según la proyección en el escenario más crítico de emisiones de gases invernadero (RCP8.5), habrá un aumento de la frecuencia de períodos en que la precipitación acumulada sea menor al 75% del promedio de la precipitación acumulada entre el futuro cercano y el periodo de referencia entre 1980 a 2010 (pasado reciente). Bajo ese contexto, se evaluó el aumento de la frecuencia de sequías para cada comuna de la Región de Coquimbo según el umbral de 75% mencionado arriba. El valor promedio por comuna fue normalizado aplicando la metodología mín. – máx., definiendo el nivel de amenaza según los rangos normalizados entre 0 y 1, donde valores cercanos a 0 corresponden a una baja frecuencia de sequías, y cercanos a 1 a una muy alta frecuencia de sequías.

Amenaza	Aumento de frecuencia de sequía	Valor normalizado
Baja	< 2 períodos	0 – 0.25
Media	2 – 3.5 períodos	0.25 – 0.50
Alta	3.5 – 4.5 períodos	0.50 – 0.75
Muy alta	> 4.5 períodos	0.75 - 1

Metodología para el cálculo de indicadores de exposición:

Como indicador de exposición se consideró la superficie de uva pisquera por comuna. Este indicador considera el promedio de la superficie plantada (hectáreas) de uva pisquera por comuna (incluye un total de 4.981 predios). En base a la superficie a nivel comunal, grandes extensiones estarían más expuestas a las amenazas climáticas sobre la producción de uva pisquera que aquellas extensiones más pequeñas. Para el cálculo se agrupó los datos por cuartiles para evaluar los valores mínimos o máximos de los rangos de superficie en partes iguales, y luego se calculó el promedio de superficie de uva pisquera por comuna. La información actualizada del total de hectáreas de superficie plantada por comunas fue obtenida de la base del Catastro Vitivinícola Nacional 2020 (Servicio Agrícola Ganadero 2021 <http://bcn.cl/2p2yl>).

Posteriormente se aplicó el método de normalización min-máx. para transformar los valores de superficie a puntuaciones entre el rango 0 a 1. Valores más cercanos a 0 estarían asociados a baja exposición, mientras que valores cercanos a 1 se relacionan con una alta exposición.

Exposición	Superficie de uva pisquera	Valor normalizado
Baja	< 0.37 hectáreas	0.75 – 1.00
Media	0.37 - 0.77 hectáreas	0.50 – 0.75
Alta	0.77 - 1.63 hectáreas	0.25 – 0.50
Baja	> 1.63 hectáreas	0 – 0.25

Metodología para el cálculo de indicadores de sensibilidad:

La sensibilidad se determinó a través de un indicador compuesto por dos índices:

- **Rendimiento de uva pisquera (S_1):** El desarrollo óptimo de los estados fenológicos de la uva pisquera es clave para maximizar el potencial de rendimiento de las vides para uva pisquera. En términos generales, este desarrollo óptimo depende de dos factores climáticos: la disponibilidad de agua y acumulación de grados día (Verdugo-Vásquez et al., 2019). La variación en uno o ambos factores climáticos tiene un efecto directo sobre el rendimiento (kilos o toneladas/ha) de uva destinada a producción de vinos y piscos (Droulia et al 2021; Villalobos-Soublett et al., 2021). Bajo el contexto de estrés térmico y déficit hídrico, el rendimiento de uva pisquera en unidades de masa (t/ha) podría verse seriamente afectado bajo el escenario de proyecciones más severas respecto a olas de calor y temperaturas extremas, y aumento de sequía. Se calculó el rendimiento promedio de toneladas por hectárea a nivel comunal según el Catastro Vitícola Nacional 2020 (incluye un total de 4.728 predios), para evaluar la sensibilidad de la producción de bayas por comuna. Los valores fueron normalizados con la metodología min-máx. Valores más cercanos a 0 están asociados a mayor producción (mayor sensibilidad) y valores cercanos a 1 a una menor producción (menor sensibilidad).



Sensibilidad	Rendimiento	Valor normalizado
Baja	< 12.000 t/ha	0 – 0.25
Media	12.000 – 22.000 t/ha	0.25 – 0.50
Alta	22.000 – 35.000 t/ha	0.50 – 0.75
Muy alta	> 35.000 t/ha	0.75 - 1

- *Uso de agua por kilogramo de producción (S₂):* En general, el volumen de agua utilizada a lo largo del ciclo productivo de la uva pisquera desde que brota hasta que madura la baya es un indicador de huella hídrica (Ferreira et al., 2013). La cantidad de agua utilizada para producir 1 kilogramo de uva (huella hídrica de aquí en adelante), puede presentar gran variabilidad dependiendo de los requerimientos hídricos de cada cultivo, la zonificación y manejo agronómico. Dentro de esta variabilidad, existen ciertos patrones de acuerdo a la altitud y latitud donde se emplazan las superficies cultivadas de uva pisquera (Osorio et al 2013). Por ejemplo, para la variedad Moscatel de Alejandría, dependiendo de la zonificación (ej: Alta o Baja) y la diferencia en evapotranspiración entre sitios, su huella hídrica puede variar entre mínimos aproximados de 232 L/Kg a máximos de 462 L/Kg. Por lo tanto, la huella hídrica es un proxy de la eficiencia del uso del agua del cultivo, relevante dentro del contexto de amenazas de aumento de olas de calor y sequía, sobre todo por que aumentaría la evapotranspiración. Según estos antecedentes, se evaluó la huella hídrica para 3.464 predios desde la base de datos del Catastro Vitícola Nacional 2020 (Servicio Agrícola Ganadero 2021 <http://bcn.cl/2p2yl>), y se calculó el promedio de la huella hídrica a nivel comunal. Los valores promedios se agruparon según cuartiles, con la finalidad de definir rangos de huella hídrica que indiquen los umbrales más bajos a más altos respecto al uso del recurso hídrico para producción de uva pisquera a nivel comunal. Posteriormente se aplicó la metodología de min-máx. Valores cercanos a 0 suponen menor huella hídrica (menor sensibilidad), mientras que valores cercanos a 1 suponen una mayor huella hídrica (mayor sensibilidad).

Sensibilidad	Huella hídrica promedio	Valor normalizado
Baja	< 233 L/kg	0 – 0.25
Media	233 - 321.5 L/kg	0.25 – 0.50
Alta	321 - 378.8 L/kg	0.50 – 0.75
Muy alta	> 378.8 L/kg	0.75 - 1

El indicador de sensibilidad (S) por comuna se calculó a partir del promedio de los resultados de los dos indicadores:

$$S = \frac{1}{2} (S_1 + S_2)$$

Metodología para el cálculo de indicadores de capacidad adaptativa:

El indicador de capacidad adaptativa es un indicador compuesto de tres índices:

- Tipo de riego (CA1): Siendo el sector agrícola el mayor consumidor de agua en la Región de Coquimbo, y a la vez, uno de las más afectados por las proyecciones de cambio de precipitaciones y sequía (CEPAL, 2012). El tipo de riego, como un proxy tecnificación, apunta a maximizar la disponibilidad de agua para sostener la actividad de cultivos intensivos como la uva pisquera. En particular, bajo un escenario de déficit hídrico de 0.10 Km³ al 2017, la irrigación tecnificada por presurización considera hasta un 85% de seguridad de irrigación maximizando el uso del recurso hídrico disponible (Meza et al., 2021). En el otro extremo, sistemas tradicionales y ancestrales como el secano o inundación poseen una alta dependencia de la disponibilidad de agua, y al mismo tiempo una baja eficiencia en el uso del recurso en cuanto a cantidad utilizada vs la que requiere el cultivo (Gutiérrez-Gamboa et al., 2019). Se evaluó el tipo de riego de un total de 4.601 registros para esta variable en la base de datos de Catastro Vitivinícola Nacional (Servicio Agrícola Ganadero 2021, <http://bcn.cl/2p2yl>), donde el tipo de riego se clasificó en 5 categorías. Para el cálculo de indicador de capacidad adaptativo se asignó



a cada categoría un valor entre 0 a 1 con un incremento de 0.2 para cada categoría según muestra la siguiente tabla.

Capacidad Adaptativa (CA ₁)	Tipo de Riego	Rango
Muy Alta	Goteo	0 – 0.2
Alta	Goteo y Surco	0.2 – 0.4
Media	Surco	0.4 – 0.6
Baja	Inundación	0.6 – 0.8
Muy Baja	Secano	0.8 – 1.0

- *Tipo de variedades según tiempo de maduración de la baya (CA₂):* Las 5 principales variedades utilizadas para el cultivo de uva pisquera presentan diferencias intrínsecas en cuanto al tiempo de maduración de la baya respecto al grado alcohólico potencial (GAP) idóneo para la producción de pisco, variando de maduración temprana a muy tardía (Villalón-Agüero, 1997; Verdugo-Vásquez, comunicación personal). Dentro de las variables climáticas claves para la maduración de la baya está la temperatura. De modo que cambios en este parámetro podría afectar la maduración, acortando el tiempo de esta, y al mismo tiempo, aumentando el riesgo de sobremaduración, afectando el GAP (Verdugo-Vásquez et al., 2019).

En base 2.429 registros del Catastro Vitivinícola 2020 (Servicio Agrícola Ganadero 2021, <http://bcn.cl/2p2yl>), el tipo de variedad según tiempo de maduración de la baya utilizada en la Región de Coquimbo abarcó variedades Temprana, Tardía y Muy Tardía. Basado en esto se asignó un valor de clase dentro del rango 0 a 1, con un incremento de 0.33. Finalmente se calculó el valor promedio normalizado de cada comuna para evaluar según el rango normalizado.

Capacidad Adaptativa (CA ₂)	Tipo de Variedad	Rango
Alta	Temprana	$0 \geq CA_2 < 0.33$
Media	Tardía	$0.33 \geq CA_2 < 0.66$
Baja	Muy Tardía	$0.66 \geq CA_2 < 0.99$

- *Ubicación del predio según altitud (msnm.) (CA₃):* Dentro de las variables utilizadas para el manejo agronómico y predial de vides, la altura sobre el nivel del mar es un factor importante a considerar, dado su contribución significativa a la variabilidad espacial climática que repercute en el desarrollo de los estados fenológicos y rendimiento del cultivo a distintas escalas de superficie (Verdugo-Vásquez et al., 2020; Gutiérrez-Gamboa et al., 2021). En particular, para la Región de Coquimbo, sus características orográficas producen una condición particular respecto al alcance de la influencia costera en el sistema terrestre (Montecinos et al., 2015), generándose una separación entre zona baja o litoral, y zona alta o de interior, fijado aproximadamente a los 500 m s. n. m. Para el desarrollo de los estados fenológicos de las variedades pisqueras, existe un patrón claro de diferenciación en la fenología en sentido Oeste - Este, explicada por la zona que ocupa el cultivo, independiente del tipo de variedad utilizada (temprana, tardía, muy tardía). De acuerdo a Villalón (1997), el umbral altitudinal de 500 m s. n. m. produce una reducción del tiempo de maduración en el sector alto, principalmente por tener mayor cantidad de días cálidos que el sector bajo (es decir, mayor acumulación de grados día). Ante un aumento en las frecuencias de olas de calor y/o temperaturas extremas, el tiempo de maduración podría reducirse aún más, tanto en sectores altos como bajos, manteniendo el patrón de precocidad de los sectores altos versus los bajos. Al mismo tiempo, un aumento de temperatura aumentaría la evapotranspiración y, en conjunto, tendría efectos negativos sobre el estatus hídrico del cultivo, en especial en zonas altas. De esta manera, la altura sobre el nivel del mar es un factor que incide sobre la capacidad adaptativa de una superficie cultivada con uva pisquera frente las amenazas climáticas de olas de calor y aumento de sequías, independiente de la variedad(es) utilizada(s). Este indicador apunta a maximizar el manejo agronómico y predial según las condiciones climáticas proyectadas en función de la variabilidad fenológica que aporta la ubicación sobre el nivel del mar de una superficie dada, tanto para el sector bajo y alto. Para el



cálculo de este índice se evaluó la altitud de 4.981 predios, calculando el promedio por comuna. Posteriormente se normalizó aplicando el método mín-máx asignando el valor óptimo de capacidad adaptativa a valores cercanos a 0.

Capacidad adaptativa (CA ₃)	Altitud (m s. n .m)	Rango
Alta	Litoral	0 - 0.5
Baja	Interior	0.5 - 1

El indicador de capacidad adaptativa por comuna se calculó a partir del promedio de los resultados de los dos indicadores:

$$S = 1/3 (CA_1 + CA_2 + CA_3)$$

Metodología para el cálculo del indicador de riesgo:

Para el indicador de riesgo de ambas cadenas de impacto (sequía y olas de calor) se realizó una ponderación por peso individual de cada indicador (amenaza, sensibilidad y capacidad adaptativa). Los pesos asignados a cada índice responden a la proporción que tendrían las amenazas climáticas definidas más arriba sobre la producción de uva pisquera, específicamente por su efecto sobre el crecimiento y desarrollo de la vid pisquera. Biológicamente y por manejo agronómico, las vides de uva pisquera pueden resistir altas temperaturas, y sumando a un buen manejo, se puede monitorear el efecto de la temperatura sobre el tiempo de desarrollo del cultivo para maximizar la cantidad y calidad del fruto destinado a producción de pisco. Por otro lado, a pesar del uso de patrones resistentes al estrés hídrico, una sequía prolongada sumada a baja disponibilidad del recurso hídrico es el factor limitante del cultivo de la uva pisquera. Bajo este razonamiento, se determinó que la proporción de pesos para cada amenaza por separado es de 0.3 para el aumento de frecuencia de olas de calor, y de 0.7 para el aumento de frecuencia de sequías.

Las ponderaciones de cada índice son:

- **Amenazas** (A₁ = Aumento en la frecuencia de olas de calor; A₂ = aumento en la frecuencia de sequías). Las amenazas fueron consideradas como indicadores con mayor peso dentro del cálculo de riesgo. De acuerdo a la valorización definida, se asigna un peso de 0.3 a A₁ y 0.7 a A₂.
- **Exposición:** A este indicador se le asignó un peso de 0.3 para CDI olas de calor y 0.1 para CDI sequía, sobre la vulnerabilidad de pérdida de superficie de uva pisquera.
- **Sensibilidad:** A este indicador se le asignó un peso de 0.2 para CDI olas de calor y 0.1 para CDI sequía, sobre la vulnerabilidad de pérdida de superficie de uva pisquera.
- **Capacidad Adaptativa:** A este indicador se le asignó un peso de 0.2 para CDI olas de calor y 0.1 para CDI sequía, sobre la vulnerabilidad de pérdida de superficie de uva pisquera.

Así, utilizando el método de agregación ponderada, los riesgos calculados para ambas cadenas siguiendo la formula

$$R = \frac{(A_1 * w_A) + (E * w_E) + (S * w_S) + (CA * w_{CA})}{w_{A1} + w_E + w_S + w_{CA}}$$

, donde A es la amenaza, E la exposición, S la sensibilidad y CA la capacidad adaptativa. W_A, W_E, W_S y W_{CA} son las ponderaciones asignadas a cada índice, de acuerdo a la proporción de la amenaza para los riesgos calculados según el aumento de la frecuencia de olas de calor o sequías

Finalmente, los indicadores de riesgo quedan determinados por el rango de valores normalizados para el índice de riesgo por comuna.

Riesgo	Rango
Bajo	0 ≥ R < 0.25
Moderado	0.25 ≥ R < 0.5
Alto	0.5 ≥ R < 0.75
Muy Alto	0.75 ≥ R < 1



Fuentes de información:

Componentes de Riesgo	Datos	Fuente de Información
Amenaza	<ul style="list-style-type: none"> ○ Aumento de frecuencia de Olas de Calor entre septiembre y marzo con 3 o más días seguidos con temperaturas $\geq 30^{\circ}\text{C}$. ○ Cambio en la frecuencia de sequías entre septiembre y marzo con déficit de precipitación acumulada $\leq 75\%$ 	Ver Anexo I
Exposición	Superficie (ha) plantada de uva pisquera en la Región de Coquimbo	Servicio Agrícola Ganadero (SAG) 2021. Catastro Vitícola Nacional 2020. http://bcn.cl/2p2yl
Sensibilidad	<ul style="list-style-type: none"> ○ Rendimiento Uva Pisquera ○ Agua consumida por kilogramo de producción de uva pisquera 	Servicio Agrícola Ganadero (SAG) 2021. Catastro Vitícola Nacional 2020. http://bcn.cl/2p2yl Instituto Nacional de Investigación Agronómica (INIA). Serie de actas INIA N 50. "Determinación de huella del agua y estrategia de manejo de recursos hídricos". 2013
Capacidad Adaptativa	<ul style="list-style-type: none"> ○ Tipo de riego ○ Tipo de variedades según tiempo de maduración de la baya ○ Ubicación del predio según altitud (m s. n. m.) 	Servicio Agrícola Ganadero (SAG) 2021. Catastro Vitícola Nacional 2020. http://bcn.cl/2p2yl Servicio Agrícola Ganadero (SAG) 2021. Catastro Vitícola Nacional 2020. http://bcn.cl/2p2yl Modelo de Elevación Digital SRTM ₄ .

Referencias

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

Sage, R.F. 2019. Global change biology: A primer. Global Change Biology 26: 3 -30.

Montecinos, S., Gutiérrez, J.R., López-Cortés, F., López, D. 2016. Climatic characteristics of the semi-arid Coquimbo Region in Chile. Journal of Arid Environments 126: 7 – 11.

Osorio, U.A., Poblete. T.R. 2013. Huella hídrica en uva pisquera. La Serena: Serie Actas - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 50.

CEPAL 2012. La economía del cambio climático en Chile. 134 p. <http://hdl.handle.net/11362/35372>



Hannah, L., Roehrdanz, P. R., Ikegami, M., Shepard, A. V., Shaw, M. R., Tabor, G., ... & Hijmans, R. J. (2013). Climate change, wine, and conservation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(17), 6907-6912.

Buzzetti, C. 2021. Producción y mercado del pisco. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias – Odepa. Ministerio de Agricultura. 11 p.

Araya-Osses, D., Casanueva, A., Román-Figueroa, C. et al. Climate change projections of temperature and precipitation in Chile based on statistical downscaling. *Clim Dyn* 54, 4309–4330 (2020). <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05231-4>

Araya-Alman, M., Leroux, C., Acevedo-Opazo, C., Guillaume, S., Valdés-Gómez, V., Verdugo-Vásquez, N., Pañitrur-De La Fuente, C. Tisseyre, T. 2019. A new localized sampling method to improve grape yield estimation of the current season using yield historical data. *Precision Agriculture* 20: 445 – 459.

Verdugo-Vásquez, N., Zurita, A., Balbontín, C., Ibacache, A., Salazar, C., Reyes, M., Díaz-Gálvez, I., Orrego, R. 2019. Influencia del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) en índices bioclimáticos y en las fechas de cosecha de *Vitis vinífera* cv Moscatel de Alejandría y Moscatel Rosada en el Norte de Chile. XVI Congreso Latinoamericano de Viticultura y Enología 2019. Ica, Perú.

Barrett, B.S., Campos, D.A., Veloso, J.V., Rondanelli, R. 2016. Extreme temperature and precipitation events in March 2015 in central and northern Chile. *Journal of Geophysical Research Atmospheres* 121: 4563– 4580. doi:10.1002/2016JD024835.

Verdugo Vásquez, N. y A. Zurita Silva (Eds.) 2020. Potencial productivo y enológico de variedades pisqueras no tradicionales. 76 p. Boletín INIA N°422. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación INIA Intihuasi, La Serena, Chile.

Ibacache, A., A. Zurita, C. González y M.A. Montoya. 2015. Caracterización genética y agronómica de variedades pisqueras no tradicionales. 90 p. Boletín INIA N° 315. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA. Centro Regional de Investigación Intihuasi, La Serena, Chile.

Villalón-Agüero, K. 1997. Evolución de la producción y técnicas de elaboración del Pisco (1988 – 1996). Tesis para optar al grado de Ingeniero Agrónomo. Departamento de Fruticultura y Enología. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. PUC.

Droulia, F.; Charalampopoulos, I. Future Climate Change Impacts on European Viticulture: A Review on Recent Scientific Advances. *Atmosphere* 2021, 12, 495. <https://doi.org/10.3390/atmos12040495>

Villalobos-Soublett, E.; Gutiérrez-Gamboa, G.; Balbontín, C.; Zurita-Silva, A.; Ibacache, A.; Verdugo-Vásquez, N. Effect of Shading Nets on Yield, Leaf Biomass and Petiole Nutrients of a Muscat of Alexandria Vineyard Growing under Hyper-Arid Conditions. *Horticulturae* 2021, 7, 445. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7110445>

Ferreira E., Raúl y Pérez R., Alexis (2013) Huella hídrica en palta [en línea]. La Serena: Serie Actas - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 50.

Osorio U, Alfonso; Poblete T, Rodolfo (2013) Huella hídrica en uva pisquera [en línea]. La Serena: Serie Actas - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 50. (Consultado: 23 marzo 2022).

Meza F., Gil P., Melo O. (2021) Agricultural Uses. In: Fernández B., Gironás J. (eds) *Water Resources of Chile*. World Water Resources, vol 8. Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-56901-312>

Gutiérrez-Gamboa, G., Zheng, W., Martínez de Toda, F. (2021). Strategies in vineyard establishment to face global warming in viticulture: a mini review. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.10813>.

Verdugo-Vásquez, N., Acevedo-Opazo, C., Valdés-Gómez, H. et al. Identification of main factors affecting the within-field spatial variability of grapevine phenology and total soluble solids accumulation: towards the vineyard zoning using auxiliary information. *Precision Agric* 23, 253–277 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11119-021-09836-5>



Resultados:

Pérdida de superficie cultivable de uva pisquera por aumento en la frecuencia de olas de calor

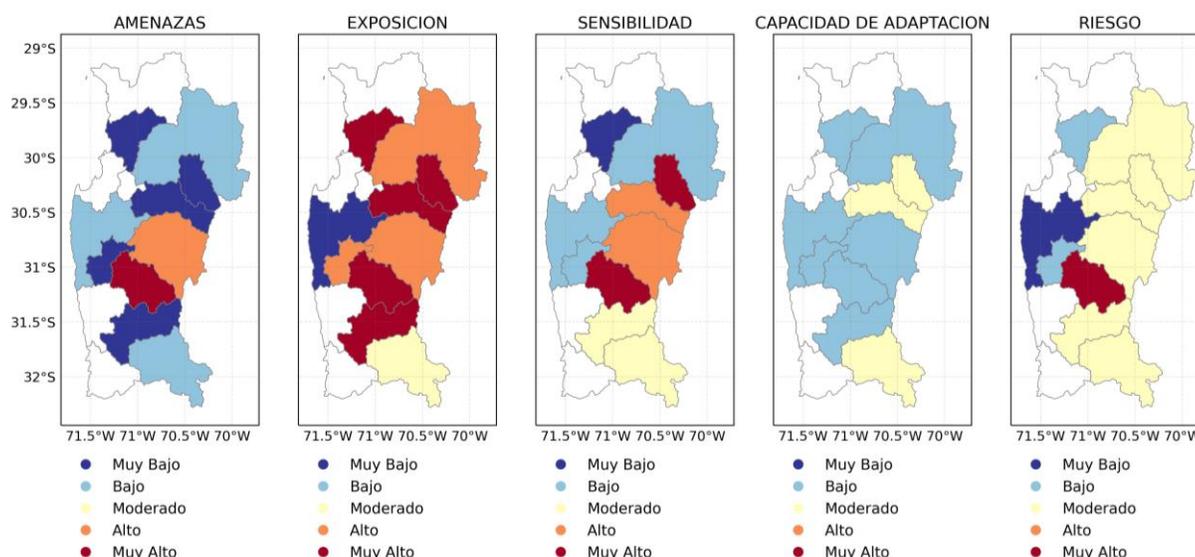


Figura 54. Riesgo asociado a la pérdida de superficie cultivable de uva pisquera por aumento en la frecuencia de olas de calor. Fuente: Elaboración propia.

Descripción del Resultado:

La probabilidad de sufrir un aumento en la frecuencia de olas de calor es “Muy Alta” y “Alta” en las comunas de Combarbalá y Monte Patria, respectivamente.

De acuerdo a la superficie comunal destinada al cultivo de uva pisquera, la exposición frente a olas de calor es “Alto” a “Muy Alto” en comunas de zonas al interior de los valles, excepto para la comuna de Salamanca que muestra un nivel de exposición “Moderado”. La comuna de La Serena también muestra una exposición “Muy Alta”.

La sensibilidad del rendimiento del cultivo y del agua necesaria para maximizar el rendimiento del cultivo de uva pisquera presenta niveles “Altos” y “Moderados” entre las comunas de zonas de interior de valles, entre Paihuano y Combarbalá.

Por otro lado, la capacidad adaptativa, medida como la zona geográfica de los cultivos, más el tipo de sistema de riego y variedad fenológica de las cepas cultivadas, presenta un nivel “Bajo” a “Moderado” para todas las comunas evaluadas.

Finalmente, el riesgo de una potencial pérdida de área cultivable de uva pisquera para la Región de Coquimbo por aumento en la frecuencia de olas de calor es “Muy Bajo” a “Bajo” en comunas de las zonas costeras, pero con niveles “Moderados” en las comunas de zonas de interior de valles, y “Muy Alto” para la comuna de Combarbalá (**ver Fig. 54**).



Pérdida de superficie cultivable de uva pisquera por aumento en la frecuencia de sequía

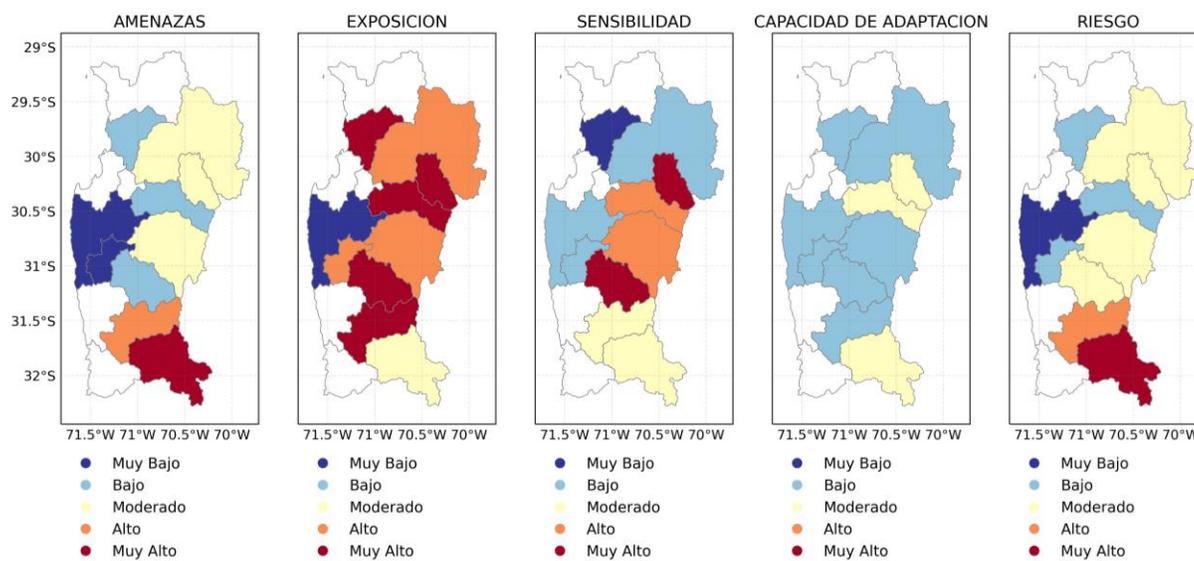


Figura 55. Riesgo asociado a la pérdida de superficie cultivable de uva pisquera por aumento en la frecuencia de sequía. Fuente: Elaboración propia.

Descripción del Resultado:

La probabilidad de que comunas de la región de Coquimbo presente un aumento en la frecuencia de sequías es “Muy Alta” y “Alta” en las comunas de Salamanca e Illapel.

De acuerdo a la superficie comunal destinada al cultivo de uva pisquera, la exposición frente a olas de calor es “Alto” a “Muy Alto” en comunas de zonas al interior de los valles, excepto para la comuna de Salamanca que muestra un nivel de exposición “Moderado”. La comuna de La Serena también muestra una exposición “Muy Alta”.

La sensibilidad del rendimiento del cultivo y del agua necesaria para maximizar el rendimiento del cultivo de uva pisquera presenta niveles “Altos” y “Moderados” entre las comunas de zonas de interior de valles, entre Paihuano y Combarbalá.

Por otro lado, la capacidad adaptativa, medida como la zona geográfica de los cultivos, más el tipo de sistema de riego y variedad fenológica de las cepas cultivadas, presenta un nivel “Bajo” a “Moderado” para todas las comunas evaluadas.

Finalmente, el riesgo climático de una potencial pérdida de área cultivable de uva pisquera para la Región de Coquimbo por aumento en la frecuencia sequías es “Muy Alto” y “Alto” para las comunas de Salamanca e Illapel, respectivamente, y “Moderado” para aquellas comunas de las zonas de interior de valles (**ver Fig. 55**).

4.2.2.4. ZONA COSTERA

Nombre de la Cadena de Impacto:

*Pérdida de desembarque de la pesquería artesanal de la macha (*Mesodesma donacium*) en la Región de Coquimbo por cambios en la temperatura superficial del mar y régimen de surgencia*

Justificación de la cadena seleccionada:

La pesca es una actividad económica, social y cultural de gran importancia a nivel global, que, junto con la acuicultura, proporciona medios de subsistencia a un 10-12% de la población mundial (Barange et al., 2018). Ambos sectores emplean a 60 millones de personas en el mundo, de las cuales al menos el 14% son mujeres. Además, 4300 millones de personas dependen de estos recursos pesqueros y acuícolas para completar el 15% de su ingesta de proteína animal (IPCC, 2019).



En 2018, se cuantificó la producción global de acuicultura y pesca en 179 millones de toneladas, de los cuales el 47% (84.4 millones de ton) corresponde a pesca marina (FAO, 2020). En la clasificación mundial, Chile ocupa el décimo puesto como productor de pesca (FAO, 2020), actividad que proporciona trabajo a más de 150,000 personas y supone el 3-3.5% del Producto Interno Bruto del país (Yáñez et al., 2018).

La tendencia de las pesquerías en Chile muestra una reducción significativa, desde 8 millones de ton en 1994 (Yáñez et al., 2018) a 2.14 millones de ton registradas en 2020 (SERNAPESCA, 2020d,e), lo que genera un impacto socioeconómico y cultural en industria y comunidades pesqueras, además de comprometer la seguridad alimentaria.

La pesca en Chile se divide entre industrial y artesanal. La pesca industrial se desarrolla en aguas jurisdiccionales fuera de las primeras 5 millas náuticas, a bordo de embarcaciones de eslora superior a los 18 metros. Por otro lado, la pesca artesanal considera un amplio espectro de actividades extractivas que incluye la recolección de recursos en los sectores costeros, buceo, actividad de flotas de diversas características y extracción de recurso bentónico en áreas de manejo, y que son ejercidas por las categorías de armador artesanal, pescador artesanal, buzo, recolector de orilla, alguero o buzo apnea (SERNAPESCA, 2022). La pesca artesanal se desarrolla en el “Área de Reserva para la Pesca Artesanal” localizada en las primeras 5 millas náuticas desde la línea de costa y a bordo de embarcaciones con eslora menor a 18 metros. Además, desde el norte de Chile hasta la isla de Chiloé, la primera milla náutica desde la línea costera está reservada a embarcaciones de menos de 12 m de eslora (Cubillos et al., 2020).

El sector pesquero industrial cuenta con una flota de 125 naves y sus capturas principalmente provienen de la actividad cerquera (anchoveta, caballa, jurel y sardina común), correspondiente al 93% del desembarque (SERNAPESCA, 2020a; SERNAPESCA, 2020b). La contribución a nivel nacional de la pesca industrial en la Región de Coquimbo es baja, con un 0.12% (con 942 ton), dominada por la captura de crustáceos.

Por su parte, la pesquería artesanal en Chile es una actividad de importancia económica, social, laboral y cultural, cuyo desembarque a nivel nacional (65% - 1,414,382 ton) superó al del sector industrial (35% - 771,490 ton) en 2020 (SERNAPESCA, 2020b; SERNAPESCA, 2020c), y que debido a la estrecha dependencia de las comunidades pesqueras con el recurso presenta un alto grado de vulnerabilidad. El sector artesanal está constituido por 1694 organizaciones inscritas en el Registro de Organizaciones Artesanales, que suman un total de 13,138 embarcaciones y 93,743 pescadores inscritos, de los cuales el 24% (22,897) son mujeres y un 76% (70,846) hombres (SERNAPESCA, 2020c; SERNAPESCA, 2020d).

La Región de Coquimbo es la tercera con mayor concentración de embarcaciones artesanales (9.6% del total nacional – 1265) y cuenta con 5190 pescadores inscritos, es decir, un 5.5% del total nacional. Esta región contribuye con el 8% (115,712 ton) del desembarque artesanal total nacional (SERNAPESCA, 2020c; SERNAPESCA, 2020d).

Entre las actividades desarrolladas por la pesca artesanal, se encuentra la recolección de especies bentónicas en las Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERBs, por sus siglas en español), establecidas y administradas a partir de 1997 a través de un co-manejo Estado-usuarios y entregadas en destinación de uso a organizaciones de pescadores artesanales.

En 2021, se contabilizaron 342 AMERBs (con convenio de uso vigente), cuya actividad explota hasta 56 especies bentónicas incluidas en sus planes de manejo. Del total de pescadores artesanales a nivel nacional, el 14% se encuentra inscrito en AMERB. En 2020, se registraron 52,173 toneladas de desembarque de AMERBs a nivel nacional, siendo la IV Región la que más contribuyó con 30,011 ton (57.5%). El 95% de desembarque regional correspondió a algas (huiró palo, huiró negro, pelillo) (SERNAPESCA, 2020e).

El presente informe se centra en el análisis del riesgo asociado a pérdida de desembarque de la pesquería artesanal de la macha extraída en AMERBs de la Región de Coquimbo.



La especie macha *Mesodesma donacium* se localiza en playas arenosas y ha sido explotada intensamente a lo largo de su rango de distribución, desde bahía Sechura hasta la Isla Kent en la XI Región (Fernandez et al., 2000; Rubilar et al., 2011; Aburto et al., 2014). Es una especie, que similar a otras almejas, presenta alta variabilidad temporal y espacial en sus desembarques, debido a las variaciones naturales en el tamaño de sus poblaciones asociado a reclutamiento, alta mortalidad natural, entre otras (McLachlan et al., 1996; Aburto et al., 2021). Esto la convierte en una pesquería de difícil manejo, que alterna su producción entre la zona norte (regiones IV-V) y zona sur (regiones XIV-XI) en ciclos de 5 a 7 años (SERNAPESCA, 2020f). Actualmente, 21 AMERBs poseen permiso para extraer macha en las regiones de Atacama, Coquimbo, Maule, Bío-Bío, Los Ríos y Los Lagos (SUBPESCA, 2021).

El recurso macha es considerado un producto con marcada identidad local en la Región de Coquimbo, dada su importancia socioeconómica y cultural, sumando esta región el 91% del desembarque nacional (780/855 ton) registrado en 2020 (SERNAPESCA, 2020c).

Sin embargo, pese a los esfuerzos por regular el manejo de esta especie, en los últimos 20 años, la cantidad de bancos de macha ha disminuido a nivel nacional (Informe Estado del Medio Ambiente en Chile, 2016) debido a la presión extractiva, tanto legal como ilegal, variabilidad natural de la especie y condiciones ambientales. Este organismo es sensible a amenazas climáticas, como los eventos de El Niño de 1982-1983 y 1997-1998, los cuales eliminaron gran parte de las poblaciones desde Arica hasta la costa central de Chile, incluyendo Coquimbo (Riascos et al., 2009; Aburto et al., 2021).

Por ello, la pesquería de la macha y las comunidades asociadas a esta constituyen actividades socioeconómicas y culturales que presentan riesgos vinculados al cambio climático, a través del impacto de amenazas climáticas como la variación en la frecuencia e intensidad de eventos extremos como el ciclo ENOS (El Niño-La Niña), aluviones, marejadas, eventos de hipoxia o anoxia, además del aumento de la temperatura del mar, de la acidificación del océano, del nivel del mar, entre otros.

Estas amenazas climáticas, en conjunto con estresores no climáticos como la contaminación, la sobrepesca y sobreexplotación de recursos, afectan a la productividad primaria y secundaria de los océanos, a la biomasa y desembarques de recursos pesqueros, el desplazamiento de pesquerías hacia latitudes mayores, el cambio en la composición del desembarque, la interrupción de ciclos de vida, su estacionalidad y conexión ecológica, o impactos indirectos del cambio climático como el incremento de las Floraciones Algales Nocivas y el éxito de especies invasoras, que aumentan el riesgo de provisión de alimento (Yáñez et al., 2018; IPCC, 2019).

Los impactos afectan en mayor medida a pesquerías de organismos bentónicos e invertebrados (IPCC, 2019), como la macha, debido a su escasa movilidad, generando alteraciones en la actividad económica, cultural y recreacional asociada a la pesquería.

A continuación, se presenta un análisis del riesgo de pérdida de desembarque del recurso pesquero artesanal macha (*Mesodesma donacium*) en AMERBs de la Región de Coquimbo mediante el cálculo de índices de amenaza, exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa. Conocer el nivel de riesgo en las diferentes zonas de la Región permitirá analizar y priorizar la adopción de medidas de adaptación al cambio climático que faciliten la continuidad de esta importante actividad socioeconómica y cultural.



Definición de la cadena

Componentes del riesgo	Indicador
Amenaza	<ul style="list-style-type: none"> ○ Cambio proyectado en la Temperatura Superficial del Mar (TSM, por sus siglas en español) para el horizonte futuro 2035 - 2064 respecto de la base 1976-2005 considerando el escenario RCP8.5. ○ Cambio en el régimen de surgencia costera (a través del proxy de transporte vertical de masa de agua hacia la superficie).
Exposición	<ul style="list-style-type: none"> ○ Número de pescadores artesanales de macha ○ Desembarque de recurso macha
Sensibilidad	<ul style="list-style-type: none"> ○ Tamaño del banco ○ Talla del banco ○ Diversidad de recursos ○ Concentración de desembarque
Capacidad de adaptación	<ul style="list-style-type: none"> ○ Apoyo técnico
Riesgo	Desembarque de la pesquería artesanal de la macha (<i>Mesodesma donacium</i>) en la Región de Coquimbo
Escala espacial	<p>Se realizó el análisis por “localizaciones”, las cuales se componen de un conjunto de entre dos y tres AMERBs (más detalles en Anexo IV CDI):</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Localización 1: Choros (incluye AMERBs La Peña, Los Choros y Choreadero) ○ Localización 2: Bahía de Coquimbo (incluye AMERBs Peñuelas Sector A y Peñuelas Sector B) ○ Localización 3: Bahía de Tongoy (incluye AMERBs Puerto Aldea Sector B y Tongoy)

Metodología para el cálculo de indicadores de amenazas:

Para la estimación de los siguientes riesgos se consideraron dos amenazas diferentes que fueron abordadas de manera independiente:

- *Temperatura superficial del Mar (TSM) (A₁):*
En la presente cadena de impacto se utilizó la amenaza cambio en la Temperatura Superficial del Mar, como estresor climático que afecta a la pesquería artesanal del recurso macha (*Mesodesma donacium*). La biología de esta especie, que habita enterrada en la arena en la zona intermareal y submareal, se relaciona con las condiciones oceanográficas y ambientales, por lo que se justifica la utilización de Temperatura Superficial del Mar ante la falta de modelos en el horizonte futuro que resuelvan la Temperatura del fondo marino a una resolución espacial adecuada. Al no existir estudios previos que definan la tolerancia térmica de la macha, se estableció un umbral de 17.71°C, basado en la Temperatura Superficial del Mar máxima que se registra en el rango de distribución de la especie dentro de la Región de Coquimbo (adaptación metodológica de Ruiz-Díaz et al., 2020 y Allison et al., 2009). Pese a que la macha se extiende desde Bahía de Sechura (Perú) hasta la XI región (Chile), se limitó el rango de distribución a nivel regional en base a que los bancos de macha de las localizaciones analizadas en este estudio (Bahía de Tongoy, Coquimbo y Choros) se encuentran conectados y conforman una metapoblación (SUBPESCA, 2011; SUBPESCA, 2012; SERNAPESCA, 2022b). Este rango de distribución se obtuvo a partir de las bases de datos GBIF (Chamberlain et al., 2017) y Sea Life Base, y fueron verificadas y limpiadas con el paquete Coordinate Cleaner (Zizka et al., 2019; R Core Team, 2021). La TSM máxima registrada para el rango de distribución regional se calculó utilizando la base de datos Bio-Oracle, la cual se especializa en datos ambientales para especies marinas (Assis et al., 2017).

Para calcular la amenaza se consideró el cambio en el número de días que se supera el umbral de Temperatura Superficial del Mar de 17.71°C para el periodo futuro 2035-2064 con respecto al periodo presente o histórico 1976-2005 considerando el escenario más pesimista de emisiones de Gases de Efecto Invernadero RCP8.5.

Las proyecciones de cambio climático para la Temperatura Superficial del Mar (TSM) se estimaron a partir de un método de reducción de escala o *downscaling* dinámico utilizando un modelo regional oceanográfico de alta resolución (3 km) en conjunto con los patrones de cambio



climático de TSM obtenidos a partir de cinco modelos CMIP5 (Anexo I). Los valores de TSM obtenidos para ambos periodos se evaluaron para las 3 localizaciones del estudio en las que se agrupan las Áreas de Manejo de Recursos Bentónicos (Bahía de Tongoy, Bahía de Coquimbo y Choros) (Anexo IV CDI) y se cuantificó la diferencia en el número de días por periodo por sobre el umbral de TSM definido para el recurso macha, promediando los resultados de los cinco modelos CMIP5.

Los resultados del componente “amenaza” se normalizaron con el método mínimo-máximo, obteniendo valores entre 0 y 1, donde 0 indica una baja amenaza climática y 1 corresponde a una alta amenaza climática que afecta la pesquería artesanal de la macha.

o *Cambio en el régimen de surgencia costera (proxy transporte vertical de masa) (A_2):*

Para estimar la amenaza del cambio climático en el régimen de la surgencia costera, medida como el transporte vertical ascendente (kg s^{-1}) de masa de agua (Oyarzun et al., 2018) en el nivel de referencia del hábitat de la macha a 15 metros de profundidad, se contabiliza el cambio entre el periodo histórico (1976-2005) y futuro (2035-2064) en el número de eventos anómalos de surgencia, correspondiente a la sumatoria de episodios de surgencia débiles (i.e., surgencia menor al percentil 25º del periodo presente) o intensos (i.e., surgencia mayor al percentil 75º del periodo presente).

Las proyecciones de la surgencia costera tanto para el periodo histórico como futuro se obtuvieron a partir de un método de reducción de escala o downscaling dinámico utilizando un modelo regional oceanográfico de alta resolución en conjunto con las señales de cambio climático de la surgencia costera a 15 metros de profundidad obtenidas a partir de cinco modelos globales CMIP5 de baja resolución espacial. La simulación oceanográfica regional de alta resolución se generó mediante el modelo hidrodinámico Coastal and Regional Ocean COmmunity model (CROCO), dicho modelo utiliza ecuaciones primitivas en coordenadas sigma con superficie libre y adopción de aproximaciones hidrostáticas e incompresibles. El modelo resuelve un dominio que incluye la región de océano abierto y costero de la región de Coquimbo con una resolución horizontal espacial de 3 km y 50 niveles verticales paralelos a la batimetría. Esta configuración ha sido validada en estudios previos (Astudillo et al., 2019) mediante observaciones in-situ y satelitales en términos de TSM, nivel del mar y corrientes entre otras variables. La simulación CROCO abarca el periodo de 30 años 1976-2005 representativo del periodo actual o histórico con una resolución temporal de 3 días, adicionalmente su alta resolución espacial (3 km) nos permite analizar localmente las proyecciones de cambio climático en las Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB) del recurso macha en la región de Coquimbo.

Las proyecciones de cambio climático se obtienen usando el “método delta” (Hare et al., 2012), en el cual la diferencia o “delta” entre el ciclo anual promedio de la surgencia a 15 metros del periodo futuro (2035-2064) y del periodo histórico (1976-2005) son obtenidas desde modelos globales CMIP5 de baja resolución espacial. En este caso, se utilizaron los siguientes cinco modelos CMIP5 con mayor resolución espacial: Centro Euro-Mediterráneo sui Cambiamenti Climatici Climate model (CMCC-CM), Centre National de Recherches Météorologiques Coupled Global Climate Model, version 5 (CNRM-CM5), Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation Mark 3.6.0 model (CSIRO Mk3.6.0), Met Office Hadley Centre ESM, (HadGEM2-ES), Max Planck Institute Earth System Model Medium Resolution (MPI-ESM-MR). Finalmente, estas perturbaciones climatológicas son proyectadas sobre las estimaciones de surgencia costera a 15 metros para el periodo presente (1976-2005) provistas por el modelo regional oceanográfico CROCO, proporcionando de este modo las condiciones de la surgencia costera a 15 metros para el periodo futuro (2035-2064).

Los resultados del componente “amenaza” se normalizaron con el método mínimo-máximo, obteniendo valores entre 0 y 1, donde 0 indica una baja amenaza climática y 1 corresponde a una alta amenaza climática que afecta la pesquería artesanal de la macha.



Metodología para el cálculo de indicadores de exposición:

El índice de exposición engloba dos indicadores:

- *Número de pescadores artesanales inscritos por localización (E₁):* Número de pescadores artesanales inscritos por localización (E₁): El número de pescadores artesanales indica el grado de exposición en términos de población que será potencialmente afectada por la pérdida en el desembarque del recurso macha.

Se calculó el número total de pescadores artesanales para cada localización, a partir de la suma de pescadores de las AMERBs que forman parte de las tres localizaciones en análisis (Los Choros, Bahía de Coquimbo y Bahía de Tongoy). Se consideraron todas las categorías de pescador artesanal (buzo, recolector, armador y pescador artesanal), bajo el supuesto de que son beneficiarios directos o indirectos de la pesquería artesanal de la macha (Anexo IV).

El número de pescadores total para cada localización se normalizó con el método mínimo-máximo.

- *Desembarque de recurso macha por localización (E₂):* El desembarque del recurso macha es la variable impactada por la amenaza cambio de Temperatura Superficial del Mar y en el régimen de surgencia. El dato de desembarque entregado por SERNAPESCA, al igual que el dato de número de pescadores artesanales, se desglosa por AMERB/organización. Para calcular el indicador para cada localización, se utilizó el promedio de desembarque de recurso macha para el periodo con disponibilidad de datos (Anexo IV), normalizado con el método mínimo-máximo.

La exposición se calculó a partir de la media aritmética de los dos indicadores:

$$E = \frac{1}{2} (E_1 + E_2)$$

Metodología para el cálculo de indicadores de sensibilidad

El índice de sensibilidad engloba cuatro indicadores:

- *Tamaño de población de macha (S₁):*
El tamaño de la población del recurso macha se obtuvo a partir de los datos entregados en los Informes Técnicos AMERB. Se utilizó la variable "Abundancia (individuos)", promediando los valores de los años con datos disponibles para cada AMERB, y posteriormente promediando las AMERB pertenecientes a cada localización. En el caso del este índice de sensibilidad, mayores tamaños de población del recurso contribuirán a una menor sensibilidad de la pesquería artesanal de macha. El resultado para cada zona se normalizó con el método mínimo-máximo.
- *Talla de población de macha (S₂):*
La talla de población se obtuvo del valor promedio de la estructura de tallas registrado en los muestreos de los bancos de macha de cada AMERB (Informes Técnicos AMERB). Una vez obtenido el valor promedio de la talla para cada AMERB, se calculó el promedio de talla para las tres localizaciones del estudio. La talla mínima de extracción del recurso macha es de 60 mm, con un rango de tolerancia de captura de un 5% bajo la talla mínima de extracción en la Región de Coquimbo (SUBPESCA Resolución Exenta 324, 2022). En base a esta normativa, se establecieron los umbrales del indicador talla. Si las poblaciones mantienen en promedio tallas mayores al mínimo establecido en la legislación, la pesquería y sus comunidades presentarán una menor sensibilidad. Por el contrario, si la talla es menor a 57 mm (se asume el 5% de rango de tolerancia), se asigna una sensibilidad alta (igual a 1).
- *Diversidad de los recursos (S₃):*
Este indicador se refiere a los recursos bentónicos, incluyendo a la macha, que se explotan en las localizaciones en análisis. Estas especies están incluidas en los planes de manejo de cada AMERB, con una cuota asignada. Cuanto menor es la diversidad de los recursos explotados en una localización, mayor sensibilidad presentará, es decir, la pesquería de la macha y la comunidad asociada será más sensible si dispone de menos alternativas de explotación de recursos en sus áreas de manejo. El cálculo del indicador se realiza en base al promedio de



recursos bentónicos extraídos por AMERB y promediados posteriormente para cada localización. El resultado se normalizó usando el método de mínimo-máximo.

○ **Concentración de desembarque (S_4):**

Este indicador corresponde al índice de Hirshman-Herfindahl, que mide cuántos recursos diferentes son extraídos por zona o el grado de concentración del desembarque (Ávila & Martínez, 2017; Cubillos et al., 2020).

$$IHH = \sum_{i=1}^N s_i^2; i = 1, 2, \dots, n$$

, donde IHH = Índice *Herfindahl-Hirschman*, N = cantidad de desembarque de recursos, y s_i^2 = proporción del desembarque de recursos al cuadrado

El índice obtenido se normalizó usando el método de mínimo-máximo. Un valor bajo del índice *Hirshman-Herfindahl* indicará un desembarque que se reparte equitativamente entre los recursos, mientras que un valor cercano a 1, indicará un desembarque concentrado en uno o dos recursos, condición que eleva la sensibilidad de la pesquería de macha y de la comunidad de pescadores artesanales asociada.

La sensibilidad se calculó a partir de la media aritmética de los cuatro indicadores:

$$S = \frac{1}{4}(S_1 + S_2 + S_3 + S_4)$$

Metodología para el cálculo de indicadores de capacidad adaptativa:

El índice de capacidad adaptativa considera un indicador:

○ **Apoyo técnico:**

Antigüedad de la presencia de personal técnico/profesional de apoyo en el manejo, elaboración de informes y evaluaciones de la pesquería de la macha en las áreas de manejo. Se determinó el número de años que la AMERB cuenta con apoyo técnico con respecto a la antigüedad total del área de manejo. Los resultados obtenidos se promediaron para cada localización agrupando las AMERBs correspondientes y se normalizó el resultado con el método mínimo-máximo.

La capacidad adaptativa está integrada por varios componentes, entre ellos “Aprendizaje” (Cinner et al., 2018). En el caso de la pesquería de la macha, a través de la asistencia técnica se genera conocimiento sobre las poblaciones, tallas, abundancia de la macha y se determina las cuotas de extracción. Este conocimiento permite desarrollar un manejo de la pesquería, además de que facilita la respuesta ante cambios, minimiza los impactos causados por una amenaza climática, y con ello, incrementa la capacidad adaptativa de la actividad extractiva.

Metodología para el cálculo del indicador de riesgo:

El riesgo es el resultado de la interacción entre los índices de amenaza, exposición y vulnerabilidad. Este último índice a su vez se compone de sensibilidad y capacidad adaptativa. El cálculo del riesgo se basó en la siguiente ecuación:

$$R = \frac{A + E + S(1 - CA)}{3}$$

, donde A es amenaza, E es exposición, S es sensibilidad y CA es capacidad adaptativa. En el presente estudio, se asumió que todos los indicadores poseen igual peso.



Fuentes de información:

Componentes del Riesgo	Datos	Fuente de información
Amenazas	Rango de distribución de la macha (<i>Mesodesma donacium</i>)	GBIF Sea Life Base (https://sealifebase.ca/summary/Mesodesma-donacium.html#)
	Temperatura Superficial del Mar máxima en el rango de distribución regional de la macha (definición de umbral)	Bio-Oracle (https://bio-oracle.org/index.php)
	Temperatura Superficial del Mar Presente	Modelo regional oceanográfico CROCO para Chile Central (3 km)
	Temperatura Superficial del Mar Futuro	Modelo CMIP5 Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici Climate model (CMCC-CM)
		Modelo CMIP5 Centre National de Recherches Météorologiques Coupled Global Climate Model, version 5 (CNRM-CM5)
		Modelo CMIP5 Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation Mark 3.6.0 model (CSIRO Mk3.6.0)
		Modelo CMIP5 Met Office Hadley Centre ESM, (HadGEM2-ES)
		Modelo CMIP5 Max Planck Institute Earth System Model Medium Resolution (MPI-ESM-MR)
	Surgencia a 15 metros Presente	Modelo regional oceanográfico CROCO para Chile Central (3 km)
	Surgencia a 15 metros Futuro	Modelo CMIP5 Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici Climate model (CMCC-CM)
Modelo CMIP5 Centre National de Recherches Météorologiques Coupled Global Climate Model, version 5 (CNRM-CM5)		
Modelo CMIP5 Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation Mark 3.6.0 model (CSIRO Mk3.6.0)		
Modelo CMIP5 Met Office Hadley Centre ESM, (HadGEM2-ES)		
Modelo CMIP5 Max Planck Institute Earth System Model Medium Resolution (MPI-ESM-MR)		
Exposición	Número de pescadores artesanales inscritos por caleta	SERNAPECSA "Integrantes organizaciones con AMERB Machas Coquimbo"
	Desembarque de macha (Ton)	SUBPESCA/SERNAPECSA
Sensibilidad	Tamaño de la población de macha	SUBPESCA/SERNAPECSA
	Talla de la población de macha	SUBPESCA/SERNAPECSA
	Diversidad de los recursos	SUBPESCA/SERNAPECSA – Informes Técnicos AMERB
	Concentración de desembarque	SUBPESCA/SERNAPECSA
Capacidad adaptativa	Apoyo técnico	SERNAPECSA



Referencias

Aburto, J.A., Stotz, W.B. and Cundill, G., 2014. Social-Ecological Collapse: TURF Governance in the Context of Highly Variable Resources in Chile. *Ecology and Society* 19(1): 2. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-06145-190102>

Aburto, J.A., Stotz, W.B., Cundill, G. and Tapia, C., 2021. Toward understanding the long-term persistence of a local governance system among artisanal fishers in Chile. *Ecology and Society* 26(3):5. <https://doi.org/10.5751/ES-12479-260305>

Allison, E.H., A.L. Perry, M.-C. Badjeck, W. Neil Adger, K. Brown, D. Conway, A. S. Halls, G.M. Pilling, J.D. Reynolds, N.L. Andrew, N.K. Dulvy, 2009. Vulnerability of national economies to the impacts of climate change on fisheries, *Fish Fish.* 10 173–196, <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2008.00310.x>.

Assis, J., Tyberghein, L., Bosh, S., Verbruggen, H., Serrão, E. A., & De Clerck, O., 2017. Bio-ORACLE v2.0: Extending marine data layers for bioclimatic modelling. *Global Ecology and Biogeography* <https://www.bio-oracle.org/explore-data.php>

Astudillo, O., Dewitte, B., Mallet, M., Rutllant, J. A., Goubanova, K., Frappart, F., et al (2019). Sensitivity of the near-shore oceanic circulation off Central Chile to coastal wind profiles characteristics. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 124, 4644– 4676. <https://doi.org/10.1029/2018JC014051>

Ávila, K.S., Martínez Ramírez, V.M., 2017. Aplicación del Índice Herfindahl-Hirschman a la acuicultura mundial. *Realidad económica*.

Barange, M. et al., 2018. Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options. FAO Technical Report No. 627, Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome, Italy, 628 pp.

Centro de análisis de políticas públicas, instituto de asuntos públicos, Universidad de Chile. 2016. Informe país: Estado del medioambiente en Chile, comparación 1999-2015. *Ecosistemas marinos y del borde costero* (6): 297- 300.

Chamberlain, S., 2017. rrgbif: Interface to the Global 'Biodiversity' Information Facility 'API'. R package version 0.9.8. <https://CRAN.R-project.org/package=rrgbif>

Cinner, J.E., W.N. Adger, E.H. Allison, M.L. Barnes, K. Brown, P.J. Cohen, S. Gelcich, C.C. Hicks, T.P. Hughes, J. Lau, N.A. Marshall, Building adaptive capacity to climate change in tropical coastal communities, *Nat. Clim. Change* 8 (2) (2018) 117–123, <https://doi.org/10.1038/s41558-017-0065-x>.

Cubillos, L. et al., 2020. WP Acuicultura y Pesca – Informe parcial. *Climate Change Risk Maps for Chile*. GIZ

FAO, 2020. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>.

Fernandez, M., E. Jaramillo, P. A. Marquet, C. A. Moreno, S. A. Navarrete, F. P. Ojeda, C. R. Valdovinos, and J. A. Vasquez. 2000. Diversity, dynamics and biogeography of Chilean benthic nearshore ecosystems: an overview and guidelines for conservation. *Revista Chilena de Historia Natural* 73:797-830. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2000000400021>



IPCC, 2019: Chapter 5 In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [Pörtner, H.-O., D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama and N. Weyer (eds.)]. In press.

McLachlan, A., J. Dugan, O. Defeo, A. Ansell, D. Hubbard, E. Jaramillo, and P. Penchaszadeh. 1996. Beach clam fisheries. *Oceanography and Marine Biology* 34:163-232

Oyarzún, D., & Brierley, C. M. (2018). The future of coastal upwelling in the Humboldt current from model projections. In *Climate Dynamics* (Vol. 52, Issues 1–2, pp. 599–615). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4158-7>

R Core Team, 2021. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available at: <http://www.R-project.org/>.

Riascos, J. M., D. Carstensen, J. Laudien, W. E. Arntz, M. E. Oliva, A. Guntner, and O. Heilmayer. 2009. Thriving and declining: climate variability shaping life-history and population persistence of *Mesodesma donacium* in the Humboldt Upwelling System. *Marine Ecology Progress Series* 385:151-163. <https://doi.org/10.3354/meps08042>

Rubilar, P., L. Ariz, V. Ojeda, E. Lozada, G. Jerez, C. Osorio & I. Olivares. 2001. Estudio biológico pesquero de la macha en la X Región. Informe final. FIP 2000-17. 242 p.

Ruiz-Díaz, R., Liu, X., Aguión, A., Macho, G., deCastro, M., Gómez-Gesteira, M. and Ojea, E. 2020. Social-ecological vulnerability to climate change in small-scale fisheries managed under spatial property rights systems. *Marine Policy* 121.

SERNAPESCA, 2020. Anuario Estadístico de Pesca Y Acuicultura 2020. Chile, desembarque industrial año 2020, por especie y por Región.

SERNAPESCA, 2020. Pesca Industrial. Subsector Pesquero Industrial. Recurso online. www.sernapesca.cl Accedido el 17/03/2022.

SERNAPESCA, 2020. Pesca Artesanal. Subsector Pesquero Artesanal. Recurso online. www.sernapesca.cl Accedido el 17/03/2022.

SERNAPESCA, 2020. Anuario Estadístico de Pesca Y Acuicultura 2020. Chile, desembarque artesanal año 2020, por especie y por Región.

SERNAPESCA, 2020. Anuario Estadístico de Pesca Y Acuicultura 2020. Chile, desembarque áreas de manejo año 2020, por especie y por Región.

SERNAPESCA, 2020. Plan de trabajo e informe final CDC 119.1.17. Determinar un indicador de sustentabilidad para la pesquería de la macha extraída de la Bahía de Coquimbo en base a la medición de tallas mínimas de desembarque. Región de Coquimbo. Diciembre 2020

SERNAPESCA, 2022. Sitio web SERNAPESCA Pesquería artesanal. Accedido el 21/03/2022

SERNAPESCA, 2022. Plan de trabajo e informe final CDC1.1.15. Generar un indicador de sustentabilidad para la pesquería de macha (*Mesodesma donacium*) en la Bahía de Tongoy. Enero 2022



SUBPESCA, 2011. Establece veda extractiva del recurso macha (*Mesodesma donacium*) en el litoral de la IV región de Coquimbo. Unidad de Recursos Bentónicos, Departamento de Pesquerías, Informe Técnico (R. Pesq.) N° 15/2011. 11p.

SUBPESCA, 2015. Suspensión transitoria de la inscripción en el Registro Pesquero Artesanal (RPA) para el recurso macha, entre las regiones XV de Arica -Parinacota y XI de Aysén, período 2015-2020. Unidad de Recursos Bentónicos, Departamento de Pesquerías, Informe Técnico (R. Pesq.) N° 64/2015. 33p.

Yáñez, E., Lagos, N., Norambuena, R., Silva, C. et al. 2018. Impacts of Climate Change on Marine Fisheries and Aquaculture in Chile. Phillips B., and Perez-Ramirez, M. Climate Change Impacts on Fisheries and Aquaculture: A Global Analysis. First Edition, Vol I. John Wiley & Sons Ltd, pp 239-332.

Zizka A, Silvestro D, Andermann T, Azevedo J, Duarte Ritter C, Edler D, Farooq H, Herdean A, Ariza M, Scharn R, Svanteson S, Wengstrom N, Zizka V, Antonelli A (2019). "CoordinateCleaner: standardized cleaning of occurrence records from biological collection databases." Methods in Ecology and Evolution, -7. doi: 10.1111/2041-210X.13152, R package version 2.0-20, <https://github.com/ropensci/CoordinateCleaner>.

Resultados:

Pérdida de desembarque de la pesquería artesanal de la macha (*Mesodesma donacium*) en la Región de Coquimbo por cambios en la temperatura superficial del mar

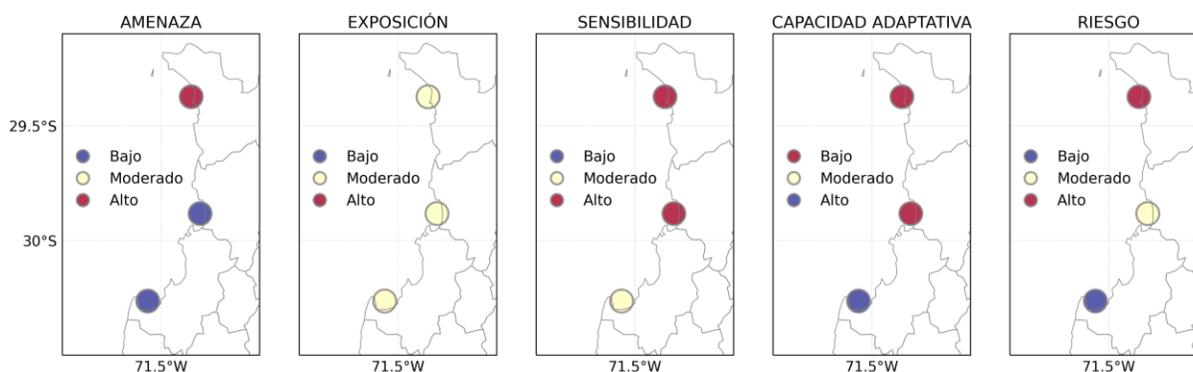


Figura 56. Riesgo asociado a la pérdida de desembarque de la pesquería artesanal de la macha por cambios en la temperatura superficial del mar en la Región de Coquimbo. Fuente: Elaboración propia.

Descripción del Resultado:

El riesgo de pérdida de la pesquería artesanal de la macha asociada a cambios en la temperatura superficial del mar presenta un patrón latitudinal, con mayor riesgo en la zona norte de la Región de Coquimbo, asociado a las Áreas de Manejo de Recursos Bentónicos de Choros, seguido de un riesgo moderado en las AMERBs de la Bahía de Coquimbo, y un riesgo bajo en las áreas de manejo localizadas en la Bahía de Tongoy.

El nivel de amenaza es más alto en la zona de Choros, es decir, el cambio en el número de días que se supera el umbral de temperatura superficial del mar definido para la macha es mayor comparado con la Bahía de Coquimbo y Bahía de Tongoy, que presentan un nivel bajo de amenaza. Por otra parte, la exposición medida en términos de número de pescadores artesanales y desembarque del recurso es moderada en las tres localizaciones.



La zona de Choros y Bahía de Coquimbo registran un nivel de sensibilidad alto, frente al nivel moderado que presenta la Bahía de Tongoy, valores asociados al tamaño de población y talla de la macha, y la diversidad de los recursos explotables de estas AMERBs.

Por último, la capacidad adaptativa es alta en Bahía de Tongoy y baja en las otras dos zonas de estudio (ver Fig. 56).

Pérdida de desembarque de la pesquería artesanal de la macha (*Mesodesma donacium*) en la Región de Coquimbo por cambios en el régimen de surgencia

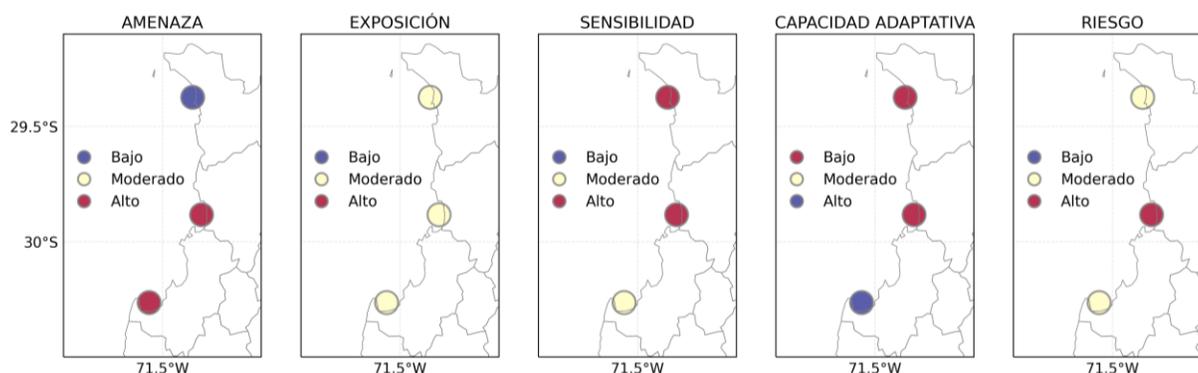


Figura 57. Riesgo asociado a la pérdida de desembarque de la pesquería artesanal de la macha por cambios en el régimen de surgencia en la Región de Coquimbo. Fuente: Elaboración propia.

Descripción del Resultado:

El riesgo de pérdida de la pesquería artesanal de la macha asociada a cambios en el régimen de surgencia presenta un nivel alto en las áreas de manejo de la Bahía de Coquimbo y valores moderados en las AMERBs de la zona de Choros y Bahía de Tongoy.

El nivel de amenaza asociado al cambio en el número de días con intensidades anómalas de surgencia en el periodo futuro con respecto al período presente es alto en las áreas de manejo de la Bahía de Tongoy y Bahía de Coquimbo, y presenta un valor bajo en la zona de Choros.

Por otra parte, la exposición medida en términos de número de pescadores artesanales y desembarque del recurso es moderada en las tres localizaciones.

La zona de Choros y Bahía de Coquimbo registran un nivel de sensibilidad alto, frente al nivel moderado que presenta la Bahía de Tongoy, valores asociados al tamaño de población y talla de la macha, y la diversidad de los recursos explotables de estas AMERBs.

Por último, la capacidad adaptativa es alta en Bahía de Tongoy y se registra un nivel bajo en las otras dos zonas de estudio (ver Fig. 57).



Nombre de la Cadena de Impacto:

*Pérdida de producción acuícola del ostión del norte (*Argopecten purpuratus*) en la Región de Coquimbo por cambios en la temperatura superficial del mar y régimen de surgencia*

Justificación de la cadena seleccionada

El Sistema de corriente de Humboldt (HCS) es responsable del 20% de las capturas de peces a nivel global lo cual ha sido avaluado en más de 20 billones de dólares norteamericanos (Gutiérrez et al., 2017). Adicionalmente, a lo largo de la HCS, las capturas de invertebrados han mostrado un crecimiento continuo con un impacto socio-económico (FAO, 2005-2021; Gutierrez et al., 2017)

Particularmente, en Chile, el cultivo de moluscos (y peces) tienen una importancia social y económica en términos de provisión de alimento, trabajo y recursos económicos (FAO, 2005-2021). En la Región de Coquimbo se encuentra la Bahía de Tongoy que destaca como uno de los mayores centros de acuicultura de especies nativas y exóticas en la HCS (Moraga-Opazo et al., 2011). La Bahía de Tongoy (y Guanaqueros), en la zona centro-norte de Chile (30°15'S; 71°34'W), es una bahía cerrada con una profundidad promedio de 25m y un área total de 55 km² (Uribe & Blanco, 2001). Actualmente, más del 90% de superficie de esta bahía es destinada para el cultivo del ostión del norte (*Argopecten purpuratus*) cuya producción anual superó las 11,000 toneladas en 2019 (SERNAPESCA, 2019).

Sin embargo, la producción de este recurso acuícola depende de las condiciones ambientales presentes en estas bahías. Previos estudios han demostrado que las tasas de crecimiento y mortalidad del ostión del norte dependen de la temperatura (Ramajo et al., 2019), pero también del régimen de surgencia (Ramajo et al., 2020). La ocurrencia de temperaturas altas o intensidades de surgencia extremas (muy bajas/muy fuertes) están asociadas a grandes mortalidades y disminución de la talla de los organismos.

Debido a la importancia socio-económica y cultural de esta actividad productiva, la siguiente cadena evalúa el riesgo de pérdida de producción acuícola para las dos principales áreas destinada al cultivo del ostión del norte (Tongoy y Guanaqueros) frente a cambios en la Temperatura Superficial del Mar (TSM) y cambios en el régimen de surgencia.

Definición de la cadena:

Componente de Riesgo	Indicadores
Amenazas	<ul style="list-style-type: none"> ○ Cambio proyectado en la Temperatura Superficial del Mar (TSM, por sus siglas en español) para el horizonte futuro 2035-2064 respecto de la base 1976-2005 considerando el escenario RCP8.5. ○ Cambio en el régimen de surgencia costera (a través de proxy de transporte vertical de masa de agua hacia la superficie).
Exposición	<ul style="list-style-type: none"> ○ Número de empresas acuícolas y organizaciones/gremios artesanales ○ Producción de ostión del Norte
Sensibilidad	<ul style="list-style-type: none"> ○ Operatividad ○ Concentración de concesiones
Capacidad adaptativa	Monitoreo ambiental
Riesgo	Pérdida de producción acuícola del ostión del Norte (<i>Argopecten purpuratus</i>) en la Región de Coquimbo
Escala espacial	Por agrupación de concesiones acuícolas de ostión del Norte (Anexo IV) en unidades territoriales que denominaremos "Bahías": <ul style="list-style-type: none"> ○ Bahía de Guanaqueros ○ Bahía de Tongoy



Metodología para el cálculo de indicadores de amenazas:

- *Temperatura Superficial del Mar (TSM) (A1):*

En la presente cadena de impacto se utilizó la amenaza cambio en la Temperatura Superficial del Mar, como estresor climático que afecta a la producción acuícola de ostión del Norte (*Argopecten purpuratus*). La biología de esta especie, que es cultivada en sistemas de linternas en la columna de agua entre 10 a 30 m, se relaciona con las condiciones oceanográficas y ambientales, entre ellas la temperatura del mar. Al no existir estudios previos que definan la tolerancia térmica del ostión del Norte, se estableció un umbral de 18.265°C, basado en la Temperatura Superficial del Mar máxima que se registra en el rango de distribución de la especie dentro de la Región de Coquimbo (adaptación metodológica de Ruiz-Díaz et al., 2020 y Allison et al., 2009). Pese a que el ostión del Norte se extiende desde Paita (Perú) hasta la Bahía de Tongoy en la IV Región (Chile) (Thébault et al. 2008, Pérez et al. 2012), se limitó el rango de distribución a nivel regional en base a que la población de la Región de Coquimbo se diferencia genéticamente con respecto de otras poblaciones (Bavestrello-Riquelme et al., 2021). Este rango de distribución se obtuvo a partir de las bases de datos OBIS GBIF (Chamberlain et al., 2017) y Sea Life Base, y fueron verificadas y limpiadas con el paquete Coordinate Cleaner (Zizka et al., 2019; R Core Team, 2021). La TSM máxima registrada para el rango de distribución regional se calculó utilizando la base de datos Bio-Oracle, la cual se especializa en datos ambientales para especies marinas (Assis et al., 2017).

Para calcular la amenaza se consideró el cambio en el número de días que se supera el umbral de Temperatura Superficial del Mar de 18.265°C para el periodo futuro 2035-2064 con respecto al periodo presente o histórico 1976-2005 considerando el escenario más pesimista de emisiones de Gases de Efecto Invernadero RCP8.5.

Las proyecciones de cambio climático para la Temperatura Superficial del Mar se estimaron a partir de un método de reducción de escala o downscaling dinámico utilizando un modelo regional oceanográfico de alta resolución en conjunto con los patrones de cambio climático de TSM obtenidos a partir de cinco modelos CMIP5 (Anexo I). Los valores de TSM obtenidos para ambos periodos se evaluaron para las 2 localizaciones del estudio (Bahía de Tongoy y Bahía de Guanaqueros) en las que se concentran las concesiones acuícolas (Anexo IV CDI) y se cuantificó la diferencia en el número de días por periodo por sobre el umbral de TSM definido para esta especie, promediando los resultados de los cinco modelos CMIP5.

Los resultados del componente “amenaza” se normalizaron con el método mínimo-máximo, obteniendo valores entre 0 y 1, donde 0 indica una baja amenaza climática y 1 corresponde a una alta amenaza climática que afecta la producción acuícola de ostión del Norte.

- *Cambio en el régimen de surgencia costera (proxy transporte vertical de masa) (A2):*

Para estimar la amenaza del cambio climático en el régimen de la surgencia costera, medida como el transporte vertical ascendente (kg s^{-1}) de masa de agua (Oyarzun et al., 2018) en el nivel de referencia de los cultivos de Ostión del Norte a 30 metros de profundidad, se contabiliza el cambio entre el periodo histórico (1976-2005) y futuro (2035-2064) en el número de eventos anómalos de surgencia, correspondiente a la sumatoria de episodios de surgencia débiles (i.e., surgencia menor al percentil 25º del periodo presente) o intensos (i.e., surgencia mayor al percentil 75º del periodo presente).

Las proyecciones de la surgencia costera tanto para el periodo histórico como futuro se obtuvieron a partir de un método de reducción de escala o downscaling dinámico utilizando un modelo regional oceanográfico de alta resolución en conjunto con las señales de cambio climático de la surgencia costera a 30 metros de profundidad obtenidas a partir de cinco modelos globales CMIP5 de baja resolución espacial. La simulación oceanográfica regional de alta resolución se generó mediante el modelo hidrodinámico Coastal and Regional Ocean COmmunity model (CROCO), dicho modelo utiliza ecuaciones primitivas en coordenadas sigma con superficie libre y adopción de aproximaciones hidrostáticas e incompresibles. El modelo resuelve un dominio que incluye la región de océano abierto y costero de la región de Coquimbo con una resolución horizontal espacial de 3 km y 50 niveles verticales paralelos a la batimetría. Esta configuración ha sido validada en estudios previos (Astudillo et al., 2019) mediante observaciones in-situ y satelitales en términos de TSM, nivel del mar y corrientes entre otras



variables. La simulación CROCO abarca el periodo de 30 años 1976-2005 representativo del periodo actual o histórico con una resolución temporal de 3 días, adicionalmente su alta resolución espacial (3 km) nos permite analizar localmente las proyecciones de cambio climático en las áreas de Concesiones Acuicolas para el cultivo del Ostión del Norte en la región de Coquimbo.

Las proyecciones de cambio climático se obtienen usando el “método delta” (Hare et al., 2012), en el cual la diferencia o “delta” entre el ciclo anual promedio de la surgencia a 30 metros del periodo futuro (2035-2064) y del periodo histórico (1976-2005) son obtenidas desde modelos globales CMIP5 de baja resolución espacial. En este caso, se utilizaron los siguientes cinco modelos CMIP5 con mayor resolución espacial: Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici Climate model (CMCC-CM), Centre National de Recherches Météorologiques Coupled Global Climate Model, version 5 (CNRM-CM5), Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation Mark 3.6.0 model (CSIRO Mk3.6.0), Met Office Hadley Centre ESM, (HadGEM2-ES), Max Planck Institute Earth System Model Medium Resolution (MPI-ESM-MR). Finalmente, estas perturbaciones climatológicas son proyectadas sobre las estimaciones de surgencia costera a 30 metros para el periodo presente (1976-2005) provistas por el modelo regional oceanográfico CROCO, proporcionando de este modo las condiciones de la surgencia costera a 30 metros para el periodo futuro (2035-2064).

Los resultados del componente “amenaza” se normalizaron con el método mínimo-máximo, obteniendo valores entre 0 y 1, donde 0 indica una baja amenaza climática y 1 corresponde a una alta amenaza climática que afecta la producción acuícola de ostión del Norte.

Metodología para el cálculo de indicadores de exposición:

El índice de exposición engloba dos indicadores:

- *Número de empresas acuícolas y organizaciones/gremios artesanales por localización (E₁):* El número de empresas y organizaciones acuícolas artesanales indica el grado de exposición de aquellos que potencialmente pueden ser impactados por la pérdida de producción acuícola del recurso ostión del Norte. La información se obtuvo a partir de informes de la oficina regional de SERNAPESCA, y se sumó el número total de empresas y organizaciones de cada Bahía, para posteriormente normalizar el resultado con el método mínimo máximo (Anexo IV).
- *Producción de recurso ostión del Norte (E₂):* La producción del recurso acuícola ostión del Norte se calculó como toneladas de producción de cada Bahía normalizado con el método mínimo-máximo (Anexo IV).

La exposición se calculó a partir de la media aritmética de los dos indicadores:

$$E = \frac{1}{2} (E_1 + E_2)$$

Metodología para el cálculo de indicadores de sensibilidad:

El índice de sensibilidad engloba dos indicadores:

- *Operatividad (S₁):* El indicador muestra el esfuerzo pesquero (adaptado de Ruiz-Diaz et al., 2020; más información en Anexo IV) de cada Bahía en términos de:
 - Número de empresas y organizaciones acuícolas que operan en cada Bahía.
 - Cantidad de días operables: Promedio de días por año (desde 2008 a 2019) operables en las Bahías, determinado por los cierres de puerto que mandata la Capitanía de Puerto de Tongoy. La prohibición de navegación para embarcaciones menores se asocia a marejadas y nieblas, principalmente.
 - Superficie de cultivo: Área concesionada total de cada Bahía.

$$S_1 = \frac{\text{Número de empresas y gremios} * \text{Cantidad de días operables}}{\text{Superficie de cultivo}}$$





- **Concentración de concesiones (S_2):** El indicador hace referencia a la capacidad de carga de las Bahías. Actualmente, no existen estudios para la Bahía de Tongoy ni de Guanaqueros que definan el umbral de superación de la capacidad de carga acuícola, por lo que en el presente informe se realizará una comparación entre las zonas de estudio utilizando una aproximación.

El cálculo se enfocará en estimar la proporción en términos de superficie que ocupan las concesiones acuícolas con respecto al área de cada Bahía. El resultado obtenido se normalizará con el método mínimo-máximo (Anexo IV).

De esta forma, un valor alto del indicador concentración de concesiones, indicará que la Bahía se encuentra con mayor carga acuícola, es decir, con un mayor número de linternas y organismos que afectan la hidrodinámica de la Bahía, generan un mayor consumo de oxígeno disuelto, materia orgánica que se deposita sobre el fondo del mar, entre otros impactos, aumentando la sensibilidad de la producción acuícola.

$$S_2 = \frac{\sum \text{Área de concesiones acuícolas}}{\text{Área de la Bahía}}$$

La sensibilidad se calculó a partir de la media aritmética de los dos indicadores:

$$S = \frac{1}{2}(S_1 + S_2)$$

Metodología para el cálculo de indicadores de capacidad adaptativa:

El índice de capacidad adaptativa considera un indicador:

- **Monitoreo ambiental (CA_1):** Indicador binario. Presencia de monitoreo de parámetros ambientales/oceanográficos en las Bahías. Este indicador permite definir si existe generación de conocimiento de las condiciones ambientales y oceanográficas de la Bahía, lo que facilitaría la anticipación y respuesta a cambios generados por amenazas climáticas y no climáticas, aumentando la capacidad adaptativa.

Nivel de capacidad adaptativa	
Baja Indicador = 0	Alta Indicador = 1
Concesiones no poseen monitoreo ambiental	Concesiones poseen algún tipo de monitoreo ambiental (estación de monitoreo oceanográfico-meteorológico).

Metodología para el cálculo del indicador de riesgo:

El riesgo es el resultado de la interacción entre los índices de amenaza, exposición y vulnerabilidad. Este último índice a su vez se compone de sensibilidad y capacidad adaptativa. El cálculo del riesgo se basó en la siguiente ecuación:

$$R = \frac{A + E + S(1 - CA)}{3}$$

, donde A es amenaza, E es exposición, S es sensibilidad y CA es capacidad adaptativa. En el presente estudio, se asumió que todos los indicadores poseen igual peso.



Fuentes de información:

Componentes del Riesgo	Datos	Fuente de información
Amenaza	Rango de distribución de ostión del Norte (<i>Argopecten purpuratus</i>)	GBIF Sea Life Base (https://sealifebase.ca/summary/Argopecten-purpuratus.html)
	Temperatura Superficial del Mar máxima en el rango regional de distribución del ostión del Norte (definición de umbral)	BioOracle (https://bio-oracle.org/index.php)
	Temperatura Superficial del Mar Presente	Modelo regional oceanográfico CROCO para Chile Central (3 km)
	Temperatura Superficial del Mar Futuro	Modelo CMIP5 Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici Climate model (CMCC-CM)
		Modelo CMIP5 Centre National de Recherches Météorologiques Coupled Global Climate Model, version 5 (CNRM-CM5)
		Modelo CMIP5 Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation Mark 3.6.0 model (CSIRO Mk3.6.0)
		Modelo CMIP5 Met Office Hadley Centre ESM, (HadGEM2-ES)
		Modelo CMIP5 Max Planck Institute Earth System Model Medium Resolution (MPI-ESM-MR)
	Surgencia a 30 metros Presente	Modelo regional oceanográfico CROCO para Chile Central (3 km)
	Surgencia a 30 metros Futuro	Modelo CMIP5 Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici Climate model (CMCC-CM)
Modelo CMIP5 Centre National de Recherches Météorologiques Coupled Global Climate Model, version 5 (CNRM-CM5)		
Modelo CMIP5 Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation Mark 3.6.0 model (CSIRO Mk3.6.0)		
Modelo CMIP5 Met Office Hadley Centre ESM, (HadGEM2-ES)		
Modelo CMIP5 Max Planck Institute Earth System Model Medium Resolution (MPI-ESM-MR)		
Exposición	Número de empresas acuícolas y organizaciones/gremios artesanales	SERNAPESCA
	Producción del recurso ostión del Norte (Ton)	SERNAPESCA
Sensibilidad	Operatividad	SERNAPESCA ARMADA DE CHILE SUBPESCA
	Concentración de concesiones	SUBPESCA Uribe & Blanco, 2001
Capacidad adaptativa	Monitoreo ambiental	SERNAPESCA



Referencias

Allison, E.H., A.L. Perry, M.-C. Badjeck, W. Neil Adger, K. Brown, D. Conway, A. S. Halls, G.M. Pilling, J.D. Reynolds, N.L. Andrew, N.K. Dulvy, Vulnerability of national economies to the impacts of climate change on fisheries, *Fish Fish.* 10 (2009) 173–196, <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2008.00310.x>.

Assis, J., Tyberghein, L., Bosh, S., Verbruggen, H., Serrão, E. A., & De Clerck, O. (2017). Bio-ORACLE v2.0: Extending marine data layers for bioclimatic modelling. *Global Ecology and Biogeography* <https://www.bio-oracle.org/explore-data.php>

Astudillo, O., Dewitte, B., Mallet, M., Rutllant, J. A., Goubanova, K., Frappart, F., et al (2019). Sensitivity of the near-shore oceanic circulation off Central Chile to coastal wind profiles characteristics. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 124, 4644– 4676. <https://doi.org/10.1029/2018JC014051>

Bavestrello-Riquelme, Claudia, Rodrigo S. Rios, William J. Farías, Claudia B. Cárcamo, Hernán Pérez, and Katherina Brokordt "The Effect of Hybridization between Natural and Cultivated Peruvian Scallop *Argopecten purpuratus* populations on Growth and Tolerance to Abiotic Stress," *Journal of Shellfish Research* 40(1), 9-18, (3 May 2021). <https://doi.org/10.2983/035.040.0102>

Chamberlain, S., 2017. rgbif: Interface to the Global 'Biodiversity' Information Facility 'API'. R package version 0.9.8. <https://CRAN.R-project.org/package=rgbif>

FAO 2005-2021. World inventory of fisheries. Subsidies and trade distortion. Issues Fact Sheets. Text by Audun Lem. In: FAO Fisheries Division [online]. Rome.

Gutiérrez D., et al., (2017) Productivity and Sustainable Management of the Humboldt Current Large Marine Ecosystem under climate change, *Environmental Development*, 17: 126-144

Moraga-Opazo, J., Valle-Levinson, A., Ramos, M., Pizarro-Koch, M., 2011. Upwelling– triggered near–geostrophic recirculation in an equatorward facing embayment. *Cont. Shelf Res.* 31, 1991–1999. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2011.10.002>.

OBIS: Ocean Biogeographic Information System. [*Argopecten purpuratus*] www.iobis.org

Oyarzún, D., & Brierley, C. M. (2018). The future of coastal upwelling in the Humboldt current from model projections. In *Climate Dynamics* (Vol. 52, Issues 1–2, pp. 599–615). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4158-7>

Perez J, Alfonsi C, Salazar S, Nirchio M (2012) *Mejoramiento Genético En Acuicultura* (Ebook).pdf. pp 220

R Core Team (2021). R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available at: <http://www.R-project.org/>.

Ramajo, L., et al., (2019). Physiological responses of juvenile Chilean scallops (*Argopecten purpuratus*) to isolated and combined environmental drivers of coastal upwelling. *ICES J. Mar. Sci.* 76 (6), 1836–1849. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsz080>.

Ramajo, L., et al., (2020). Upwelling intensity modulates the fitness and physiological performance of coastal species: implications for the aquaculture of the scallop *Argopecten purpuratus* in the Humboldt Current System. *Sci. Total Environ.* 745, 140949



Ruiz-Díaz, R., Liu, X., Aguión, A., Macho, G., deCastro, M., Gómez-Gesteira, M. and Ojea, E. 2020. Social-ecological vulnerability to climate change in small-scale fisheries managed under spatial property rights systems. *Marine Policy* 121.

SERNAPESCA (2019). Anuarios Estadísticos de Pesca. Servicio Nacional de Pesca (SERNAPESCA). Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, Chile.

Soto, D., Leon-Muñoz, V., Yuir-Soria, Molinet, C., 2020. WP Acuicultura y Pesca – Informe parcial. Climate Change Risk Maps for Chile. GIZ

Thébault J, Thouzeau G, Chauvaud L, Cantillán M, Avendaño M (2008) (Mollusca: Bivalvia) on a natural bank in Northern Chile: sclerochronological record and environmental controls. *Aquat Living Resour* 21:45–55

Uribe E. & Blanco N. (2001). Capítulo 12. Capacidad de los sistemas acuáticos para el sostenimiento del cultivo de pectínidos: El caso de *Argopecten purpuratus* en la Bahía de Tongoy. In *Los moluscos pectinidos de Iberoamerica: Ciencia y Acuicultura*. Editorial Limusa (Mexico) pp. 147-172

Yáñez, E., Lagos, N., Norambuena, R., Silva, C. et al. 2018. Impacts of Climate Change on Marine Fisheries and Aquaculture in Chile. Phillips B., and Perez-Ramirez, M. *Climate Change Impacts on Fisheries and Aquaculture: A Global Analysis*. First Edition, Vol I. John Wiley & Sons Ltd, pp 239-332.

Zizka A, Silvestro D, Andermann T, Azevedo J, Duarte Ritter C, Edler D, Farooq H, Herdean A, Ariza M, Scharn R, Svanteson S, Wengstrom N, Zizka V, Antonelli A (2019). "CoordinateCleaner: standardized cleaning of occurrence records from biological collection databases." *Methods in Ecology and Evolution*, -7. doi: 10.1111/2041-210X.13152, R package version 2.0-20, <https://github.com/ropensci/CoordinateCleaner>.



Resultados:

Pérdida de producción acuícola del ostión del Norte (*Argopecten purpuratus*) en la Región de Coquimbo por cambios en la temperatura superficial del mar

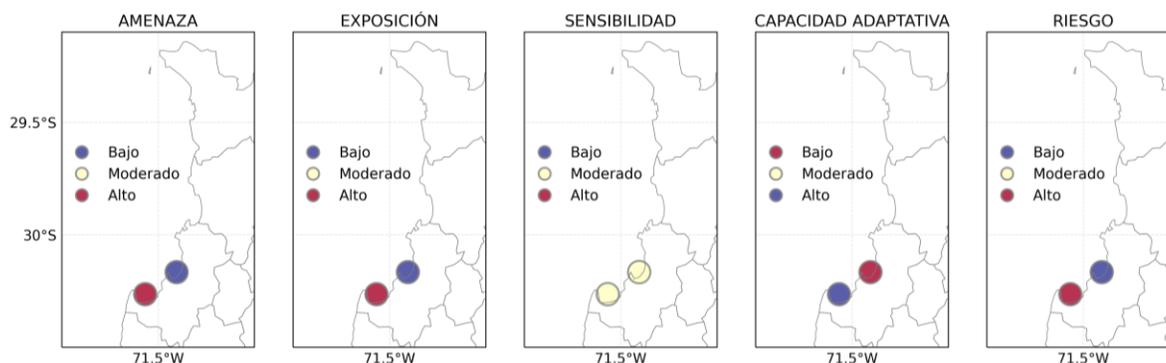


Figura 58. Riesgo asociado a la pérdida de producción acuícola de ostión del norte por cambios en la temperatura superficial del mar en la Región de Coquimbo. Fuente: Elaboración propia.

Descripción del Resultado:

El riesgo de pérdida de producción acuícola del ostión del Norte asociada a cambios en la temperatura superficial del mar presenta un nivel alto en la Bahía de Tongoy y un nivel bajo en la Bahía de Guanaqueros.

El nivel de amenaza es alto en la Bahía de Tongoy, es decir, se registra un mayor cambio en el número de días que se supera el umbral de temperatura superficial del mar definido para el recurso ostión del Norte comparado con la Bahía de Guanaqueros, que presenta un nivel bajo de amenaza.

Por otra parte, la exposición medida en término del número de empresas/organizaciones y producción del recurso sigue el mismo patrón que el índice de amenaza, con un nivel alto en la Bahía de Tongoy y bajo en la Bahía de Guanaqueros.

La sensibilidad es moderada en ambas Bahías, índice que considera el nivel de operatividad y la concentración de concesiones en cada Bahía.

Por último, la capacidad adaptativa es mayor en la Bahía de Tongoy, ya que presenta un sistema de monitoreo oceanográfico-meteorológico, frente a la Bahía de Guanaqueros, con un nivel bajo (**ver Fig. 58**).



Pérdida de producción acuícola del ostión del Norte (*Argopecten purpuratus*) en la Región de Coquimbo por cambios en el régimen de surgencia

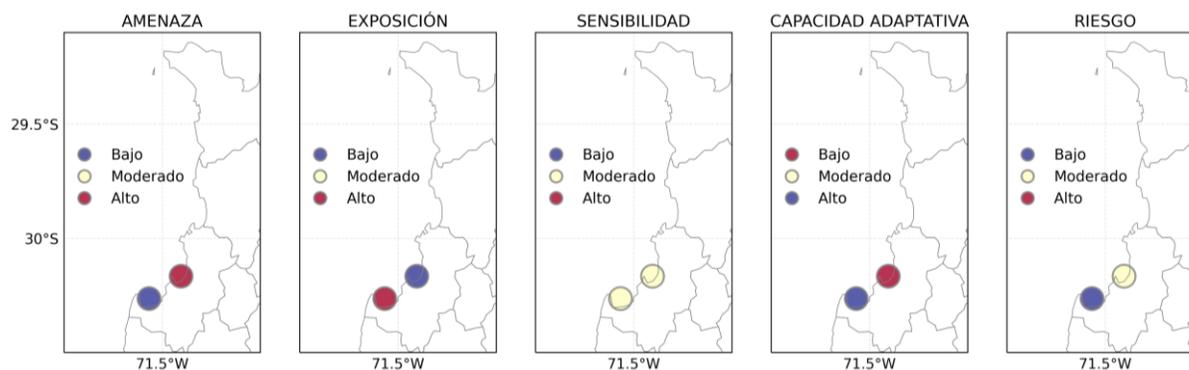


Figura 59. Riesgo asociado a la pérdida de producción acuícola de ostión del norte por cambios en el régimen de surgencia en la Región de Coquimbo. Fuente: Elaboración propia.

Descripción del Resultado:

El riesgo de pérdida de producción acuícola del ostión del Norte asociada a cambios en el régimen de surgencia presenta un nivel bajo en la Bahía de Tongoy y un nivel moderado en la Bahía de Guanaqueros.

El nivel de amenaza es alto en la Bahía de Guanaqueros, es decir, se registra un mayor cambio en el número de días con intensidades anómalas de surgencia en el periodo futuro con respecto al periodo presente comparado con la Bahía de Tongoy, que presenta un nivel bajo de amenaza.

Por otra parte, la exposición medida en términos de número de empresas/organizaciones y producción del recurso sigue el patrón contrario que el índice de amenaza, con un nivel alto en la Bahía de Tongoy y bajo en la Bahía de Guanaqueros.

La sensibilidad es moderada en ambas bahías, índice que considera el nivel de operatividad y la concentración de concesiones en cada localización.

Por último, la capacidad adaptativa es mayor en la Bahía de Tongoy, ya que presenta un sistema de monitoreo oceanográfico-meteorológico, frente a la Bahía de Guanaqueros, con un nivel bajo (**ver Fig. 59**).



4.2.3. Talleres y participación

4.2.3.1. Identificación Riesgo

A partir de la identificación del problema, su análisis y discusión en torno a las medidas de gestión de impacto, en este taller se identificaron los riesgos a trabajar, los que se tradujeron en la propuesta inicial de nueve CDI. Para *Agua y Suelo*, los riesgos identificados fueron aquellos relativos a cambios en la cobertura y estado de vegetación, y cambios en la superficie plantada para uva pisquera. Para *Zona Costera*, cambios en el desembarque de machas, cambios sociales asociados a este recurso, y cambios en la cosecha/exportación de ostión; En *Biodiversidad*, cambios en las especies y en su probabilidad de ocupación espacial para el caso de aquellas de interés en conservación. Finalmente, para *Ciudad e Infraestructura*, cambios en la continuidad de la cadena de suministro de agua y presencia de medusas. Para el detalle de los resultados, **ver Anexo II**).

4.2.3.2. Validación indicadores y cadenas a desarrollar.

En general, las y los participantes del taller validaron las nueve CDIs propuestas, en la mayoría de los casos con observaciones y recomendaciones para el perfeccionamiento de sus indicadores. Sin excepción, todas las CDIs fueron validadas en términos de su relevancia para la región. Solo en dos casos (CDI5 y CDI9) se sugirió revisar el indicador de riesgo de manera de fortalecer su relevancia regional; y en otros dos (CDI7 y CDI8), se recomendó revisar el enfoque genérico del indicador de riesgo para acotarlo a una especie. En términos generales, los indicadores de amenaza, exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación de todas las CDIs consultadas recibieron observaciones, que en la mayoría de los casos no invalidaban el indicador, sino que sugerían considerar también otros. Lo anterior a excepción de la CDI7, que fue validada sin observaciones, y la CDI3, que fue validada solo parcialmente con recomendaciones de cambios más sustanciales. Por último, y a modo de observación general, desde los propios participantes se levantó la inquietud de la baja convocatoria y la ausencia de especialistas en algunas de las áreas consultadas, lo que pudo impactar significativamente en los resultados del proceso participativo. Para el detalle de los resultados del proceso de validación, **ver Anexo II**).

4.2.3.3. Validación de las cadenas

En general, las y los participantes del taller validaron todas las CDI presentadas y sometidas a validación. Todas las CDI fueron validadas con un 100% de aprobación, a excepción de las CDI correspondientes a Pérdida de superficie cultivable de uva pisquera por aumento en la frecuencia de olas de calor y sequía, donde una persona indicó no estar conforme con el resultado. Sin embargo, en al profundizar en los comentarios no hubo observaciones sustantivas al respecto. En términos de su relevancia para la Región de Coquimbo, el 100% de los participantes consideró que todas las CDI son de relevancia regional. Respecto a comentarios o nuevas propuestas, la mayoría de los participantes indicó no tener observaciones, mientras algunos registraron comentarios para ser considerados en posibles proyecciones del trabajo presentado. Para el detalle de los resultados del proceso de validación, **ver Anexo II**).

4.3. Capacitación y Difusión (Actividad 3)

Las actividades de capacitación y difusión han estado focalizadas principalmente en el desarrollo de ideas fuerza que den visibilidad al proyecto AdaptaClim. Estas actividades han incluido:

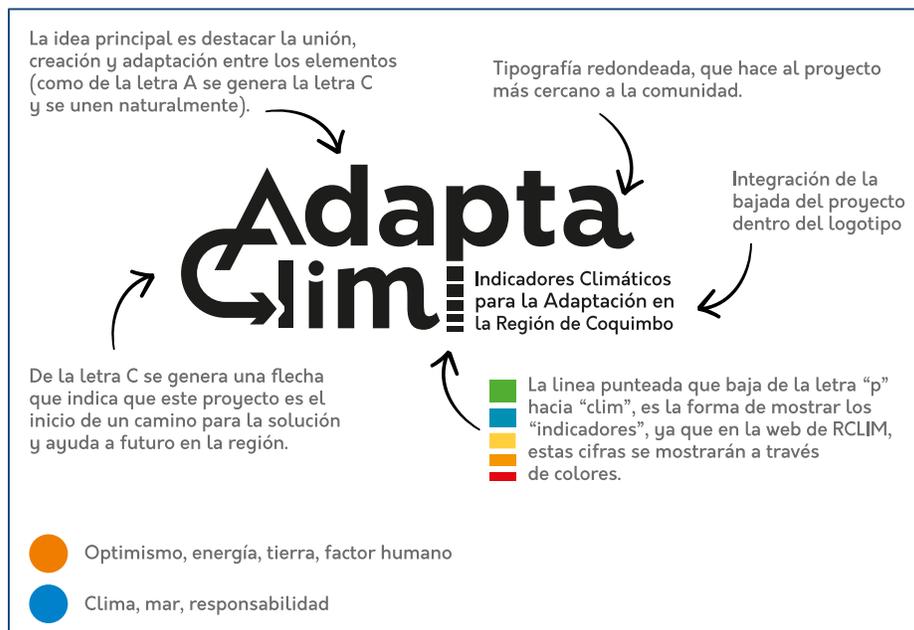
- a. Generación de identidad y logo
- b. Elaboración de notas de prensa
- c. Participación en entrevistas de radio
- d. Cápsulas audiovisuales con información de amenazas, exposición, y vulnerabilidad para los sectores Agua y Suelo, Ciudad e Infraestructura, Biodiversidad, y Zona Costera.
- e. Generación de podcasts para los sectores Agua y Suelo, Ciudad e Infraestructura, Biodiversidad, y Zona Costera.
- f. Publicaciones en redes sociales (CEAZA, Seremi de Medio Ambiente Coquimbo).



4.3.1. Identidad y Logo

Se trabajó en generar una identidad para el proyecto, desarrollando propuestas con conceptos como Clima, Acción, Riesgo, Cambio, Colaboración y Adaptación. Finalmente se optó por un nombre que priorizara este último concepto, relevando la Adaptación como objetivo final del proyecto. La frase “Indicadores climáticos para la adaptación en la Región de Coquimbo” permite acotar el tipo de investigación y el territorio en el que se realiza.

Para el diseño del logo, se consideraron los siguientes elementos:



Como “ideas fuerza” para la comunicación, se estableció destacar que el proyecto se basa en un proceso de “co-construcción” entre la ciencia y la institucionalidad ambiental, representada por el Comité Regional de Cambio Climático (CORECC) de la Región de Coquimbo; que analiza “riesgos y amenazas” para diversos sectores y comunidades, y que será utilizado como insumo para el Plan de Acción Regional de Cambio Climático (PARCC).

4.3.2. Medios de comunicación

Múltiples comunicados de prensa han sido difundidos en medios de comunicación regionales y nacionales durante el desarrollo del proyecto AdaptaClim. Todo esto se ha traducido (al 27/05/2022) múltiples entrevistas radiales, publicaciones en diarios regionales y medios digitales. Destacamos que existe un artículo que se generó en forma exclusiva para el Diario El Día, a propósito de El Día de la Mujer (8 de Mayo), el cual fue replicado en el blog de la ANID (Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo). A todo esto, se suman las publicaciones en la web corporativa de CEAZA y Ministerio de Medio Ambiente (Seremía de Coquimbo).

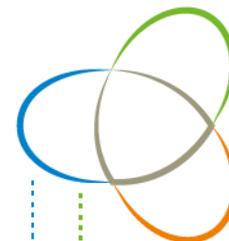
Un detalle de las entrevistas, apariciones en prensa y otros, es detallado a continuación. Los respaldos de este material (en formato pdf. o imagen) pueden ser encontrados en el **Anexo III**.

Fecha	Título	Medio de comunicación
25/02/2022	Urgen adaptar actividades como agricultura, pesca y turismo ante cambio climático en región de Coquimbo	El Observatorio
01/03/2022	Analizan los riesgos y amenazas del Cambio Climático en la Región de Coquimbo	Radio Agricultura
02/03/2022	Analizan los riesgos y amenazas del Cambio Climático en la Región	Diario La Región
03/03/2022	Entrevista Laura Ramajo sobre AdaptaClim y el impacto del cambio climático en la región	Radio Guayacán Programa “Lo mejor está por venir”



Fecha	Título	Medio de comunicación
08/03/2022	Las mujeres del clima en la Región de Coquimbo	Diario El Día, especial Día de la Mujer
15/03/2022	Entrevista a Laura Ramajo: "Cambio Climático, ¿cómo está afectando a la Región de Coquimbo"	Radio Universitaria de la Universidad de La Serena
16/03/2022	Las mujeres del clima en la Región de Coquimbo	Blog de ANID (Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo)
17/03/2022	La crisis climática se enfrenta con colaboración en la Región de Coquimbo	Radio Montecarlo
18/03/2022	La crisis climática se enfrenta con colaboración en la Región de Coquimbo	Radio Agricultura
20/03/2022	La crisis climática se enfrenta con colaboración en la Región de Coquimbo	La Serena online
24/03/2022	Avanza trabajo público privado para afrontar la crisis climática	Induambiente
01/04/2022	Presentaron los principales riesgos de la Región de Coquimbo frente al Cambio Climático	Minería Chilena
01/04/2022	Menos uva, más fragata portuguesa	El Observatorio
01/04/2022	Se presentaron los principales riesgos de la Región de Coquimbo frente al Cambio Climático	Diario ID
03/04/2022	Uva pisquera y extracción de machas en peligro	Mi Radio (web)
03/04/2022	Principales riesgos de la Región de Coquimbo frente al Cambio Climático	Ovalle Hoy
05/04/2022	Entrevista a Laura Ramajo	Mi Radio Programa "Lo mejor está por venir"
11/04/2022	Entrevista a Laura Ramajo (ver Anexo)	Radio América
29/04/2022	Menos Pingüinos y más medusas: la disminución y abundancia de especies que traerá el cambio climático a la región	Explora
04/05/2022	Proyectan que algunas especies de la Región de Coquimbo podrían desaparecer	Mundo Acuícola
05/05/2022	Proyectan que algunas especies de la Región de Coquimbo podrían desaparecer	El Mostrador
05/05/2022	Proyectan que algunas especies de la Región de Coquimbo podrían desaparecer	Radio Agricultura
06/05/2022	¿Qué especies de la Región de Coquimbo podrían desaparecer a causa del cambio climático?	Diario El Día
06/05/2022	Cambio climático: Advierten desaparición de especies endémicas de la región	El Observatorio





Fecha	Título	Medio de comunicación
06/05/2022	Científicos locales estudian las especies más vulnerables de la Región de Coquimbo	Semanario Tiempo
05/2022	Especial Cambio Climático	Revista Induambiente
25/05/2022	Cambio climático pone en riesgo a la producción acuícola del ostión en Coquimbo	El Coquimbano
26/05/2022	Investigan riesgos para el cultivo de la macha y el ostión debido al cambio climático	Radio Madero
26/05/2022	Investigan riesgos para el cultivo de la macha y el ostión debido al cambio climático	Mundo Acuícola
26/05/2022	Investigan riesgos para el cultivo de la macha y el ostión debido al cambio climático	Radio Agricultura
27/05/2022	Investigan riesgos para el cultivo de la macha y el ostión debido al cambio climático	El Mostrador

4.3.3. Redes Sociales

Durante el desarrollo del proyecto AdaptaClim se han generado diversas propuestas de posts para ser publicadas en las redes sociales de CEAZA ([Twitter](#), [Facebook](#) e [Instagram](#)), etiquetando a la [Seremi de Medio Ambiente Coquimbo](#) y otras instituciones implicadas. Los hitos comunicacionales han sido los posts para dar a conocer el proyecto, el Día de la Mujer (que permitió destacar a las científicas que participan en *AdaptaClim*) y la difusión del informe IPCC, como base para reforzar la iniciativa regional.

4.3.4. Cápsulas Audiovisuales.

Con el objetivo de contar con material audiovisual que permitiera crear conciencia sobre las amenazas ambientales en la Región de Coquimbo y a la vez dar a conocer el trabajo para la adaptación al cambio climático, se realizaron tres cápsulas audiovisuales. Los videos han sido difundidos en redes sociales y otras instancias por parte de CEAZA y el Ministerio de Medio Ambiente. Cada cápsula está vinculada a alguno de los sectores de análisis. Los links quedarán vinculados a la cuenta de YouTube del Ministerio de Medio Ambiente.

Sector	Link de acceso (MMA)
Biodiversidad + Ciudad e Infraestructura	https://www.youtube.com/watch?v=ak7vlhZnmnQ
Agua y Suelo	https://www.youtube.com/watch?v=uF1yjMI7HIk
Zona Costera	https://www.youtube.com/watch?v=f4iiZWgc5yA

4.3.5. Podcasts

Para profundizar en los contenidos del proyecto y ampliar los canales de difusión, se han generado tres podcasts radiales los cuales están publicados en la plataforma SPOTIFY.

Sector	Link de acceso
Biodiversidad + Ciudad e Infraestructura	SPOTIFY
Agua y Suelo	SPOTIFY
Zona Costera	SPOTIFY

Para mayor detalle e información sobre la Actividad 3 (Capacitación y Difusión), ver **Anexo III**.



5. Conclusiones

5.1. Brechas

Durante la construcción de las cadenas de impactos para los cuatro sectores 'Biodiversidad', 'Ciudad e infraestructura', 'Zona costera' y 'Agua y suelo' se identificaron diversas brechas las cuales son detalladas a continuación para cada sector y, en muchas ocasiones, para cada componente del riesgo.

Para el **sector biodiversidad y ciudad e infraestructura** (específicamente para las cadenas de impactos que abordaron el aumento de la presencia de medusas y fragata portuguesa en la región de Coquimbo) y para el componente de *amenaza*, se observa que las proyecciones de cambio en la temperatura superficial del mar son de baja resolución espacial. A esto se añade que no existe información de resolución adecuada para otros estresores climáticos (e.g. oxígeno, acidificación), variables ambientales que modulan la presencia de especies y patrones de migración de estas a lo largo de la costa. Para el componente de *exposición* se determina que una de las principales brechas es que las bases de datos de ocurrencias de especies son incompletas, estando no disponibles para muchas taxas a lo que se suma que las actuales bases presentan importantes vacíos y sesgos. Para el componente de *sensibilidad* se determina que un importante sesgo es que el indicador 'densidad poblacional' es de uso demasiado general no recogiendo todo el espectro potencial de fuentes de sensibilidad que pueden modular el riesgo. Por último, para el componente *capacidad adaptativa* se determina que la efectividad de las AMPs ha sido cuestionada, y que el uso de recursos públicos a municipios no refleja necesariamente la real capacidad adaptativa frente a las amenazas climáticas, existiendo potenciales otras fuentes de las que al día de hoy no existen datos.

Para el **sector ciudad e infraestructura** (cadena que abordó cambios en el suministro de agua en SSRs), la principal brecha identificada está asociada con el acceso a información relevante que permita comprender la operación de los SSRs de la región. La dispersión de la información, las diferentes escalas de trabajo y la actualización de ella, pueden ser un limitante a la hora de realizar análisis para el desarrollo de estrategias de intervención territorial para cada SSR. Se debe considerar la estandarización de la información relevante, las escalas de trabajo y la relación inter instituciones para este proceso. En esta misma línea, disponer de datos de producción y niveles de pozo de manera actualizada y con series temporales largas, aportarían para proyectar la dinámica entre la oferta de agua y el comportamiento desde la oferta (aguas subterráneas).

Para el **sector agua y suelo**, durante el levantamiento de los indicadores, se identificó como brecha la cantidad y acceso a la información y bases de datos. Por ejemplo, contar y acceder con mayor facilidad a información edafoclimática de cada plantación, o uso del tipo de patrones para injertos, permitiría contar con indicadores que maximizarían la evaluación del riesgo.

Para el **zona costera** se identificaron las siguientes brechas por cada uno de los componentes de riesgo:

- *Amenazas*
 - Para estimar la pérdida de desembarque de la pesquería artesanal de la macha, se utilizó la Temperatura Superficial del Mar (TSM), sin embargo, este organismo bentónico está más expuesto a la temperatura del fondo marino por lo cual el ideal sería utilizar dichos valores de temperatura. Sin embargo, no se tienen mediciones que permitan validar el realismo de los modelos regionales y globales para representar la temperatura del fondo marino.
 - No se cuenta con observaciones oceanográficas de las corrientes verticales en la región de estudio, lo cual dificulta la verificación y validaciones de los datos de surgencia en los modelos globales y regionales. CEAZA se encuentra realizando mediciones que permitirán a futuro verificar la congruencia de los resultados de los modelos globales *CMIP5* y regional *CROCO*.
- *Exposición*
 - Actualmente, se utiliza la información proporcionada por SERNAPESCA, que engloba todos los pescadores artesanales inscritos por AMERB. Este dato no es indicativo de los pescadores que efectivamente están realizando la actividad de pesquería artesanal de macha, ya que no todos los inscritos ejercen, e incluso hay pescadores que se inscriben en más de una AMERB. Por tanto, el dato usado en el estudio es una aproximación.
 - Se utilizaron diferentes periodos para calcular el desembarque del recurso macha, debido a que las AMERBs poseen diferente antigüedad, y algunas de ellas presentan periodos sin actividad.



- No se definen brechas, pero para obtener la información actualizada de las empresas/organizaciones acuícolas se corroboraron fuentes de información entregadas por SERNAPESCA Región de Coquimbo y la información pública en el visor de SUBPESCA. Se necesitaron algunas reuniones internas con SERNAPESCA, para obtener varias aclaraciones, ya que el visor en algunos aspectos no posee información actualizada, lo que generó incongruencias entre las diferentes fuentes de información consultadas
- o **Sensibilidad**
 - Los periodos con datos disponibles son variables entre AMERB, debido a la antigüedad, a periodos sin actividad en las AMERB, entre otros factores.
 - Aquellos indicadores que incorporan información sobre el cierre de puertos solo indican el inicio del cierre de puerto, pero no su duración o fecha final. Es por ello, que se tuvo que asumir la duración de 1 día por cada evento de cierre de puerto. Además, hasta 2020 no se separa el cierre de puerto entre Bahía de Tongoy y Bahía de Guanaqueros, por lo que también se tuvo que asumir que los cierres de puerto entre 2008 hasta 2019 se aplicaron en ambas localizaciones por igual
 - Se utilizó la concentración de concesiones (área concesiones con respecto a área total de las Bahías). Sin embargo, en primera instancia, se propuso un indicador de concentración de linternas por concesión. Al no existir este dato en ninguna base de instituciones públicas, se descartó el uso de este indicador
- o **Capacidad adaptativa**
 - Necesidad de actualizar información que alimenan los indicadores de capacidad adaptativa con información a partir de 2020.
 - Durante el diseño de la cadena de impacto, se incorporó el indicador de capacidad adaptativa "Cumplimiento de seguimiento en AMERBs", vinculado a las infracciones por extracción de macha. Sin embargo, debido a la imposibilidad de obtener el dato de infracción según el origen de las machas (unidad de análisis – AMERB), se decidió eliminar este indicador.
 - Se utilizó un solo indicador en capacidad adaptativa, pero en el futuro será necesario levantar más indicadores que permitan analizar de forma integral este componente

5.2. Desafíos y recomendaciones

La evaluación de riesgos en el futuro para los cuatro sectores aquí abordados presenta los siguientes desafíos.

Para el sector biodiversidad y ciudad e infraestructura (medusas y fragata portuguesa) se recomienda

- o Generación de nuevas capas de información a partir de modelos de alta resolución ad-hoc para la región. Proyecto CLAP-CEAZA está desarrollando estos productos.
- o Realizar compilaciones y digitalización de información de ocurrencias georeferencias de especies marinas, y alojarlas en repositorios de uso público como OBIS.
- o generar mapas de uso del borde costero con índices que cuantifiquen diferentes actividades humanas (e.g., pesca, contaminación, recreación)
- o Impulsar la implementación de un plan de administración de la Reserva Pingüino de Humboldt.
- o Impulsar la creación de la AMPCMU de la Higuera
- o Evaluar otros indicadores de financiamiento y gestión municipal

Para el sector ciudad e infraestructura (suministro de agua en SSRs) se identifican los siguientes desafíos

- o Incorporación tecnológica para el monitoreo de pozos en tiempo real acompañado de los niveles de producción de cada SSR, aportando con ello a la gestión de del SSR para asegurar la continuidad del abastecimiento.
- o Fortalecimiento de capacidades técnicas de los equipos SSR, en temáticas de registros de datos, monitoreo de fuentes, operación general, monitoreo de calidad de agua, entre otros.
- o Implementación y/o fortalecimiento de equipos técnicos comunales para el acompañamiento y resolución de problemas de operación en los SSR, para asegurar la continuidad del abastecimiento de agua.



- Desarrollo de planes de intervención territoriales, que apunten al levantamiento de brechas comunes para los SSR del territorio, de manera de reducir la incertidumbre en el acceso al agua en las áreas de cobertura de cada sistema.

El principal desafío para el **sector agua y suelo** es poder mejorar la capacidad adaptativa frente a las amenazas climáticas evaluadas. Por ejemplo:

- Maximizar el acceso y uso eficiente del agua, continuando con el incentivo al uso de riego tecnificado.
- Diversificar las fuentes de agua, incentivando la cosecha de agua de fuentes no convencionales (ej: cosecha y uso de niebla).
- Potenciar y facilitar la interacción entre ciencia e industria en búsqueda de soluciones relacionadas a la mejora del rendimiento y uso del agua de variedades de uva pisquera frente a condiciones de estrés por alta temperatura y déficit hídrico.

Para el **sector zona costera** se identifican los siguientes desafíos para cada uno de los componentes del riesgo: Para las cadenas de impactos relacionadas con pérdida de desembarque del recurso macha:

- **Amenazas:**
 - Para estimar la pérdida de desembarque de la pesquería artesanal de la macha, se utilizó la Temperatura Superficial del Mar (TSM) y las proyecciones de cambio de esta variable en los modelos globales CMIP5, sin embargo, este organismo bentónico está más expuesto a la temperatura del fondo marino y adicionalmente ya se encuentran disponibles las proyecciones de los modelos globales CMIP6, por lo cual repetir el ejercicio con estas consideraciones resulta necesario.
 - Se considera necesario repetir los análisis utilizando los resultados de los modelos globales CMIP6 en conjunto con el modelo regional CROCO. Este último debería validarse con observaciones in-situ de corrientes verticales de surgencia.
- **Exposición**
 - Para obtener la cantidad de pescadores artesanales de macha expuestos a la pérdida de la pesquería, es necesario realizar un estudio que cuantifique de forma precisa los pescadores que actualmente están involucrados en esta actividad extractiva (incluido datos segregados por género). Para ello, se propone la realización de visitas en terreno a cada una de las AMERB con el fin de mantener reuniones con las directivas de estas organizaciones para obtener la información precisa.
 - Definir o generar un indicador con grupo de expertos que permita unificar o dar peso a este indicador en relación con los años de operación u otros factores que se determinen relevantes
 - Sería óptimo que la información que actualmente se encuentra pública, por ejemplo, en el visor de SUBPESCA, esté actualizada, con el fin de que los usuarios puedan trabajar con los últimos datos obtenidos por la institucionalidad pública.
- **Sensibilidad**
 - Los indicadores que conforman la componente sensibilidad se extrajeron de los informes ITA de SERNAPESCA/SUBPESCA, que son entregados en formato pdf a través de transparencia. En el futuro para una mayor agilidad en el cálculo de indicadores, por ejemplo, a la hora de actualizar el riesgo, sería óptimo que esta información esté consolidada en SERNAPESCA en más formatos (.xlsx, .csv, .txt).
 - Obtener datos de cierre de puerto separados para cada una de las localizaciones en análisis y con la duración completa de cada evento.
 - Utilizar el indicador de concentración de linternas, con el fin de obtener una mayor precisión en la carga acuícola de cada Bahía en análisis
- **Capacidad adaptativa**
 - Generar talleres de expertos para definir el peso que posee este indicador
 - SERNAPESCA realiza esfuerzos de fiscalización de la extracción de macha (ilegal, fuera de tamaño). Sería óptimo incluir un indicador de capacidad adaptativa de “Cumplimiento de seguimiento en AMERBs”, asociado a la capacidad de organización interna y gobernanza de las organizaciones de pescadores artesanales, y que este pueda ser diferenciado por unidad de análisis-AMERB. Por otro lado, también es importante añadir un indicador de pesca ilegal, datos que SERNAPESCA también está comenzando a recopilar, asociado a cada AMERB
 - Generar grupos de expertos para definir el peso de los indicadores



- Se propone añadir en un futuro un indicador sobre los programas de diversificación acuícola asociada a la nueva Ley de Caletas y la Acuicultura a Pequeña Escala. Al ser nuevas ambas iniciativas, aún no existe suficiente información consolidada para aplicar en el cálculo de indicadores de riesgo

6. ANEXO

- 6.1. Anexo I – Cálculo de Amenazas e indicadores
- 6.2. Anexo II – Instancias Participativas y Talleres
- 6.3. Anexo III – Difusión y Comunicación
- 6.4. Anexo IV – Cadenas de Impacto





Citar como: Ramajo L., Goubanova, K., Rivadeneira, M., Astudillo, O., Ostría, E., Valladares, M., Ortiz, J.L., Barraza, J., Torrez, L., Barrera, S., Piña, B., Arthur, J., Gallardo, M. de los A., Martínez, M.L., Ramírez, J., Guerrero J., & Zavala, M. (2022). *AdaptaClim: Indicadores Climáticos para la Adaptación en la Región de Coquimbo*. Proyecto ejecutado por el Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA) para el Ministerio de Medio Ambiente de Chile (MMA) a través GEF (Global Environment Facility) y PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente), Coquimbo, Chile. 112 páginas. DOI: 10.6084/m9.figshare.20399202

