

Evidencias del cambio climático en Chile

Un libro para educarnos y afrontar los desafíos para adaptarse



Evidencias del cambio climático en Chile

Un libro para educarnos y afrontar los desafíos para adaptarse

Evidencias del cambio climático en Chile

Un libro para educarnos y afrontar los desafíos para adaptarse

Jaime A. Cursach Valenzuela

Claudio N. Tobar

Francisco Araos Leiva

Autores:

Jaime A Cursach Valenzuela

Investigador postdoctoral en el Centro de Estudios del Desarrollo Regional y Políticas Públicas (CEDER), de la Universidad de Los Lagos, Osorno, Chile. También es Director científico de la Fundación Conservación Marina, Puerto Montt, Chile.

Claudio N. Tobar

Investigador asociado del Centro Bahía Lomas de la Universidad Santo Tomás, Chile.

Francisco Araos Leiva

Centro de Estudios del Desarrollo Regional y Políticas Públicas (CEDER), de la Universidad de Los Lagos, Osorno, Chile.

Diseño y Diagramación:

Felipe Recondo Celak

Ilustraciones todos los derechos reservados
www.weraunum.cl



Como citar esta obra:

Cursach, J. A., Tobar, C. N., & Araos, F. (2023). Evidencias del cambio climático en Chile. Un libro para educarnos y afrontar los desafíos para adaptarse. Centro de Estudios del Desarrollo Regional y Políticas Públicas (CEDER), de la Universidad de Los Lagos. Osorno, Chile.



PRESENTACIÓN

Este libro, dirigido a lectores(as) interesados(as) en el medio ambiente de Chile, da a conocer los principales resultados obtenidos por estudios científicos que reportan indicadores locales del cambio climático en el país. Debido a su carácter conciso sólo se describen los cambios ambientales contemporáneos, incluyendo observaciones locales de cambio climático e impactos observados sobre los sistemas biofísico y social en Chile.

En la sección **Revisión bibliográfica** sobre observaciones empíricas del cambio climático en Chile, se describe la metodología que se utilizó para reunir, seleccionar y analizar la información con la cual se elaboró este libro.

En la sección **Introducción** se define lo que es el cambio climático y sus principales alcances. También se explica el orden con el cual se entrega el contenido educativo de este libro.

En la sección **Evidencias del cambio climático en Chile**, se muestran los indicadores locales de cambio climático identificados para el país, clasificándolos en función de la metodología LICCI y señalando la fuente bibliográfica que respalda la evidencia científica.

En la sección **Literatura científica**, se entrega un listado con las referencias bibliográficas de los estudios utilizados como fuente de información para este libro.

Esperamos que este libro sea una herramienta que acerque a la ciudadanía con la observación local del cambio climático y sus impactos sobre los sistemas socio-ecológicos, además de contribuir al debate de las acciones humanas que afectan negativamente al medio ambiente.



REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA SOBRE OBSERVACIONES EMPÍRICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN CHILE

Con la intención de generar contenidos educativos para la sensibilización y comunicación de los impactos del cambio climático en Chile, el objetivo del presente trabajo fue realizar un diagnóstico sobre el estado del conocimiento de cambios ambientales contemporáneos en el país, mediante revisión bibliográfica de literatura científica. Durante junio 2022, se realizó una búsqueda de los estudios publicados sobre indicadores locales de cambio climático y ambiental en Chile, en diferentes bases de datos científicas. Se leyó el resumen y literatura citada de todos los trabajos, seleccionando aquellos que reportan cambios ambientales contemporáneos en Chile, descartando estudios basados en paleohistoria, simulaciones o modelos climáticos.

Adaptando la metodología LICCI (OpenTEK)¹, a cada artículo se le preguntó: ¿Qué cambió?, ¿Dónde ocurrió?, ¿Por qué ocurrió?, ¿Desde cuándo está ocurriendo?, Se han realizado acciones o medidas para adaptarse a estos cambios? LICCI, es la sigla en inglés de “Local Indicators of Climate Change Impacts”, proyecto de investigación que propone una clasificación jerárquica de los impactos del cambio climático².

¹ <https://hackmd.io/@opentek/bienvenida>

² <https://licci.eu/resources/licci-tree/interactive/>



Se recopilaron 71 artículos científicos, publicados entre los años 1997 y 2022. La mayoría de estos estudios basó sus resultados en análisis estadísticos de tendencia y series de tiempo de información obtenida en estaciones meteorológicas y mediciones de campo. Otros se basaron en la evaluación de percepciones locales y el estudio del conocimiento ecológico local y tradicional.

En total, se identificaron 86 indicadores de cambio climático en Chile, distribuidos a lo largo de todo el país. Basado en la cantidad de estudios publicados por cada indicador, los principales elementos impactados por el cambio climático en Chile, son: la temperatura del aire, la lluvia o precipitación, la sequía, la disponibilidad de agua dulce, la nieve y glaciares, la desertificación, la vegetación a escala de paisajes, y la calidad de vida del ser humano.

INTRODUCCIÓN

Existe un amplio consenso científico en que el fenómeno del cambio climático es un hecho real, definido como los cambios en el clima de la tierra producto de la actividad humana.

Los(as) científicos(as) expertos(as) sobre el cambio climático reconocen la relación entre los cambios del clima y diferentes fenómenos globales y locales, como la pérdida de la biodiversidad, la contaminación, el aumento de desastres naturales, las desigualdades socioeconómicas, entre otras. La atmósfera y el océano se han calentado, los volúmenes de nieve y hielo han disminuido, el nivel del mar se ha elevado y las concentraciones de gases de efecto invernadero han aumentado.

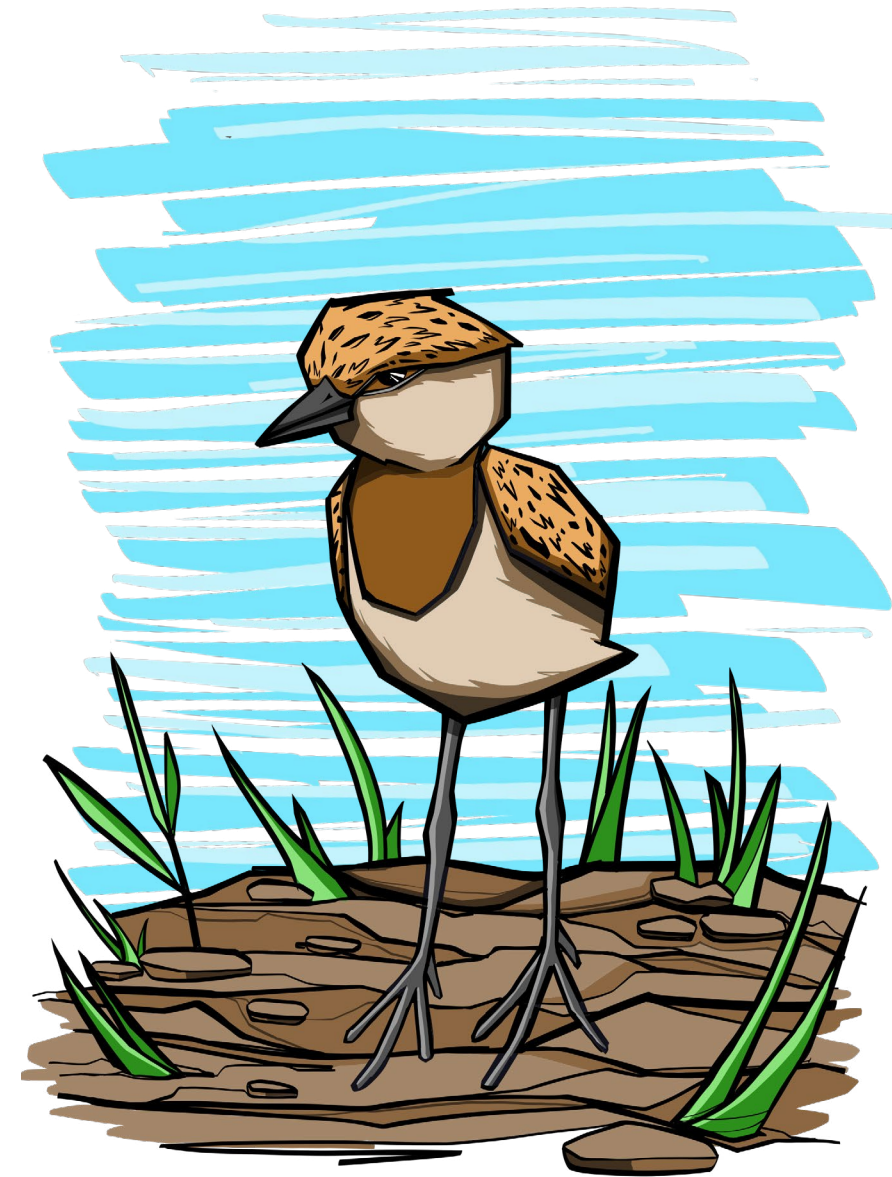
Los impactos del cambio climático se manifiestan de diferentes formas, escalas y dimensiones, variando según los distintos contextos sociales, ecológicos y económicos locales. La resiliencia es la capacidad de las personas o comunidades para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse frente a las perturbaciones que ocurren en su entorno, como el cambio climático, y da la oportunidad para una transformación más profunda de nuestras sociedades.

Este libro de divulgación científica, reúne e interpreta el conocimiento científico sobre el cambio climático en Chile y lo hace accesible para las personas interesadas en entender o informarse sobre este tipo de conocimiento. Para esta labor, tendremos la compañía de nuestra amiga Kiri, la Queltewe.



PRESENTACIÓN DE KIRI

Kiri es un ave de la especie Queltewe, también conocidos(as) como Treile y Tero, su nombre científico es *Vanellus chilensis*. Esta es una de las especies de aves más abundante de América del Sur, habitando desde la Patagonia austral hacia Bolivia, Paraguay, Brasil, Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, e incluso Costa Rica.

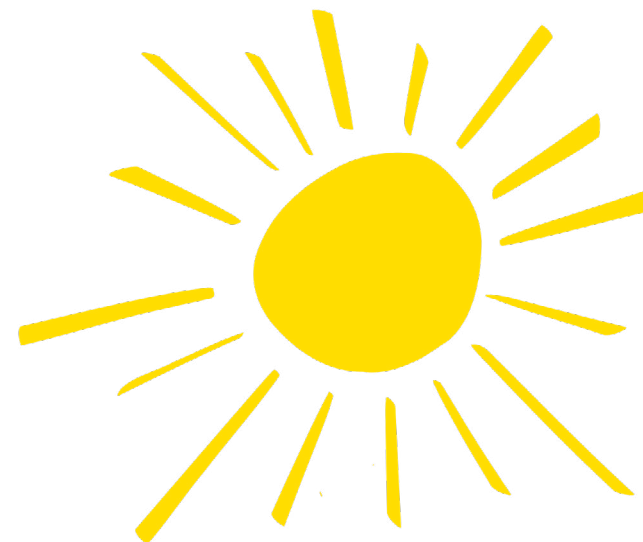


El nombre Queltewe es originario y significa “Guardián avisador”, dada su conducta de escuchar y entregar los mensajes y parabienes. Buen tiempo, buenas siembras, buenas cosechas y animales, corean largos cantos a manera de oración, siempre curiosos de lo que sucede en todas partes ³

En su extenso territorio, los(as) Queltewe presencian los diferentes cambios ambientales que ocurren y mantienen vigilancia de lo que está sucediendo. Por eso, Kiri, es nuestra compañía perfecta para conocer los principales elementos impactados por el cambio climático en Chile y las sugerencias para mejorar nuestra resiliencia.

³ Aillapan Cayuleo, Lorenzo. 2007. Ññümche Hombre Pájaro. Pehuén Editores. Santiago, Chile.

SITUACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN CHILE



A continuación, Kiri te mostrará los principales elementos impactados por el cambio climático en Chile, junto con algunas sugerencias para mejorar nuestra resiliencia.

Cambios en la temperatura del ambiente

- La temperatura es el grado de calor o nivel térmico de la atmosfera-
- Durante las últimas décadas, se ha observado un aumento progresivo de la temperatura promedio del aire, en la mayor parte del país.

Cambios en la lluvia o precipitación

- La lluvia es el agua que cae desde las nubes-
- Durante las últimas décadas, se ha observado una disminución progresiva del promedio de lluvias, en gran parte del país.



Cambios en la sequía

-La sequía es un periodo de tiempo donde las lluvias son escasas o bien los caudales naturales de los ríos o volúmenes embalsados están debajo de lo normal-

-En este periodo se produce sequedad en los campos y la cantidad de agua no es suficiente para abastecer la demanda de los seres vivos (hongos, vegetales, animales y habitantes) de la región afectada-

-Durante la última década y especialmente en la zona central del país, se ha observado una intensa y prolongada sequía, que los(as) científicos(as) han llamado la Mega-sequía de Chile central.

Cambios en la disponibilidad de agua dulce

-El agua es un elemento vital para nuestra vida y la de todos(as) los seres vivos-

-No se trata tan solo de la necesidad de beber, de hidratarse, sino que el agua es reguladora de los ecosistemas terrestres, manteniendo el equilibrio necesario para la subsistencia animal, funga y vegetal-

-Durante las últimas décadas, se ha registrado una disminución progresiva de la disponibilidad de agua dulce en gran parte del país, observando cambios en el caudal, volumen y nivel del agua en ríos, el nivel del agua en lagos, también en el nivel freático-

-Esta disminución de la disponibilidad de agua dulce, se relaciona además con el aumento de la contaminación y sedimentación de orillas y fondo de ríos, lagunas, embalses y lagos.

Cambios en la nieve y glaciares

-La nieve es la precipitación en forma de pequeños cristales de hielo que cae desde las nubes y se agrupan hasta llegar a la superficie terrestre en forma de copos de nieve, los cuales se agrupan creando capas que se acumulan en la cordillera de Los Andes-

-Por encima del nivel de las nieves perpetuas, en zonas elevadas, se encuentran los glaciares, que son grandes masas de hielo que descienden lentamente hasta niveles inferiores, como si fuese un río de hielo-

-Durante las últimas décadas, a lo largo del país, se ha observado una disminución progresiva de la cantidad de nevadas, de la duración de la capa de nieve temporal y la extensión de glaciares.

Cambios en la desertificación

-La desertificación es la degradación del suelo en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas ocasionada por distintos factores, como las variaciones climáticas y las actividades humanas-

-Esta degradación del suelo consiste en el deterioro de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, la erosión causada por el viento o el agua, y la pérdida duradera de la vegetación natural-

-Durante las últimas décadas y especialmente en la zona central del país, se ha observado un aumento de la desertificación del suelo.

Cambios en la vegetación de paisajes

-La vegetación nativa boscosa y arbustiva, en su amplia biodiversidad, proporciona hábitat y alimentos para distintas especies de flora, fauna y hongos, como así también diferentes beneficios ambientales como la depuración y almacenamiento de agua dulce en un paisaje

-Durante las últimas décadas, se ha observado una disminución progresiva de la vegetación nativa de diferentes paisajes en Chile. Esto principalmente por el intenso desarrollo de la industria forestal de monocultivos de pinos y eucaliptus, y la poca representatividad de áreas naturales protegidas en los paisajes.

Incendios forestales

-Desde una perspectiva de historia natural, los incendios originados por causas naturales son poco frecuentes en Chile, por tal, la flora y vida en lo paisajes ha evolucionado sin incendios-

-La creciente superficie de plantaciones forestales ha aumentado la presencia de pinos y eucaliptus en paisajes de Chile, estos árboles provienen de otras regiones del mundo en donde han evolucionado con incendios de origen natural-

-Además del material combustible, estas especies de árboles concentran información y memoria genética de incendios, potencial de expresarse naturalmente en los paisajes de Chile-

-Durante las últimas décadas y especialmente en la zona central del país, se ha observado un aumento de la frecuencia e intensidad de incendios forestales.

Cambios en la calidad de vida humana

-La calidad de vida es un conjunto de factores que da bienestar a una persona, tanto en el aspecto material como en el emocional-

-Es un sentimiento de satisfacción con la vida en general, un aceptable estado de salud físico, mental y social-

-La naturaleza brinda beneficios ambientales que influyen de manera positiva sobre la autoestima, una mejor salud mental, mayores niveles de bienestar, el afrontar mejor la toma de decisiones y la resolución de problemas-

-Durante las últimas décadas, a lo largo del país, se ha registrado la disminución o degradación de la calidad de vida y bienestar de personas y comunidades afectadas por el cambio climático y sus impactos-

-Esto principalmente a la salud física y mental, como también a aspectos educativos, socioeconómicos y culturales.



¿QUÉ ACCIONES PODEMOS REALIZAR PARA ADAPTARNOS A ESTOS CAMBIOS EN EL AMBIENTE?

- Ser más eficientes y responsables con el uso cotidiano del agua.
- Ser más conscientes y responsables con los residuos y desechos generados día a día.
- Ser más eficientes y responsables con el uso cotidiano de energías (bencina, electricidad, leña, etc.).
- Reforestar con vegetación nativa (arbórea y arbustiva).
- Promover la restauración ecológica de áreas verdes o espacios de uso común, tanto en lo urbano como en la ruralidad.



- Cuidar y restaurar la franja boscosa nativa en las riberas de ríos, lagos, lagunas y embalses.
- Apoyar las iniciativas locales de conservación de la naturaleza y su biodiversidad.
- Mantener vigilancia y denunciar las acciones que involucren daño ambiental.
- Participar en actividades ciudadanas y vecinales que fomenten la adaptación local al cambio climático.
- Sumarse al monitoreo de indicadores locales de cambio climático.

EVIDENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN CHILE

A continuación, se entregan los indicadores locales de cambio climático en Chile, identificados mediante la presente revisión de literatura científica y clasificándolos en función de la metodología LICCI. Para cada sistema (climático, físico, biológico, humano) y sus subsistemas, se identifican indicadores locales para los diferentes elementos impactados del medio ambiente, señalando la fuente bibliográfica que respalda la evidencia científica.

1) Sistema climático:

Elemento impactado:	Indicador local	Fuente
Temperatura media	Cambios en la temperatura media	Rosenbluth et al. (1997), Aceituno et al. (2007), Carrasco et al. (2008), Falvey & Garreaud (2009), Souvignet et al. (2012), Sarricolea & Romero (2015), Díaz-Arellano et al. (2018), Díaz et al. (2018), Novoa et al. (2019a), Novoa et al. (2019b), Sapiains et al. (2019), Banwell et al. (2020), Mendes et al. (2020)
	Cambios en la intensidad del sol	Novion & Estrada (2011)
	Cambios en la temperatura asociados con la elevación	Falvey & Garreaud (2009)
	Cambios en la frecuencia de días calurosos	Souvignet et al. (2012)

Elemento impactado:	Indicador local	Fuente
Temperatura extremas	Cambios en la frecuencia de olas de calor	Inostroza et al. (2016a)
	Cambios en la intensidad de olas de calor	Aceituno et al. (2007), Inostroza et al. (2016a)
	Cambios en la intensidad de heladas o escarcha	Novion & Estrada (2011)
Precipitación media	Cambios en el número de días lluviosos	Sapiains et al. (2019)
	Cambios en el promedio de lluvia	Aceituno et al. (2007), Carrasco et al. (2008), Pellicciotti et al. (2008), Favier et al. (2009), LeQuesne et al. (2009), Novion & Estrada (2011), Cortés et al. (2011), Schulz et al. (2011), Souvignet et al. (2012), Quintana & Aceituno (2012), Garreaud et al. (2013), Valdés-Pineda et al. (2014), Sarricolea & Romero (2015), Boisier et al. (2016), Garreaud et al. (2017), Sarricolea et al. (2017), Díaz-Arellano et al. (2018), Díaz et al. (2018), Novoa et al. (2019a), Novoa et al. (2019b), Banwell et al. (2020)

Precipitaciones extremas	Cambios en la frecuencia de eventos de fuerte lluvia	Sarricolea & Romero (2015), Parraguéz-Vergara et al. (2016)
	Cambios en la frecuencia de inundaciones repentinas	Ebert et al. (2010)
Distribución, variabilidad y predictibilidad de la lluvia	Cambios en la frecuencia de períodos de sequía	Aldunce et al. (2017), Garreaud et al. (2017), Garreaud et al. (2019), Novoa et al. (2019a), Fuentes et al. (2021)
Sequía	Cambios en la frecuencia de eventos de sequía	Garreaud et al. (2017), Garreaud et al. (2019), Novoa et al. (2019a), Banwell et al. (2020), Fuentes et al. (2021), Gajardo-Rojas et al. (2022), Reyes-García et al. (2022)
	Cambios en la duración de la sequía	Young et al. (2010), Garreaud et al. (2017), Garreaud et al. (2019), Novoa et al. (2019a), Novoa et al. (2019b), Gajardo-Rojas et al. (2022)

Sequía	Cambios en la intensidad de la sequía	Aldunce et al. (2017), Garreaud et al. (2017), Garreaud et al. (2019), Novoa et al. (2019a), Banwell et al. (2020), Reyes-García et al. (2022)
Nubes y niebla	Cambios en la frecuencia de niebla o días brumosos	Schulz et al. (2011)
	Cambios en la frecuencia de días nublados	
Duración y ritmo de las estaciones	Cambios en el ritmo (comienzo o término) de las estaciones	Sapiains et al. (2019), Carmona (2022)
	Cambios en la duración de las estaciones	Sapiains et al. (2019), Carmona (2022)
Cambios en la temperatura estacional	Cambios en la temperatura media de una estación dada	Novion & Estrada (2011), Souvignet et al. (2012), Banwell et al. (2020)
Viento	Cambios en la dirección del viento	Garreaud et al. (2013)
	Incrementa la elevación de la isoterma	Carrasco et al. (2005), Carrasco et al. (2008)

	Cambios en la frecuencia de tormentas de viento	Parraguéz-Vergara et al. (2016)
	Cambios en la temperatura del viento	Garreaud et al. (2013)

2) Sistema físico:

Elemento impactado:	Indicador local	Fuente
Temperatura del mar	Cambios en la temperatura superficial del mar	Sapiains et al. (2019)
Aumento del nivel del mar	Cambios en el nivel de mareas	Sapiains et al. (2019)
Caudal medio del río	Cambios en caudal y volumen de agua en ríos	Pellicciotti et al. (2008), Favier et al. (2009), Rubio-Álvarez & McPhee (2010), Cortés et al. (2011), Aldunce et al. (2017), Garreaud et al. (2017)
	Cambios en nivel del agua en ríos	
Inundaciones de ríos y lagos	Cambios en la frecuencia de inundaciones	Ebert et al. (2010), Muller et al. (2011)
	Cambios en la extensión del área de inundación por ríos	Parraguéz-Vergara et al. (2016)
	Cambios en la superficie de humedales	Aldunce et al. (2017)

Disponibilidad/calidad de agua dulce	Cambios en la disponibilidad de agua dulce	Young et al. (2010), Parraguéz-Vergara et al. (2016), Aldunce et al. (2017), Garreaud et al. (2019), Novoa et al. (2019b), Carmona (2022)
	Cambios en la contaminación de agua dulce	Pino et al. (2015), Aránguiz-Acuña et al. (2020), Almonacid & Araos (2021)
Nivel del lago	Cambios en nivel del agua de lagos	Pino et al. (2015), Aldunce et al. (2017), Garreaud et al. (2017), Díaz-Arellano et al. (2018)
Erosión y sedimentación de orillas de ríos, lagunas/tranques	Cambios en la frecuencia de erosión de orillas de ríos, lagunas/tranques	Parraguéz-Vergara et al. (2016), Vargas et al. (2019)
	Cambios en la intensidad de sedimentación de orillas de ríos, lagunas/tranques (y también del fondo de ríos y lagos)	Parraguéz-Vergara et al. (2016), Garreaud et al. (2017), Vargas et al. (2019), Aránguiz-Acuña et al. (2020)
Agua freática / subterránea	Cambios en el nivel freático	Garreaud et al. (2017), Scheihing (2018), Garreaud et al. (2019)
	Cambios en la velocidad de recarga de acuíferos	Garreaud et al. (2019)

Humedad del suelo	Cambios en lluvia que induce erosión y pérdida de suelo	Ebert et al. (2010)
	Cambios en la frecuencia de deslizamiento de tierra	
	Cambios en la intensidad de deslizamiento de tierra	
	Cambios en desertificación del suelo	Young et al. (2010), Huaico Malhue et al. (2011), Aldunce et al. (2017)
Propiedades edáficas (fertilidad, estructura y biología)	Cambios en la humedad del suelo, sequedad	Young et al. (2010), Aldunce et al. (2017)
	Cambios que conducen a la degradación del suelo	Aldunce et al. (2017), Montoya-Tangarife et al. (2017), Díaz et al. (2018)
Nevadas y capa de nieve	Cambios en la productividad del suelo	Aldunce et al. (2017)
	Cambios en la cantidad de nevadas	Novion & Estrada (2011), Parraguéz-Vergara et al. (2016), Aldunce et al. (2017)
	Cambios en la elevación de la línea de nieve	Carrasco et al. (2005)

	Cambios en la duración de la capa de nieve temporal	Parraguéz-Vergara et al. (2016), Aldunce et al. (2017), Garreaud et al. (2017)
Glaciares	Cambios en la extensión de glaciares	Casassa et al. (1997), Aniya et al. (1999), Rivera & Casassa (1999), Rivera et al. (2000), Carrasco et al. (2005), Rabassa (2007), Bown et al. (2008), Carrasco et al. (2008), Favier et al. (2009), LeQuesne et al. (2009), Rabatel et al. (2011), Rivera et al. (2012)
Calidad del aire	Cambios en la contaminación del aire	Pino et al. (2015)

3) Sistema biológico:

Elemento impactado:	Indicador local	Fuente
Distribución de especies marinas (rango de hábitat)	Cambios en la distribución de especies marinas	Sapiains et al. (2019)
Abundancia de especies de agua dulce	Cambios en la abundancia de animales de agua dulce excluyendo peces (mamíferos, aves, anfibios, reptiles, crustáceos)	Aldunce et al. (2017)
	Cambios en la abundancia de peces de agua dulce	Aldunce et al. (2017), Almonacid & Araos (2021)
	Desaparición de especies de agua dulce	Aldunce et al. (2017), Almonacid & Araos (2021)
Composición de especies de agua dulce	Cambios en la composición de especies de agua dulce	Aldunce et al. (2017), Aránguiz-Acuña et al. (2020)

Especies de agua dulce exóticas invasoras	Cambios en la abundancia u ocurrencia de especies de agua dulce declaradas como invasoras	Almonacid & Araos (2021)
Abundancia de fauna terrestre	Cambios en la abundancia de animales terrestres (mamíferos, aves, reptiles, insectos, etc)	Aldunce et al. (2017), Carmona (2022)
Distribución (rango de hábitat) de la flora silvestre (fungi plantas arbustos arboles)	Cambios en la distribución de plantas silvestres y especies fungi	Parraguéz-Vergara et al. (2016)
Abundancia de flora terrestre (excluyendo especies madereras y PFNM spp)	Cambios en la abundancia de plantas silvestres y especies fungi	Aldunce et al. (2017), Carmona (2022)
	Cambios en el tipo de vegetación	Aldunce et al. (2017), Garreaud et al. (2019), Carmona (2022)

Productividad y calidad de flora silvestre	Cambios en la productividad de especies de plantas silvestres	Glade et al. (2016)
Especies de flora exóticas invasoras	Cambios en la abundancia u ocurrencia de especies de flora declaradas como invasoras	Parraguéz-Vergara et al. (2016)
Composición y estructura de especies de bosques madereros	Cambios en la cobertura del bosque	Locher-Krause et al. (2017), Martínez et al. (2018)

Disponibilidad y calidad de especies de bosques madereros	Cambios en la abundancia de especies madereras	Aldunce et al. (2017), Carmona (2022)
	Cambios en la tasa de crecimiento de especies madereras	Venegas-González et al. (2019), Venegas-González et al. (2022)
Degradación de hábitat	Degradación de hábitat	Aldunce et al. (2017), Vargas et al. (2019)
	Pérdida de elementos específicos del paisaje	Aldunce et al. (2017), Inostroza et al. (2016b), Vargas et al. (2019), Mendes et al. (2020)
	Pérdida de biodiversidad	Aldunce et al. (2017)
	Cambio del paisaje	Inostroza et al. (2016b), Aldunce et al. (2017), Mendes et al. (2020)
Incendios forestales	Cambios en la frecuencia de incendios forestales	Díaz-Hormazábal & González (2016), González et al. (2018), Garreaud et al. (2019)
	Cambios en la intensidad de incendios forestales	Díaz-Hormazábal & González (2016), González et al. (2018), Garreaud et al. (2019)

4) Sistema humano:

Elemento impactado:	Indicador local	Fuente
Productividad y calidad de especies cultivadas	Cambios en la productividad/rendimiento de cultivos	Aldunce et al. (2017), Carmona (2022)
	Cambios en el tamaño de frutos de especies cultivadas	Aldunce et al. (2017)
Fenología y reproducción	Cambios en los tiempos de siembra o plantación de cultivos	Aldunce et al. (2017)
	Cambios en la disponibilidad de áreas adecuadas para cultivo	Parraguéz-Vergara et al. (2016), Aldunce et al. (2017)
Distribución y extensión	Cambios en la cobertura o superficie de la agricultura	Fuentes et al. (2021)
Disponibilidad y productividad de praderas	Cambios en la cobertura, superficie o abundancia de praderas	Aldunce et al. (2017), Díaz et al. (2018)

Productividad y calidad de ganado	Cambios en la productividad del ganado (leche, carne, lana, etc)	Young et al. (2010), Aldunce et al. (2017)
Enfermedades humanas	Cambios en la incidencia de enfermedades humanas	Monsalves-Gavilán et al. (2013)
Otras afecciones a la vida humana	Degradación de su calidad de vida y bienestar, principalmente a la salud física y mental, y a aspectos educativos y socioeconómicos.	Novion & Estrada (2011), Infante & Infante (2013), Monsalves-Gavilán et al. (2013), Pino et al. (2015), Welz & Krellenberg (2016), Garreaud et al. (2019), Alfaro & Cortés (2020), Cáceres et al. (2022)
Valores culturales/ espirituales/ identitarios	Cambios en los valores culturales/ espirituales/ identitarios	Parraguéz-Vergara et al. (2016)
Productividad y calidad de la acuicultura	Cambios en la productividad de la acuicultura	Almonacid & Araos (2021)

Productividad y calidad de la apicultura	Cambios en la productividad de la apicultura	Gajardo-Rojas et al. (2022)
Productividad y calidad de la minería	Cambios en la frecuencia de actividades mineras	Aránguiz-Acuña et al. (2020)
Distribución y extensión	Cambios en la cobertura o superficie de las monocultivo forestales	Fuentes et al. (2021)

LITERATURA CIENTÍFICA UTILIZADA

* Aceituno, P., Rosenbluth, B., Boiser, J. P., Quintana, J., & Villarroel, C. (2007). Recent climatic changes on the west coast extratropical region of South America (Chile). pp: 63-72. En: P. Leite da Silva Dias, L. Hidalgo Nunes, & W. Costa Ribeiro (Eds.). A contribution to understanding the regional impacts of global change in South America. Institute of Advanced Studies, University of São Paulo. Brasil.

* Aldunce, P., Araya, D., Sapiain, R., Ramos, I., Lillo, G., Urquiza, A., & René Garreaud, R. (2017). Local perception of drought impacts in a changing climate: The Mega-Drought in Central Chile. Sustainability, 9, 2053; doi:10.3390/su9112053.

* Alfaro, A. A., & Cortés, M. E. (2020). Perception of the impact of climate change on the quality of life and well-being of the inhabitants of the Cerro Blanco Agricultural Community, Limarí Province, Chile. IDESIA, 38, 127-131.

* Almonacid, J. & Araos, F. (2021). Confluencias del río Maullín: modos de vida locales y conservación de la biodiversidad. Revista LIDER, 38(23), 64-90.

* Aniya, M., Naruse, R., Casassa, G., & Rivera, A. (1999). Variations of Patagonian glaciers, South America, utilizing RADARSAT images. En: Proceedings of the International Symposium on RADARSAT Application Development and Research Opportunity (ADRO), Montreal, Canada (Vol. 1315).

* Aránguiz-Acuña, A., Luque, J. A., Pizarro, H., Cerda, M., Heine-Fuster, I., & Valdés, J. (2020). Aquatic community structure as sentinel of recent environmental changes unraveled from lake sedimentary records from the Atacama Desert, Chile. PLoS ONE 15(2): e0229453. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229453>.

*Banwell, N., Stehr Gesche, A., Rojas Vilches, O., & Hostettler, S. (2020). Barriers to the implementation of international agreements on the ground: Climate change and resilience building in the Araucanía Region of Chile. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 50. 101703. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101703>.

*Boisier, J. P., Rondanelli, R., Garreaud, R. D., & Muñoz, F. (2016). Anthropogenic and natural contributions to the Southeast Pacific precipitation decline and recent megadrought in central Chile. *Geophysical Research Letters*, 43, 413-421. <https://doi.org/10.1002/2015GL067265>.

*Bown, F., Rivera, A., & Acuña, C. (2008). Recent glacier variations at the Aconcagua basin, central Chilean Andes. *Annals of Glaciology*, 48, 43-48.

*Cáceres, C., Leiva-Bianchi, M., Ormazábal, Y., Mena, C., & Cantillana, J. C. (2022). Post traumatic stress in people from the interior drylands of the Maule region, Chile in the context of climate change. *Geospatial Health*, 17, 1045. <https://doi.org/10.4081/gh.2022.1045>.

*Carmona, R. (2022). Resilience requires change: Assessing Pehuenche responses to climate change impacts in Southern Chile. *Environmental Justice*, 15, 3. <https://doi.org/10.1089/env.2021.0044>.

*Cáceres, C., Leiva-Bianchi, M., Ormazábal, Y., Mena, C., & Cantillana, J. C. (2022). Post traumatic stress in people from the interior drylands of the Maule region, Chile in the context of climate change. *Geospatial Health*, 17, 1045. <https://doi.org/10.4081/gh.2022.1045>.

*Carmona, R. (2022). Resilience requires change: Assessing Pehuenche responses to climate change impacts in Southern Chile. *Environmental Justice*, 15, 3. <https://doi.org/10.1089/env.2021.0044>.

*Carrasco, J. F., Casassa, G., & Quintana, J. (2005). Changes of the 0°C isotherm and the equilibrium line altitude in central Chile during the last quarter of the 20th century. *Hydrological Sciences - Journal - des Sciences Hydrologiques*, 50,6, 933-948.

*Carrasco, J. F., Osorio, R., & Casassa, G. (2008). Secular trend of the equilibrium-line altitude on the western side of the southern Andes, derived from radiosonde and Surface observations. *Journal of Glaciology*, 54, 186, 538-550.

*Casassa, G., Brecher, H., Rivera, A., & Aniya, M. (1997). A century-long recession record of Glaciar O'Higgins, Chilean Patagonia. *Annals of Glaciology*, 24, 106-110.

*Collazo Aranda, A., Rivera-Ruiz, D., Rodríguez-López, L., Pedreros, P., Arumí-Ribera, J. L., Morales-Salinas, L., Fuentes-Jaque, G., & Urrutia, R. (2021). Evidence of climate change based on lake surface temperature trends in South Central Chile. *Remote Sensing*, 13, 4535. <https://doi.org/10.3390/rs13224535>.

*Cortés, G., Vargas, X., & McPhee, J. (2011). Climatic sensitivity of streamflow timing in the extratropical western Andes Cordillera. *Journal of Hydrology*, 405, 93-109. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.05.013>.

*Díaz Arellano, P., Jaque Castillo, E., & Ojeda, C. G. (2018). Presión hídrica en ambientes lacustres de alta montaña: entre el cambio climático y el desarrollo energético. *Laguna del Laja, Chile. Diálogo Andino*, 55, 143-158.

*Díaz, M. E., Figueroa, R., Suárez Alonso, M. L., & Vidal-Abarca, M. R. (2018). Exploring the complex relations between water resources and social indicators: the Biobío basin (Chile). *Ecosystem Services*, 31, 84-92. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.03.010>.

*Díaz-Hormazábal, I., & González, M. E. (2016). Análisis espacio-temporal de incendios forestales en la región del Maule, Chile. *Bosque*, 37, 147-158. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002016000100014>.

*Ebert, A., Welz, J., Heinrichs, D., Krellenberg, K., & Hansjürgens, B. (2010). Socio-environmental change and flood risks: the case of Santiago de Chile. *Erdkunde*, 64, 4, 303-313.

*Falvey, M., & Garreaud, R. D. (2009). Regional cooling in a warming world: Recent temperature trends in the southeast Pacific and along the west coast of subtropical South America (1979-2006). *Journal of Geophysical Research*, 114, D04102. <https://doi.org/10.1029/2008JD010519>.

*Favier, V., Falvey, M., Rabatel, A., Praderio, E. & López, D. (2009). Interpreting discrepancies between discharge and precipitation in high-altitude area of Chile's Norte Chico region (26-32°S). *Water Resources Research*, 45, W02424. <https://doi.org/10.1029/2008WR006802>.

*Fuentes, I., Fuster, R., Avilés, D., & Vervoort, R. W. (2021). Water scarcity in central Chile: The effect of climate and land cover changes on hydrologic resources. *Hydrological Sciences Journal*, 66, 1028-1044.

*Gajardo-Rojas, M., Muñoz, A. A., Barichivich, J., Klock-Barría, K., Gayo, E. M., Fontúrbel, F. E., & Olea, M. (2022). Declining honey production and beekeeper adaptation to climate change in Chile. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 46, 737-756. <https://doi.org/10.1177/03091333221093757>.

*Garreaud, R. D., Boisier, J. P., Rondanelli, R., Montecinos, A., Sepúlveda, H. H., & Veloso-Aguila, D. (2019). The Central Chile Mega Drought (2010-2018): A climate dynamics perspective. *International Journal of Climatology*, 40, 421-439. <https://doi.org/10.1002/joc.6219>.

*Garreaud, R., López, P., Minvielle, M., & Rojas, M. (2013). Large-Scale control on the Patagonian climate. *Journal of Climate*, 26, 215-230. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00001.1>

*Garreaud, R. D., Álvarez-Garretón, C., Barichivich, J., Boisier, J. P., Christie, D., Galleguillos, M., LeQuesne, C., McPhee, J., & Zambrano-Bigiarini, M. (2017). The 2010-2015 megadrought in central Chile: impacts on regional hydroclimate and vegetation. *Hydrology and Earth System Science*, 21, 6307-6327. <https://doi.org/10.5194/hess-21-6307-2017>.

*Glade, F. E., Miranda, M. D., Meza, F. J., & van Leeuwen, W. J. D. (2016). Productivity and phenological responses of natural vegetation to present and future inter-annual climate variability across semi-arid river basins in Chile. *Environmental monitoring and assessment*, 188, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5675-7>.

*González, M. E., Gómez-González, S., Lara, A., Garreaud, R., & Díaz-Hormazábal, I. (2018). The 2010-2015 Megadrought and its influence on the fire regime in central and south-central Chile. *Ecosphere*, 9, 8, e02300. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2300>.

*Huaico Malhue, A., Leyva Aguilera, C., Calderón de la Barca, N., Espejel, I., & Cereceda, P. (2011). Escenarios territoriales para la gestión preventiva de la desertificación en la cuenca del Puangue, Chile. *Investigaciones Geográficas*, 43, 47-64.

*Hurlbert, M., & Gupta, J. (2017). The adaptive capacity of institutions in Canada, Argentina, and Chile to droughts and floods. *Regional Environmental Change*, 17, 865-877. <https://doi.org/10.1007/s10113-016-1078-0>.

*Infante, A., & Infante, L. (2013). Percepciones y estrategias de los campesinos del secano para mitigar el deterioro ambiental y los efectos del cambio climático en Chile. *Agroecología*, 8, 71-78.

*Inostroza, L., Palme, M., & de la Barrera, F. (2016a). A heat vulnerability Index: spatial patterns of exposure, sensitivity and adaptive capacity for Santiago de Chile. *PLoS ONE*, 11, 9, e0162464. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162464>.

*Inostroza, L., Zasada, I., & König, H. J. (2016b). Last of the wild revisited: assessing spatial patterns of human impact on landscapes in Southern Patagonia, Chile. *Regional Environmental Change*, 16, 2071-2085. <https://doi.org/10.1007/s10113-016-0935-1>.

*LeQuesne, C., Acuña, C., Boninsegna, J. A., Rivera, A., & Barichivich, J. (2009). Long-term glacier variations in the Central Andes of Argentina and Chile, inferred from historical records and tree-ring reconstructed precipitation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 281, 334-344. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2008.01.039>.

*Lillo-Ortega, G., Aldunce, P., Adler, C., Vidal, M., & Rojas, M. (2018). On the evaluation of adaptation practices: a transdisciplinary exploration of drought measures in Chile. *Sustainability Science*, 14, 1057-1069. <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0619-5>.

*Locher-Krause, K. E., Lautenbach, S., & Volk, M. (2017). Spatio-temporal change of ecosystem services as a key to understand natural resource utilization in Southern Chile. *Regional Environmental Change*, 17, 2477-2493. <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1180-y>.

*Martínez Martínez, Y., Goecke Coll, D. Aguayo, M., & Casas-Ledón, Y. (2018). Effects of landcover changes on net primary production (NPP)-based exergy in south-central of Chile. *Applied Geography*, 113, 102101. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2019.102101>.

*Mendes, F. H., Romero, H., & Ferreira da Silva Filho, D. (2020). Cambio Climático adverso provocado por la urbanización sin planificación ni evaluación ambiental en Santiago de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 77, 191-210.

*Monsalves-Gavilán, P., Pincheira-Ulbrich, J., & Rojo Mendoza, F. (2013). Climate change and its effects on urban spaces in Chile: A summary of research carried out in the period 2000-2012. *Atmósfera*, 26, 547-566.

*Montoya-Tangarife, C., de la Barrera, F., Salazar, A., & Inostroza, L. (2017). Monitoring the effects of land cover change on the supply of ecosystem services in an urban region: A study of Santiago-Valparaíso, Chile. *PLoS ONE*, 12, 11, e0188117. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0188117>.

*Müller, A., Reiter, J., & Weiland, U. (2011). Assessment of urban vulnerability towards floods using an indicator-based approach - a case study for Santiago de Chile. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, 2107-2123. <https://doi.org/10.5194/nhess-11-2107-2011>.

*Novión Aicón, C., & Estrada Goic, C. (2011). Percepción de los efectos vivenciales del cambio climático en una muestra de habitantes urbanos australes. *Magallania*, 39, 93-102.

*Novoa, V., Ahumada-Rudolph, R., Rojas, O., Sáez, K., de la Barrera, F., & Arumí, J. L. (2019a). Understanding agricultural water footprint variability to improve water management in Chile. *Science of the Total Environment*, 670, 188-199. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.127>.

*Novoa, V., Ahumada-Rudolph, R., Rojas, O., Munizaga, J., Sáez, K., & Arumí, J. L. (2019b). Sustainability assessment of the agricultural water footprint in the Cachapoal River basin, Chile. *Ecological Indicators*, 98, 19-28. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.10.048>.

*Parraguez-Vergara, E., Barton, J. R., & Raposo-Quintana, G. (2016). Impacts of climate change in the andean foothills of Chile: economic and cultural vulnerability of indigenous mapuche livelihoods. *Journal of Developing Societies* 32, 4, 454-483.

*Pellicciotti, F., Burlando, P., & van Vliet, K. (2008). Recent trends in precipitation and streamflow in the Aconcagua River Basin, central Chile. *IAHS Publications-Series of Proceedings and Reports*, 318, 17-38.

*Pino, P., Iglesias, V., Garreaud, R., Cortés, S., Canals, M., Folch, W., Burgos, S., Levy, K., Naeher, L. P., & Steenland, K. (2015). Chile confronts its environmental health future after 25 years of accelerated. *Growth Annals of Global Health*, 81, 3, 354-367. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aogh.2015.06.008>.

*Pizarro, R., Valdés, R., García-Chevesich, P., Vallejos, C., Sangüesa, C., Morales, C., Balocchi, F., Abarza, A., & Fuentes, R. (2012). Latitudinal analysis of rainfall intensity and mean annual precipitation in Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research* 72, 2, 252-261.

*Quintana, J. M. & Aceituno, P. (2012). Changes in the rainfall regime along the extratropical west coast of South America (Chile): 30-43° S. *Atmósfera*, 25, 1-22.

*Rabassa, J. (2007). Global climate change and its impact on the glaciers and permafrost of Patagonia, Tierra del Fuego and the Antarctic Peninsula. pp: 21-39. En: P. Leite da Silva Dias, L Hidalgo Nunes, & W. Costa Ribeiro (Eds.). *A contribution to understanding the regional impacts of global change in South America*. Institute of Advanced Studies, University of São Paulo. Brasil.

*Rabatel, A., Castebrunet, H., Favier, V., Nicholson, L., & Kinnard, C. (2011). Glacier changes in the Pascua-Lama region, Chilean Andes (29° S): recent mass balance and 50 yr surface area variations. *The Cryosphere*, 5, 1029-1041. <http://dx.doi.org/10.5194/tc-5-1029-2011>.

*Reyes-García, V., Vieira da Cunha Ávila, J., & Caviedes, J. (2022). Evidencias locales del cambio climático y sus impactos: ejemplos desde Sudamérica. *Revista Antropologías del Sur*, 9, 17, 103-120.

*Reyes-García, V., Vieira da Cunha Ávila, J., & Caviedes, J. (2022). Evidencias locales del cambio climático y sus impactos: ejemplos desde Sudamérica. *Revista Antropologías del Sur*, 9, 17, 103-120.

*Rivera, A. & Casassa, G. (1999). Volume changes on Pio XI glacier, Patagonia: 1975-1995. *Global and Planetary Change*, 22, 233-244.

*Rivera, A., Casassa, G., Acuña, C., & Lange, H. (2000). Variaciones recientes de glaciares en Chile. *Investigaciones Geográficas*, 34, 29-60.

*Rivera, A., Corripio, J., Bravo, C., & Cisternas, S. (2012). Glaciar Jorge Montt (Chilean Patagonia) dynamics derived from photos obtained by fixed cameras and satellite image feature tracking. *Annals of Glaciology*, 53, 60. <http://dx.doi.org/10.3189/2012AoG60A152>.

*Rivera, A., Corripio, J., Bravo, C., & Cisternas, S. (2012). Glaciar Jorge Montt (Chilean Patagonia) dynamics derived from photos obtained by fixed cameras and satellite image feature tracking. *Annals of Glaciology*, 53, 60. <http://dx.doi.org/10.3189/2012AoG60A152>.

*Rosenblüth, B., Fuenzalida, H. A., & Aceituno, P. (1997). Recent temperature variations in Southern South America. *International Journal of Climatology*, 17, 67-85.

*Rubio-Álvarez, E. & McPhee, J. (2010). Patterns of spatial and temporal variability in streamflow records in south central Chile in the period 1952-2003. *Water Resources Research*, 46, W05514. <http://dx.doi.org/10.1029/2009WR007982>.

*Sapiains, R., Ugarte, A. M., & Hasbún, J. (2019). Percepciones del cambio climático en la isla de Chiloé: desafíos para la gobernanza local. *Magallania*, 47, 83-103.

*Sarricolea Espinoza, P., & Romero Aravena, H. (2015). Variabilidad y cambios climáticos observados y esperados en el Altiplano del norte de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 62, 169-183.

*Sarricolea, P., Meseguer Ruíz, O., & Romero Aravena, H. (2017). Tendencias de la precipitación en el norte grande de Chile y su relación con las proyecciones de cambio climático. *Diálogo Andino - Revista de Historia, Geografía y Cultura Andina*, 54, 41-50.

*Scheihing, K. W. (2018). Water resources management in the Atacama Desert: pivotal insights into arid Andean groundwater systems of northern Chile. zur Erlangung des akademischen Grades. von der Fakultät VI, Planen Bauen Umwelt, der Technischen Universität Berlin, Berlin. 170 pp.

*Schulz, N., Boisier, J. P., & Aceituno, P. (2011). Climate change along the arid coast of northern Chile. *International Journal of Climatology*, 32, 1803-1814.

*Souvignet, M., Oyarzún, R., Verbist, K. J. M., Gaese, H. & Heinrich, J. (2012). Hydro-meteorological trends in semi-arid north-central Chile (29–32°S): water resources implications for a fragile Andean región. *Hydrological Sciences Journal*, 57, 3, 479-495. <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2012.665607>.

*Valdés-Pineda, R., Pizarro, R., García-Chevesich, P., Valdés, J. B., Olivares, C., Vera, M., Balocchi, F., Pérez, F., Vallejos, C., Fuentes, R., Abarza, A., & Helwig, B. (2014). Water governance in Chile: Availability, management and climate change. *Journal of Hydrology*, 519, 2538-2567. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.04.016>.

*Vargas, V., Carrasco, N., & Vargas, C. (2019). Local participation in forest watershed management: Design and analysis of experiences in water supply micro-basins with forest plantations in South Central Chile. *Forests*, 10, 580. <http://dx.doi.org/10.3390/f10070580>.

*Venegas-González, A., Roig, F. A., Peña-Rojas, K., Hadad, M. A., Aguilera-Betti, I., Muñoz, A. A. (2019). Recent consequences of climate change have affected tree growth in distinct *Nothofagus macrocarpa* (DC.) FM Vaz & Rodr age classes in Central Chile. *Forests*, 10, 653. <http://dx.doi.org/10.3390/f10080653>.

*Venegas-González, A., Muñoz, A. A., Carpintero-Gibson, S., González-Reyes, A., Schneider, I., Gipolou-Zuñiga, T., Aguilera-Betti, & Roig, F. A. (2022). Sclerophyllous Forest tree growth under the influence of a historic megadrought in the Mediterranean Ecoregion of Chile. *Ecosystems*, 26, 344-361. <https://doi.org/10.1007/s10021-022-00760-x>.

*Welz, J. & Krellenberg, K. (2016). Vulnerabilidad frente al cambio climático en la Región Metropolitana de Santiago de Chile: posiciones teóricas versus evidencias empíricas. *EURE*, 42, 125, 251-272.

*Young, G., Zavala, H., Wandel, J., Smit, B., Salas, S., Jiménez, E., Fiebig, M., Espinoza, R., Díaz, H., & Cepeda, J. (2010). Vulnerability and adaptation in a dryland community of the Elqui Valley, Chile. *Climatic Change*, 98, 245-276. <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9665-4>.

Evidencias del cambio climático en Chile

Un libro para educarnos y afrontar los desafíos para adaptarse

La elaboración de este libro es financiada por el Proyecto FONDECYT POSTDOCTORADO 3210262,
“Indicadores locales de impacto del cambio climático y estrategias de ciencia ciudadana en
humedales marinos de importancia internacional para la conservación de aves playeras migratorias,
en el sur de Chile”.





**Evidencias
del cambio
climático
en Chile**