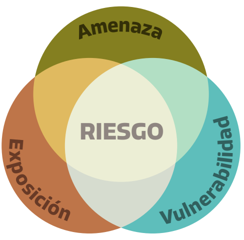
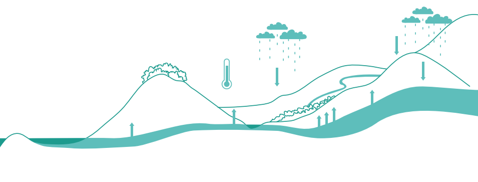
¿Cuáles son los riesgos del cambio climático en cuencas costeras semiáridas?



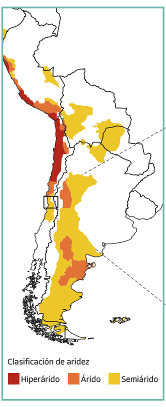
EL RIESGO FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

El riesgo frente al cambio climático no depende de un solo factor, **sino de cómo se combinan las amenazas climáticas, la exposición de sistemas humanos y sistemas naturales, y su vulnerabilidad expresada en su sensibilidad al clima y su capacidad de adaptación**. En las cuencas costeras semiáridas, estos elementos están interconectados, generando impactos que se transmiten desde las cabeceras de las cuencas hasta la costa. Por eso, entender estas conexiones es clave para enfrentar la crisis climática.



El proyecto Anillo SACBAD (adaptación en cuencas costeras semi áridas) aborda estos desafíos desde una perspectiva interdisciplinaria e integrada, combinando el conocimiento de la ingeniería, las ciencias naturales y sociales. A través de trabajo con actores locales, talleres participativos, encuestas, monitoreo en terreno de flujos y calidad del agua, y análisis mediante imágenes satelitales, y modelación computacional buscamos comprender cómo se configuran estos riesgos y cómo pueden enfrentarse mediante estrategias de adaptación.

CUENCAS COSTERAS SEMIÁRIDAS
ZONA ENTRE CUENCAS DEL RÍO QULIMARI Y RÍOS LIGUA-PETORCA

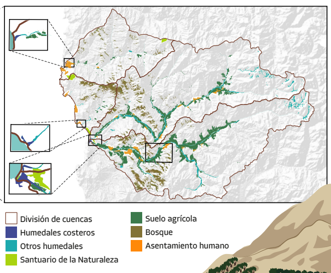


La zona de estudio se encuentra en la transición entre el clima árido y el clima semiárido en la zona central de Chile

¿Qué es una cuenca?

Una cuenca hidrográfica es el territorio donde toda el agua de lluvia, nieve o deshielo escurre hacia un mismo punto de salida, como un río, lago, humedal o el mar.

Superficie total de la zona de estudio: **508.425 ha**

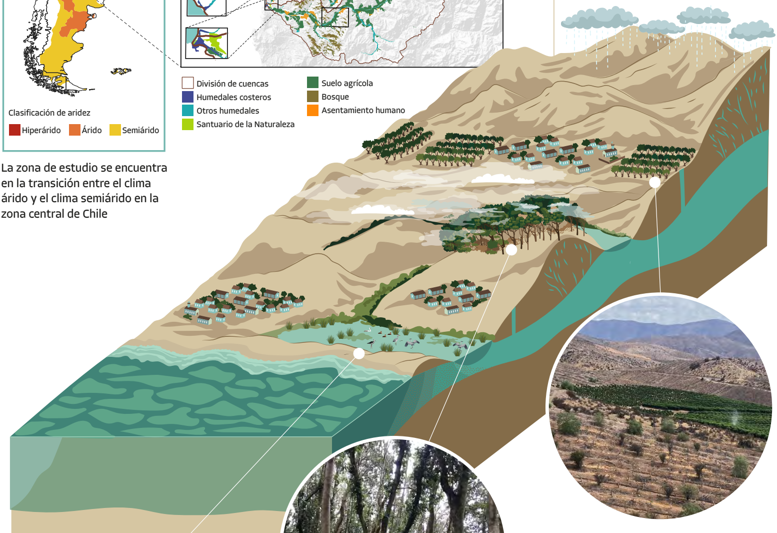


Superficie agrícola **25.058 ha**

Superficie bosques **43.282 ha**

Zona con asentamientos humanos **19.653 ha**

Superficie Humedales costeros **132 ha**



ZONA AGRÍCOLA

Producción dependiente de un sistema hídrico frágil.
La agricultura en zonas semiáridas es muy importante para su desarrollo socioeconómico, pero depende del agua de lluvia y del deshielo. Cuando llueve menos y se sigue usando mucha agua, se genera presión sobre la cuenca, disminuye el agua disponible para otras actividades y se afectan los ecosistemas.

Ir a la infografía

BOSQUE DE NIEBLA

Captura de humedad clave para la regulación hídrica.
El bosque de niebla captura humedad de las nubes bajas al interceptar la neblina con sus copas. Gracias a la presencia de estos bosques aumenta la infiltración de agua alimentando flujos que emergen más abajo en la cuenca, beneficiando actividades humanas y ecosistemas.

Ir a la infografía

HUMEDAL COSTERO

Interfaz dinámica entre cuenca y océano.
El humedal costero recibe agua dulce desde la cuenca y agua salina desde el mar. Su funcionamiento depende del equilibrio entre ambos, regulado por la apertura o cierre de la barra litoral; cuando este equilibrio se altera cambian la salinidad, la calidad del agua y la biodiversidad del humedal.

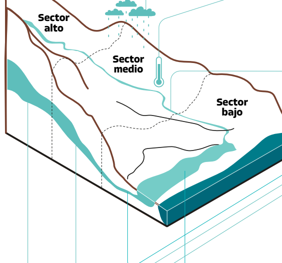
Ir a la infografía

EVALUACIÓN HISTÓRICA DE LOS EFECTOS DE LA SEQUIA
A TRAVÉS DE REGISTROS EN TERRENO

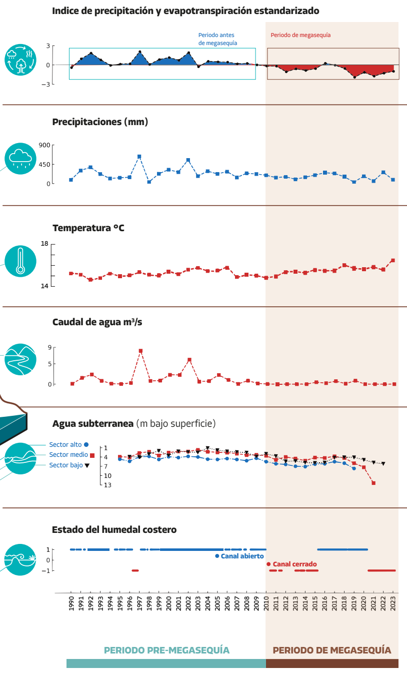
Para evaluar los riesgos del cambio climático, combinamos herramientas de observación y modelación que permiten analizar tanto lo que ya ha ocurrido como lo que podría ocurrir en el futuro. Este enfoque permite entender cómo evolucionan las condiciones climáticas y cómo sus impactos se manifiestan en distintos sistemas a lo largo del tiempo.

En los siguientes gráficos usamos distintos indicadores hidroclimáticos en la cuenca del Rio Petorca como ejemplo para mostrar los efectos de la megasequia

Ir al paper



Mediciones realizadas con un sensor en terreno



Cuando el Índice de precipitación y evapotranspiración estandarizado esta negativo quiere decir que la disponibilidad de agua desde la atmosfera (precipitación menos evapotranspiración) es menor al valor esperado en la zona.

A partir del año 2010 no existen años con altos niveles de precipitación como si existieron en la década de los 90s y los 2000s

Desde comienzos del registro se observa un aumento sostenido en la temperatura del aire lo que contribuye a aumentar la demanda de evapotranspiración de agua desde la atmosfera

Siguiendo un patrón muy similar que en el caso de las precipitaciones se observa que en la parte media de la cuenca los caudales disminuyen importantemente casi desapareciendo durante la megasequia

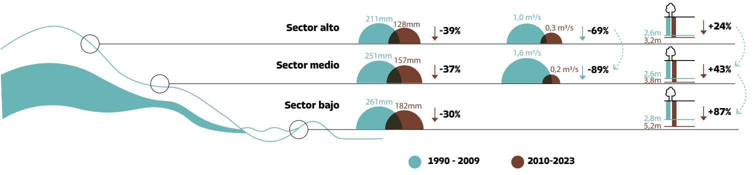
Al comienzo del registro y hasta mitad de la megasequía se observa que los niveles de aguas subterráneas se mantienen estables pero disminuyen de manera importante, especialmente en la zona baja de la cuenca, hacia el final de la megasequía

A través de la observación con imágenes de la zona de desembocadura de las cuencas se puede observar si la boca del rio se encuentra abierta o cerrada. En el caso de la desembocadura de las cuencas Ligua Petorca se puede observar que antes de la sequia la boca se mantuvo casi constantemente abierta con agua fluyendo de manera superficial. Durante la sequia la boca ha estado principalmente cerrada con un periodo de apertura asociada a eventos extremos de precipitación del año 2015.

Precipitación

Caudal

Profundidas agua subterranea

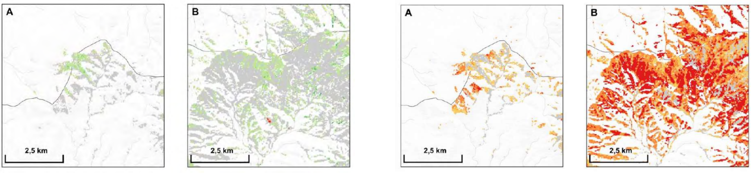


EVALUACIÓN DE EFECTOS DE SEQUIA
A TRAVÉS DE IMÁGENES SATELITALES

Podemos utilizar imágenes satélites para evaluar los efectos de la sequía en los distintos sistemas del territorio: bosques, zonas agrícolas, asentamientos humanos y humedales costeros.

Análisis realizado con imágenes satelitales

BOSQUE DE NIEBLA


Bosque Santa Ines Primavera 2017 · **Bosque Huaquén Primavera 2017** · **Bosque Santa Ines Primavera 2019** · **Bosque Huaquén Primavera 2019**

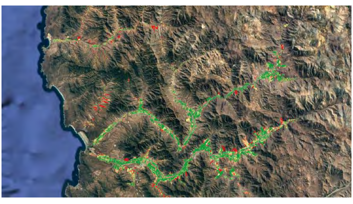
Podemos utilizar los satélites para observar los bosques desde el espacio, y utilizar un índice satelital (EVI) para estimar cuán verde, activa y densa está el bosque en un lugar.

Este índice se calcula a partir de la luz que reflejan las plantas. Un bosque sano, con muchas hojas y alta actividad, refleja la luz de manera distinta a un bosque seco o dañado. Por eso, el EVI nos ayuda a detectar cambios en el estado del bosque.

Por ejemplo, al comparar una primavera lluviosa (2017) con una primavera seca (2019), algunos bosques se mantienen verdes, mientras que otros muestran señales de estrés. En la imagen, el bosque de olivillo de Santa Inés (A) parece haber sido menos afectado por la sequía, mientras que otros bosques más alejados del mar como el de Huaquén (B) muestran un impacto mucho mayor. Esto sugiere que la neblina puede ayudar a amortiguar los efectos de sequías extremas, como la ocurrida en 2019.

ZONA AGRÍCOLA

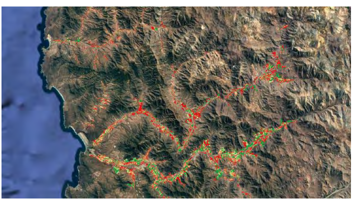
2005 - 2009



Cantidad de años con cultivos 🟥 0 🟧 1 🟨 2 🟩 3 🟩 4 🟩 5

Los mapas muestran en verde las zonas con áreas cultivadas durante 5 años y en rojo las zonas que no tuvieron cultivo.

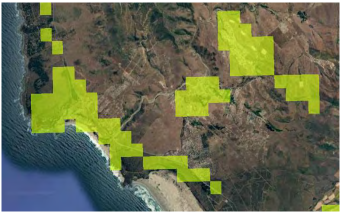
2020 - 2024



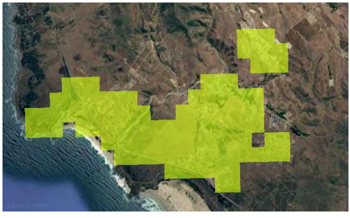
Durante el quinquenio 2005-2009 un 44% de la tierra cultivable en la zona tuvo cultivos durante los 5 años. La precipitación promedio esos años fue de 239 mm/año. Esta cifra baja a un 22% para el quinquenio 2020-2024, periodo en el que la precipitacion promedio fue de 107 mm/año.
Por otra parte durante el quinquenio 2005-2009 un 14% nunca tuvo cultivos. Ese numero sube a 40% el quinquenio 2020-2024.

ASENTAMIENTOS HUMANOS

Zona Pichicuy-Huaquen / Septiembre 2014



Zona Pichicuy-Huaquen / Septiembre 2022



Podemos utilizar satelites que detectan la presencia de luz artificial y asi poder entender como evolucionan los asentamientos humanos. La imagen tomada de la zona Pichicuy-Huaquen nos muestra un progresivo ocupamiento del territorio a través de asentamientos informales que son comunes en esta parte del país. Este proceso no esta conectado con los efectos de la sequia pero puede acentuar sus impactos.

HUMEDAL COSTERO

Boca Abierta Junio 2024
Área superficie del agua
Sensor Petorca
0 250 500 m

Cuando la barrera está abierta, grandes volúmenes de agua de mar se mueven dentro y fuera de la laguna con las mareas. Esto puede ser condición normal en una cuenca grande o una condición particular cuando el aumento del caudal de una quebrada rompe la barrera de arena.

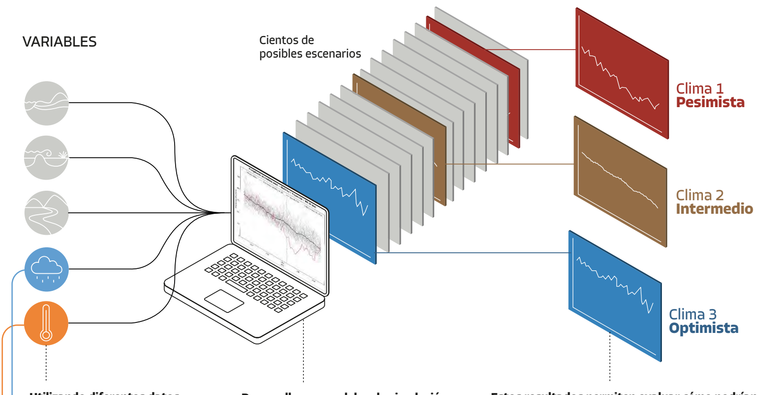
Boca cerrada Abril 2024
Área superficie del agua
Sensor Petorca
0 250 500 m

Cuando la barrera está cerrada, las mareas no influyen en el tamaño del estuario, y el nivel del agua subterránea influye en el volumen de agua presente en la laguna.
La desembocadura está cerrada por la acumulación de arena que ocurre cuando el flujo del río es muy bajo, permitiendo que las olas muevan arena hacía la costa, cerrando la boca.

A partir de datos observados, analizamos la evolución reciente del clima, destacando periodos de sequía prolongada como la megasequía. Estos registros permiten identificar cambios en variables clave como la precipitación y evaluar sus efectos en distintos escenarios futuros mediante herramientas de simulación.

MODELOS DE SIMULACIÓN

Los modelos nos permiten representar el clima y proyectar posibles escenarios futuros.



Utilizando diferentes datos historicos de la zona.

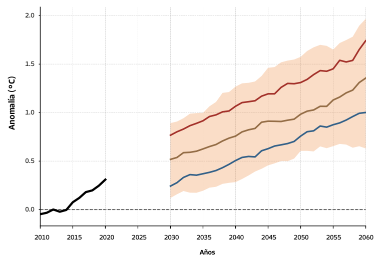
Desarrollamos modelos de simulación y proyectamos posibles trayectorias futuras del clima bajo distintos escenarios

Estos resultados permiten evaluar cómo podrían cambiar variables clave y cómo estos cambios impactarían sistemas como la disponibilidad de agua, la producción agrícola y los asentamientos humanos, considerando también el efecto de distintas estrategias de adaptación.

VARIABLES CLAVE

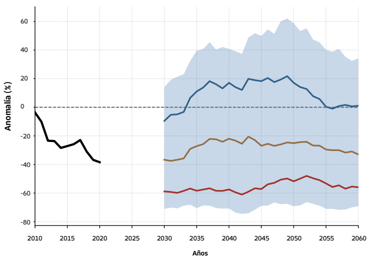
TEMPERATURA

Temperatura media anual – Anomalía respecto al promedio histórico 1985-2010
(promedio histórico en Quilimarí = 13,1 °C)



PRECIPITACIÓN

Precipitación anual – Anomalía respecto al promedio histórico 1985-2010
(promedio histórico en Quilimarí = 253 mm/año)



━ Histórico 🟧 Rangos de escenarios climáticos ━ Clima Intermedio ━ Clima Pesimista ━ Clima Optimista

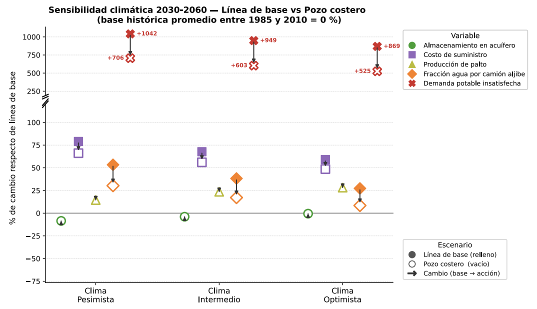
EFECTO DE MEDIDAS DE ADAPTACION

SOBRE VARIABLES CLAVES

Utilizando los modelos de simulación se puede evaluar el efecto que tendría la implementación de distintas medidas de adaptación sobre variables que representan componentes del ciclo hidrológico y las consecuencias para satisfacer las necesidades de las personas, las actividades productivas y los ecosistemas.
En cada caso el efecto se calcula con respecto a la situación base histórica.

Ir al paper

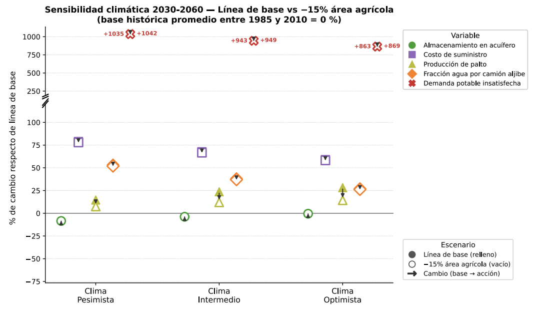
POZO COSTERO


Sensibilidad climática 2030-2060 — Línea de base vs Pozo costero
(base histórica promedio entre 1985 y 2010 = 0 %)

POZO COSTERO
reduce el déficit, pero no lo elimina

La incorporación de pozos costeros reduce la demanda de agua potable insatisfecha en los tres escenarios climáticos. Sin embargo, incluso con esta medida, el déficit sigue siendo muy elevado, especialmente bajo un clima pesimista. El efecto sobre los costos de suministro y la necesidad de abastecimiento mediante camiones aljibe es más moderado.

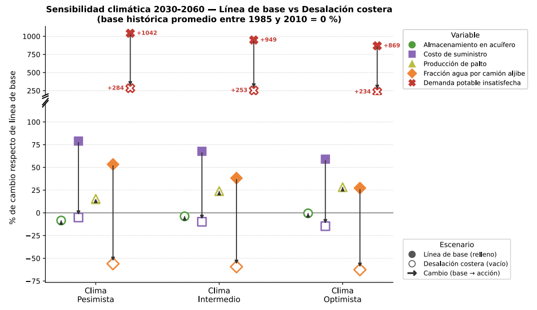
REDUCCIÓN ÁREA AGRÍCOLA


Sensibilidad climática 2030-2060 — Línea de base vs −15% área agrícola
(base histórica promedio entre 1985 y 2010 = 0 %)

REDUCIR EL ÁREA AGRÍCOLA
un efecto limitado sobre la escasez

Una reducción del 15 % del área agrícola genera cambios relativamente pequeños en la mayoría de las variables. El efecto más visible se observa en la producción de palto, mientras que el déficit de agua potable prácticamente no cambia. Por sí sola, esta medida tiene un impacto limitado para enfrentar la escasez hídrica.

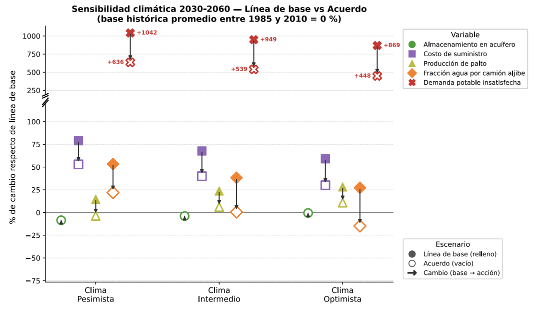
PLANTA DESALADORA


Sensibilidad climática 2030-2060 — Línea de base vs Desalación costera
(base histórica promedio entre 1985 y 2010 = 0 %)

PLANTA DESALADORA
una solución efectiva para reducir la escasez

La desalación costera disminuye fuertemente el déficit de agua potable en los tres escenarios climáticos. También reduce la dependencia del abastecimiento mediante camiones aljibe y los costos asociados al suministro. Su efecto es especialmente importante en los escenarios más desfavorables, donde la disponibilidad de agua es menor.

ACUERDO USO DE AGUA


Sensibilidad climática 2030-2060 — Línea de base vs Acuerdo
(base histórica promedio entre 1985 y 2010 = 0 %)

ACUERDOS PARA EL USO DE AGUA
priorizar el agua para la población en períodos de escasez

Cuando falta agua para la población, el Acuerdo permite utilizar agua asociada a derechos solicitados por agricultores para cubrir esa demanda. Esto reduce de manera importante el déficit de agua potable y también disminuye la necesidad de abastecimiento mediante camiones aljibe.

El cambio climático plantea un escenario de mayor temperatura y menor disponibilidad de agua, aumentando la presión sobre los recursos hídricos del territorio. Esta situación puede afectar tanto el abastecimiento de agua para la poblacion como las actividades productivas y ecosistemas fragiles, especialmente en los escenarios climáticos más desfavorables.

Los resultados muestran que no existe una única solución: distintas medidas de adaptación tienen efectos diferentes y pueden complementarse. Invertir en nuevas fuentes de agua, reducir la dependencia de los camiones aljibe y establecer mecanismos que prioricen el consumo humano cuando existe escasez serán claves para aumentar la seguridad hídrica y reducir la vulnerabilidad frente al cambio climático.

Créditos

INVESTIGADORES

Sebastian Vicuna – IP – PUC
Pilar Gil – IP – PUC
Oscar Melo – IA – PUC
Francisco Meza – IP – PUC
Aurora Gaxiola – IP – PUC

Alvaro Gutierrez – IA – U Chile
Sarah Leray – IP – PUC
Megan Williams – IP – PUC, UTFSM
David Poblete – PhD – PUC, UV
Rodolfo Gomez – PhD – PUC

Valentina Bravo – PT – PUC
Eduardo Bustos – PT – PUC, CCG
Javier Vargas – PT – PUC, CCG
Paula Toledo – PT – PUC, CCG
Diego Gonzalez – PT – PUC, CCG

DISEÑO

DISEÑO DE INFOGRAFÍA:
Catalina Cano / catacano.com

OCTUBRE 2026

PARTICIPANTES

COLABORADORES