

Desalinización en Chile: Fortalecimiento del marco regulatorio ambiental

Consuelo Rámila, Fernanda Rodríguez, Daniela Rivera,
Christian González y Eduardo Leiva.

Equipo

Centro UC
Políticas Públicas



Dr. Eduardo Leiva
Calidad, tratamiento
y reúso de agua



Dra. Fernanda Rodríguez
Impacto de salmuera
sobre organismos marinos



Dra. Consuelo Rámila
Cumplimiento Normativa Ambiental



Dra. Daniela Rivera
Regulación desalinización



Dr. Christian González
Hidrodinámica y
mezcla de contaminantes

Necesidad de fuentes alternativas de agua en Chile



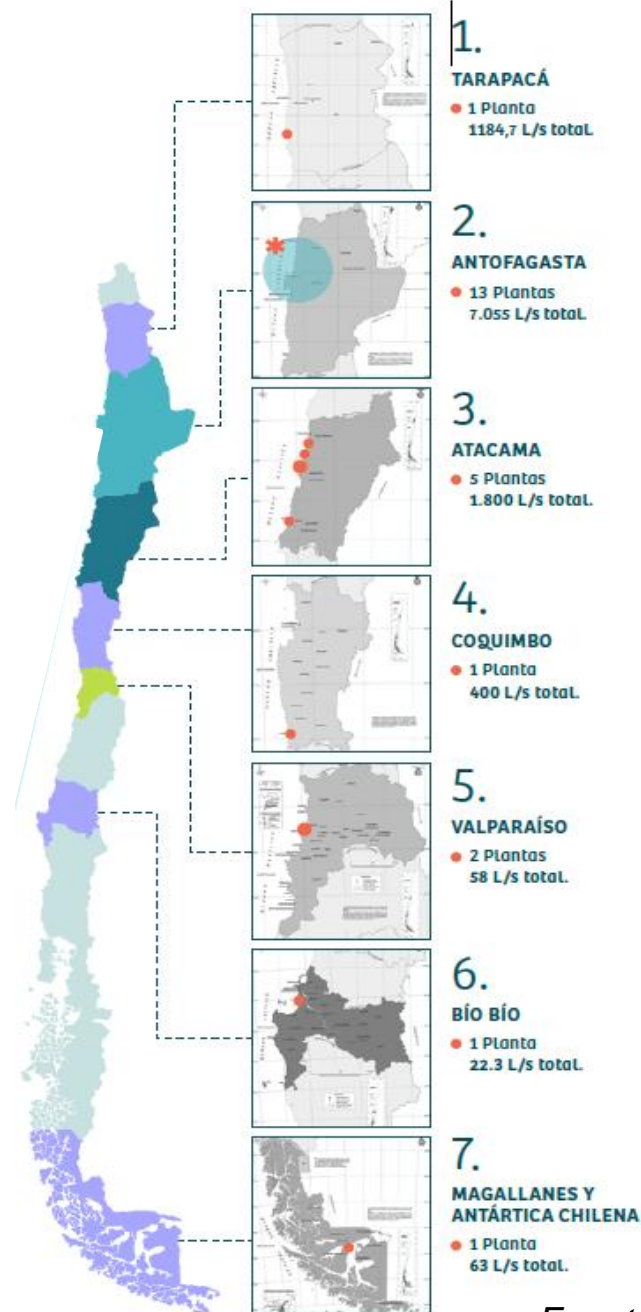
Crisis hídrica severa en Chile

- Reducción de precipitaciones y sobreexplotación de cuencas.
- Niveles críticos de agua superficial y subterránea.
- Tensiones entre usos productivos, comunidades e impactos ecosistémicos.

Desalinización representa una alternativa.

Desarrollo de la industria desalinizadora en Chile

- Chile es líder en América Latina
- 24 plantas (>20 L/s): 11.000 L/s
- 80% abastece a minería y 20% sanitario
- Expansión proyectada: cuadruplicar



Potenciales efectos de la desalinización



- Desalinización puede impactar el ecosistema marino.
- Riesgo para la pesca artesanal y comunidades costeras.
- Ecosistemas costeros son ya altamente vulnerables.
- Se requiere regulación ambiental para limitar los potenciales impactos.

¿La normativa aborda de forma suficiente los potenciales impactos sobre los **ecosistemas marinos**?

Objetivos

Objetivo General

Proponer mejoras a las regulaciones ambientales actuales y proyectadas aplicables a plantas desalinizadoras de agua de mar en Chile, con el fin de minimizar efectos sobre los ecosistemas marinos y así promover el desarrollo sostenible de esta industria.

Objetivos Específicos

- OE1. Identificar los potenciales impactos.
- OE2. Analizar marco normativo.
- OE3. Realizar propuestas para fortalecer la regulación ambiental.

Metodología

- OE1. Identificar los potenciales impactos de la operación de plantas SWRO sobre los ecosistemas marinos en Chile
- Identificación del estado del arte a nivel internacional.
 - Análisis de los estudios realizados en Chile.
 - Identificación de medidas para disminuir los potenciales impactos.

OE2. Identificación y análisis de brechas del marco regulatorio ambiental aplicable a la desalinización en Chile

- Mapeo de la normativa nacional vigente y proyectada (ecosistemas marinos).
- Mapeo de la normativa internacional: España, Australia y California.
- Identificación de brechas, evaluando la suficiencia de la normativa nacional para minimizar impactos y comparándola con estándares internacionales.

OE3. Proponer políticas públicas orientadas a minimizar los impactos de la desalinización en los ecosistemas marinos

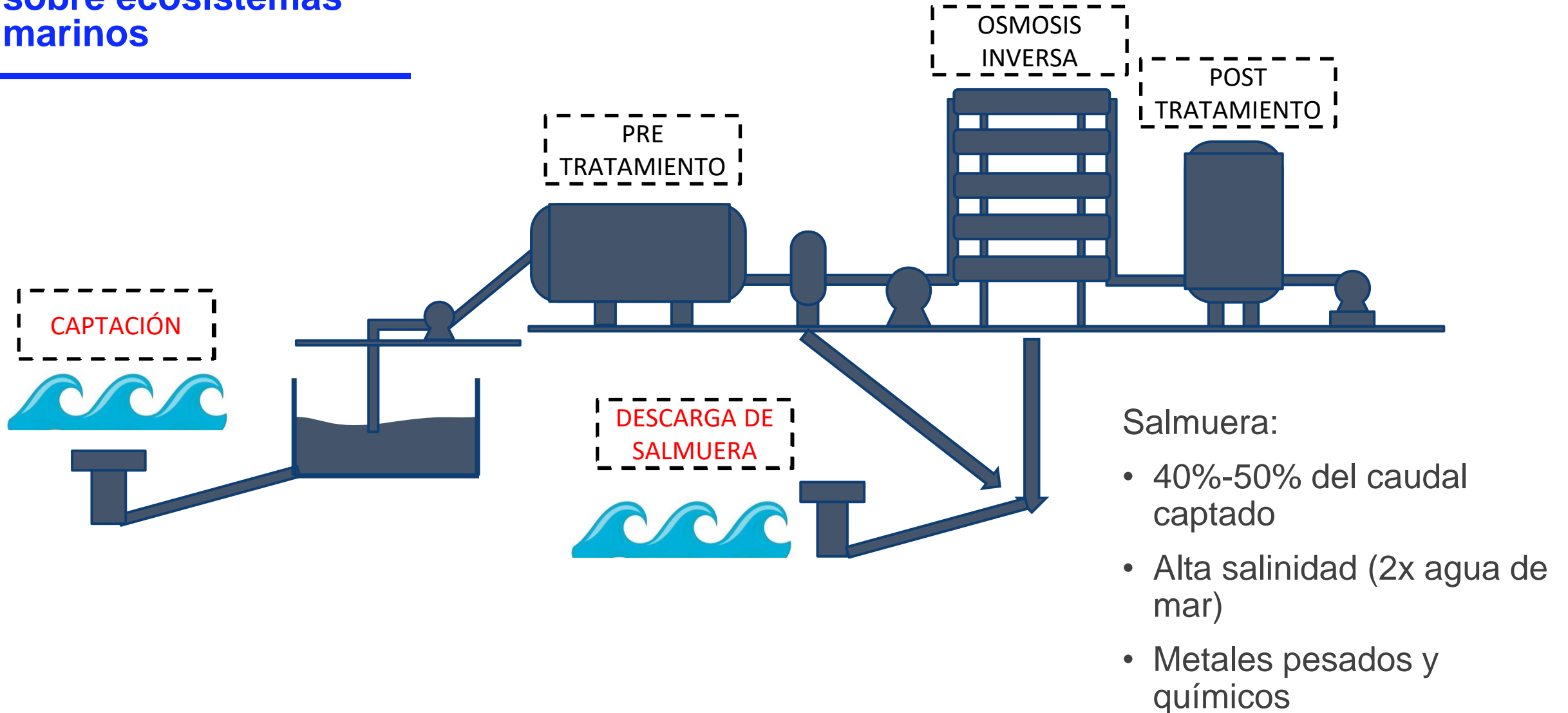
- Propuesta de mejoras al marco regulatorio.
- Propuesta de líneas de investigación prioritarias.

Resultados



Identificación de potenciales impactos de la operación de plantas SWRO sobre los ecosistemas marinos en Chile

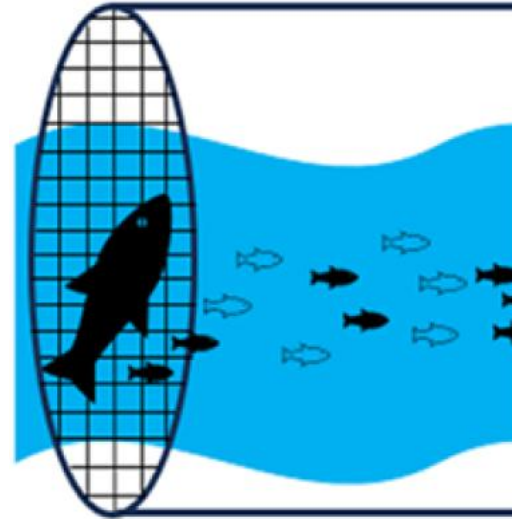
Impactos de operación de SWRO sobre ecosistemas marinos



Impactos de la captación de agua de mar



Limpieza puede afectar el ecosistema por adición de químicos y aumento turbidez



Colisión

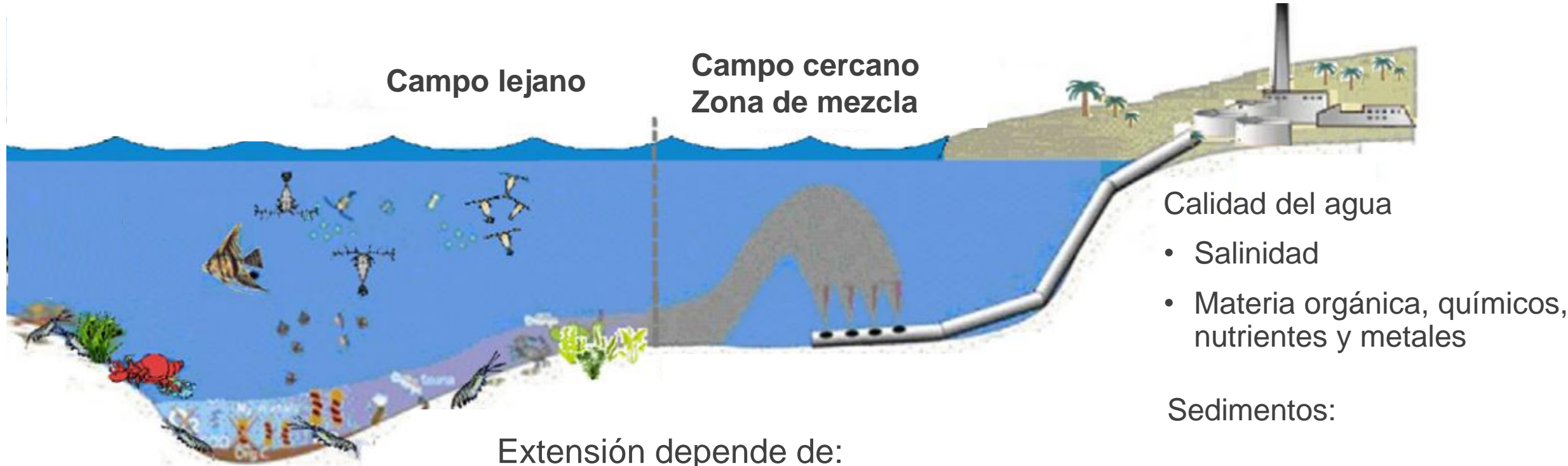


Atrapamiento



**Arrastre
(impactos
ecosistémicos)**

Impacto de la descarga sobre calidad del agua y sedimentos



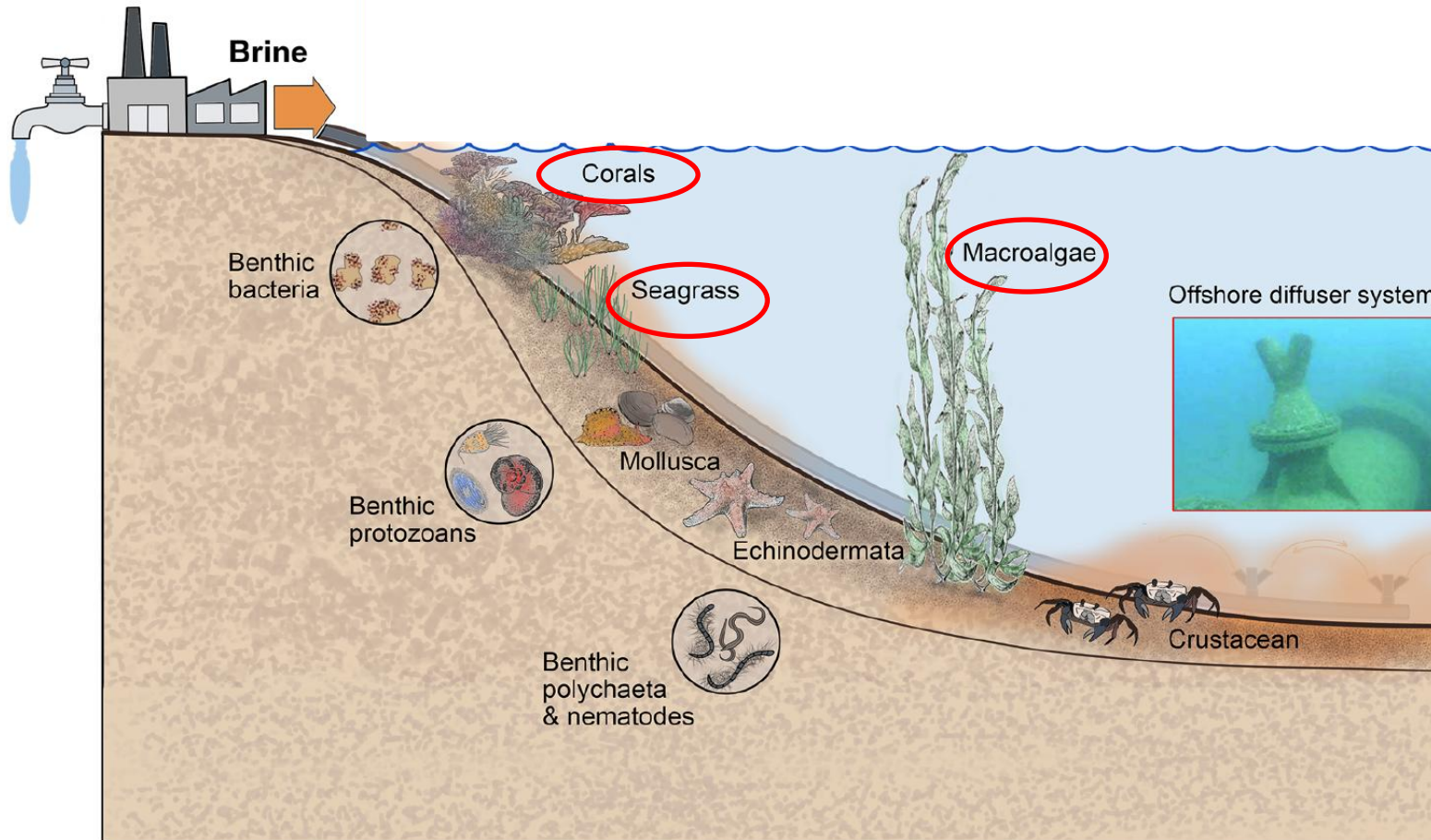
- Calidad del agua
- Salinidad
 - Materia orgánica, químicos, nutrientes y metales

- Sedimentos:
- Metales
 - Salinidad intersticial
 - ¿otros efectos?

- Extensión depende de:
- Caudal y calidad de la salmuera
 - Características del sitio
 - Diseño del emisario

Fuente: modificado de Abessi, 2018

Impactos de la descarga sobre ecosistemas bentónicos



- Impactos en organismo y comunidades
- Especie-específicos
- Incertidumbre efectos acumulativos y a largo plazo

Medidas para minimizar impactos



Pita et al 2022

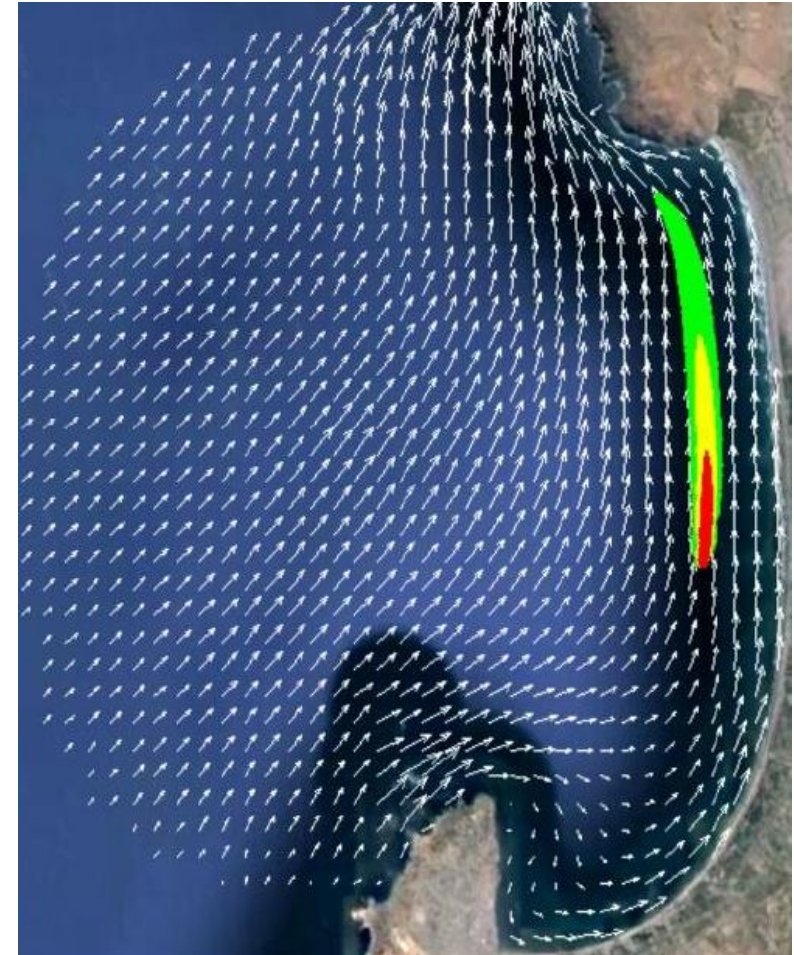
Centro UC
Políticas Públicas

Localización de captación y descarga

- Zonas con baja sensibilidad ecológica
- Zonas con alta circulación
- Zonas con ausencia de otras presiones

Utilizar la mejor tecnología disponible

Monitoreo riguroso para detectar a tiempo impactos no previstos

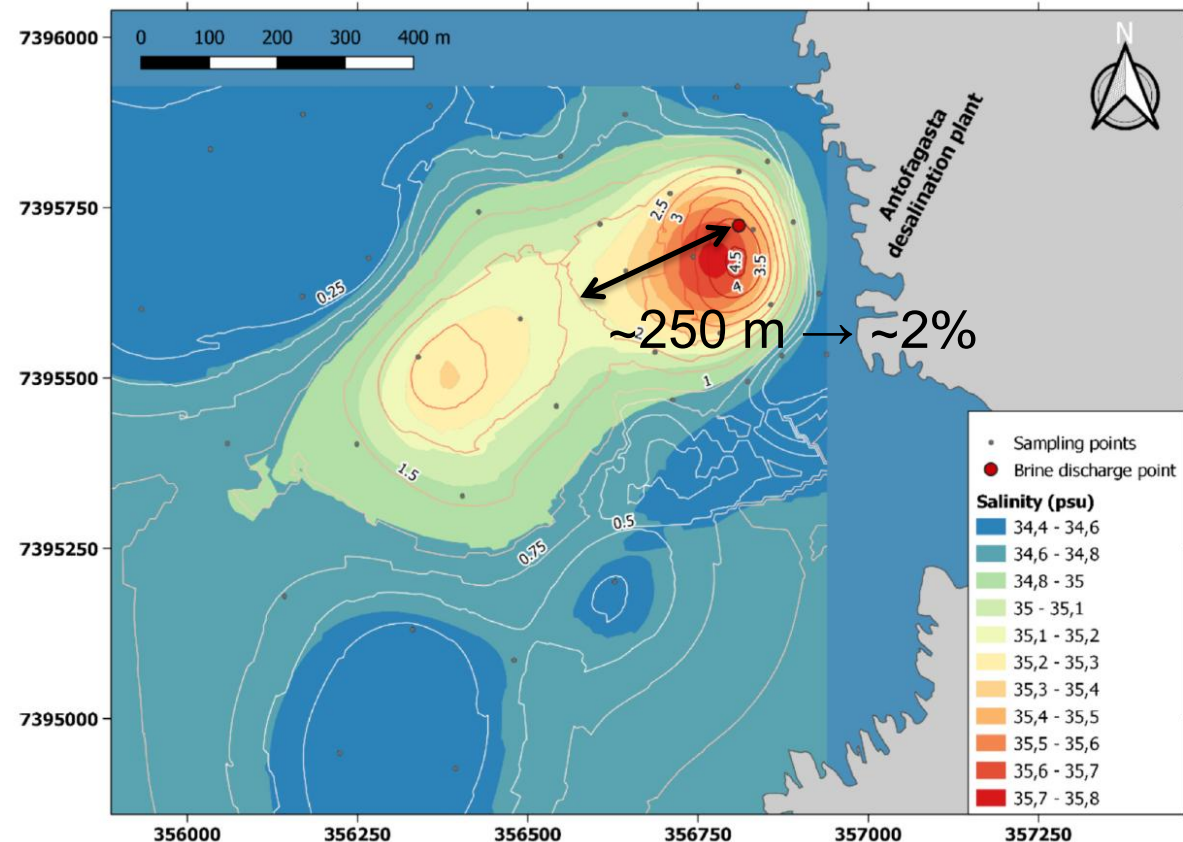


Winckler, 2021

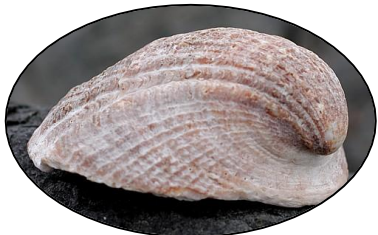
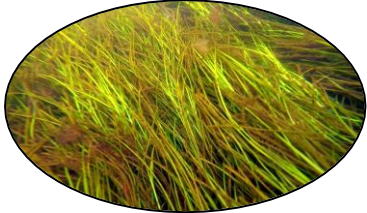
Estudios en Chile sobre impacto en calidad del agua y sedimentos son escasos

- 3 estudios en calidad del agua
(Bonnail et al. 2025, Sola et al. 2024, 2025)
- 1 estudio calidad de sedimentos
(Bonnail et al. 2025)

Pluma salina en planta Aguas Antofagasta



Efectos de la salmuera en especies marinas chilenas



Efectos negativos:

- *Ectocarpus sp.* ≥ 36 PSU
- *Z. chilensis* ≥ 37 PSU
- Loco y macha ≥ 38 PSU

Proliferación de especie hipertolerante.

No es posible fijar umbrales uniformes y estudios son escasos y a corto plazo.





Identificación del marco regulatorio ambiental aplicable a la desalinización en Chile

Normativa internacional

California

- Límite salinidad: 2 ppt a 100 m descarga.
- Exige mejor tecnología disponible.
- Prohíbe captación y descarga en hábitat sensible.

España

- Límite salinidad: mantener buen estado ecológico.
- Tecnología debe minimizar impactos.
- Descartar zonas vulnerables para captación y descarga.

Australia

- Límite salinidad: percentil 80 en área de mezcla.
- Tecnología debe minimizar impactos.
- Evitar hábitats sensibles para captación y descarga.

Normativa nacional

Normas legales y reglamentarias

Ley N°19.300

Norma de emisión (DS 90/2000)

Actos administrativos

Guías del Servicio de Evaluación Ambiental:

- Guía para descripción proyectos de plantas desalinizadoras en el SEIA (SEA, 2023)
- Guía para la predicción y evaluación de impactos en ecosistemas marinos (SEA, 2024)

Proyecto de ley sobre uso de agua de mar para desalinización (Boletín N°11.608-09) y Estrategia Nacional de Desalinización





Propuesta de políticas públicas para limitar los impactos de la desalinización en los ecosistemas marinos

1. Ingreso obligatorio al SEIA

- Incorporar desaladoras de dimensiones industriales para su ingreso al SEIA.
- Plantas de menor tamaño
 - Podrían estar exentas.
 - Indicar puntos de captación, vertimiento y/o Consulta de Pertinencia simplificada.

Proyecto de Ley incluye incorporación de desaladoras industriales.

2. Línea de base, evaluación de impactos y seguimiento ambiental

- Incertidumbre de impactos vuelve crítico.
- Estandarizar exigencias mediante guías del SEA específicas para desalinización.
- Tomar insumos de otros proyectos y revisar PVAs para detectar falencias actuales.
- Reportes simplificados para facilitar fiscalización por parte de la SMA.

3. Zonas de exclusión de captación y descarga

Excluir áreas:

- Intercambio reducido con el océano.
- Con biota de importancia ecológica, comercial, amenazada o con sensibilidad reconocida.

Estrategia Nacional de Desalinización incluye identificar criterios.

4. Incentivos para utilizar la mejor tecnología disponible

- Priorizar la captación subsuperficial.
- Fomentar pre-dilución y emisarios submarinos con difusores multipuerto.
- Usar aditivos seguros y desincentivar químicos tóxicos.
- Avanzar hacia la minimización de las descargas.

Incorporar incentivos en la Estrategia Nacional de Desalinización.

5. Nueva norma de emisión de salmuera

- Se requiere una norma de específica elaborada por el MMA.
- Eliminar parámetros innecesarios y adicionar pertinentes.
- La salinidad debiera normarse en el área de descarga (no como norma de emisión).

Proyecto de Ley considera habilitar al MMA para que la elabore.

6. Nuevo límite de salinidad para el área de influencia

- Norma de referencia utilizada
 - 5% sobre salinidad base (ANZECC, 1992).
 - No considera variabilidad natural en costas chilenas.
 - No tiene sustento ecotoxicológico local.



No garantiza que fuera del área de influencia no habrá impactos significativos.

- Ley 19.300 establece que norma de referencia debe estar **vigente** y se reemplazó el año 2000.

6. Nuevo límite de salinidad para el área de influencia

Propuesta

- Norma en base a estudios ecotoxicológicos locales en especies de importancia ecológica y económica.
- Normas secundarias de calidad ambiental.
- Actualización de norma de referencia a la vigente en Australia (ANZG, 2018)

6. Nuevo límite de salinidad para el área de influencia

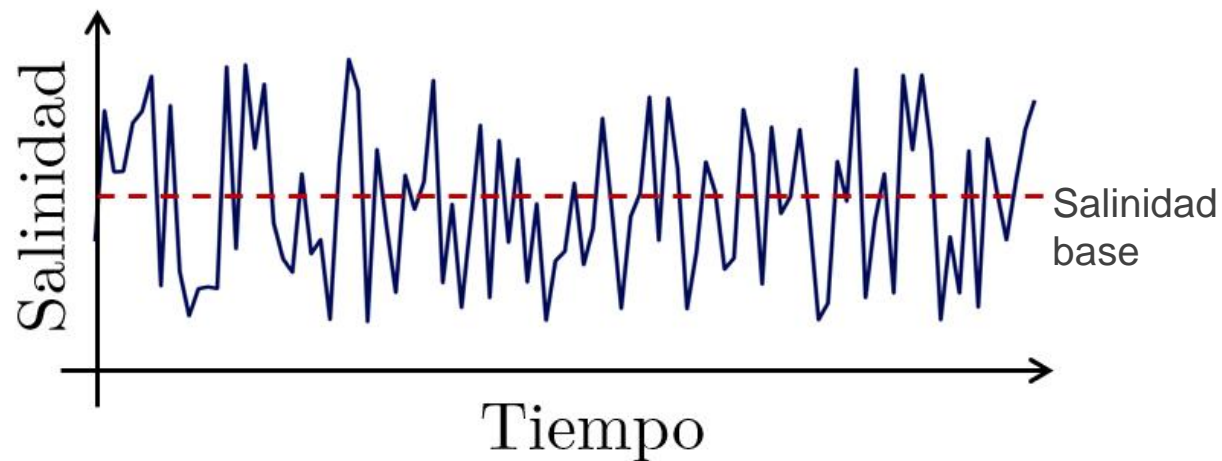
- Norma Australiana establece límites a partir de percentiles.
- Medición en sitios no impactados.



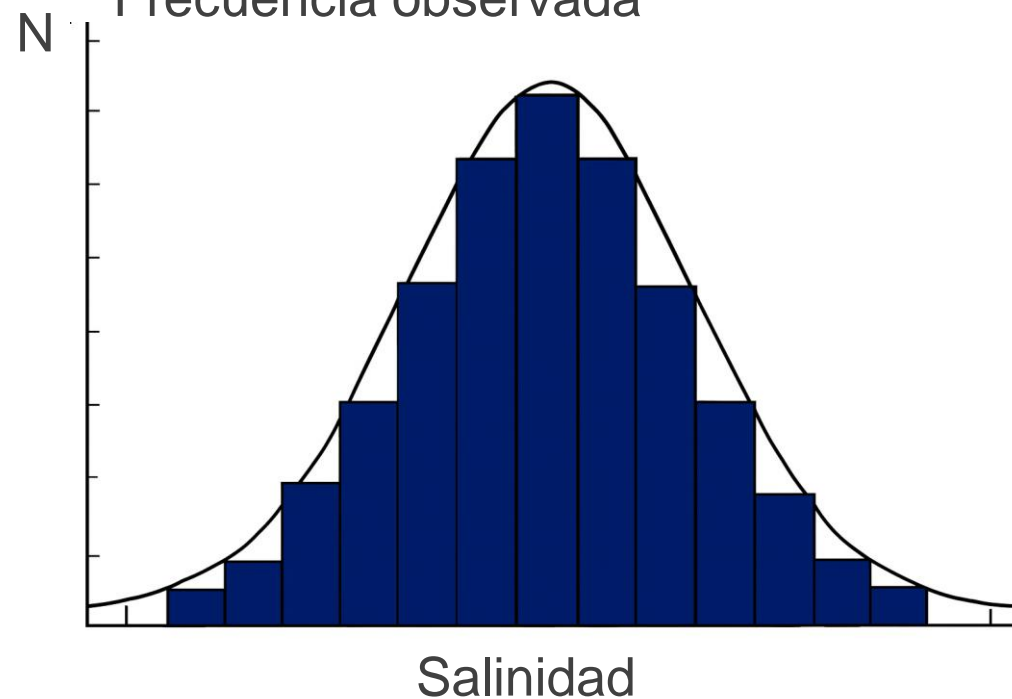
1 - 2 años, frecuencia mensual

6. Nuevo límite de salinidad para el área de influencia

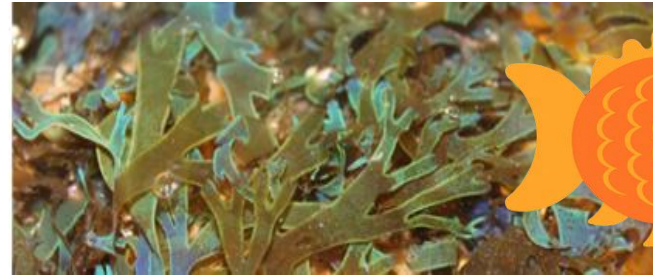
Salinidad observada



Frecuencia observada

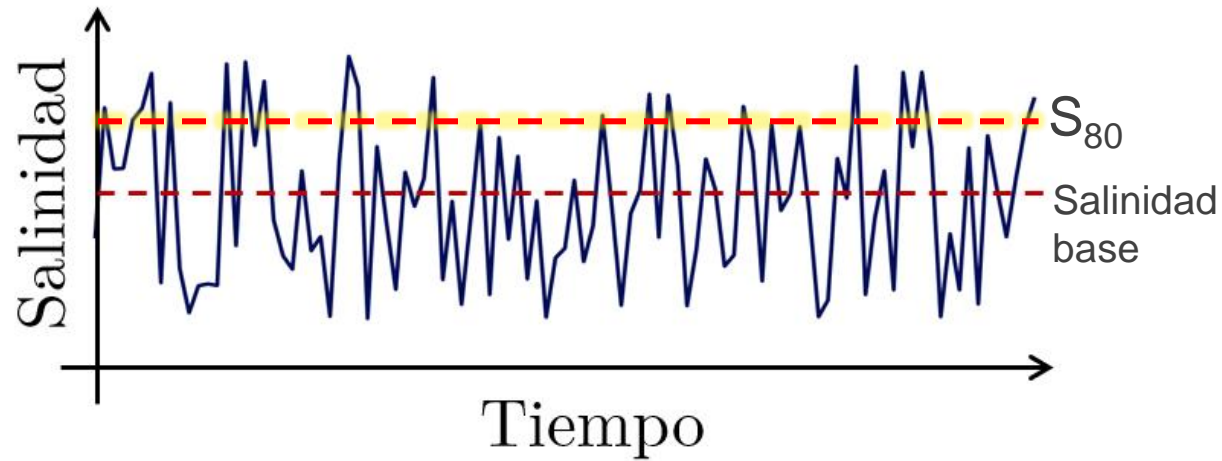


6. Nuevo límite de salinidad para el área de influencia

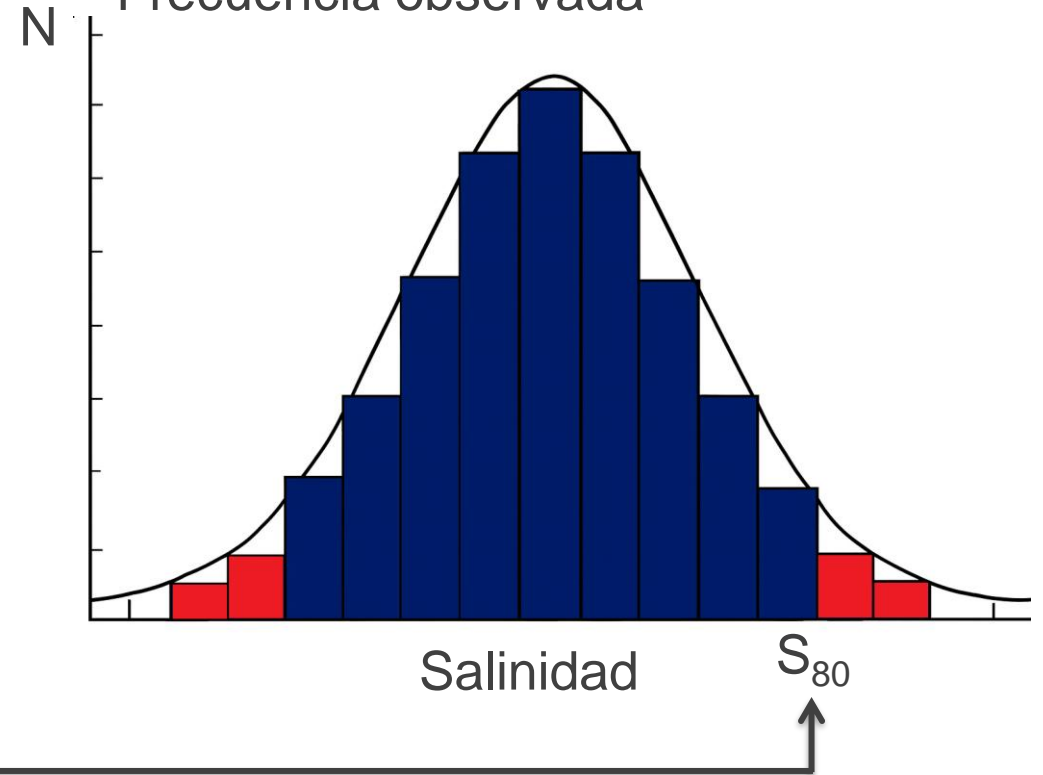


$< S_{80}$

Salinidad observada



Frecuencia observada



6. Nuevo límite de salinidad para el área de influencia

- El área de influencia se define comparando

Modelaciones en cada estación



Límite escogido

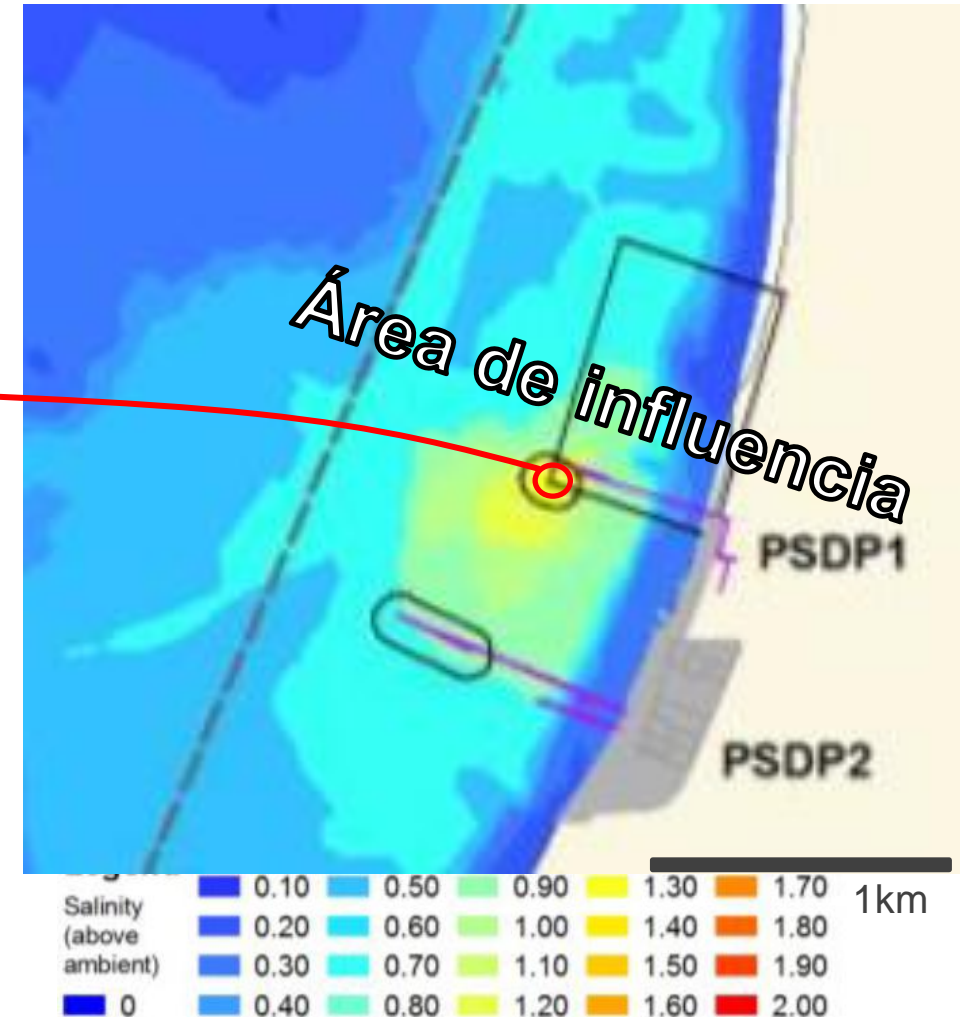
6. Nuevo límite de salinidad para el área de influencia

- Salinidad ambiente : 36.5 psu
- Criterio 5% incremento : +1.83 psu
- Criterio 10% incremento : +3.65 psu

No considera **variabilidad** natural

Ejemplo:

Perth Seawater Desalination Plant 2



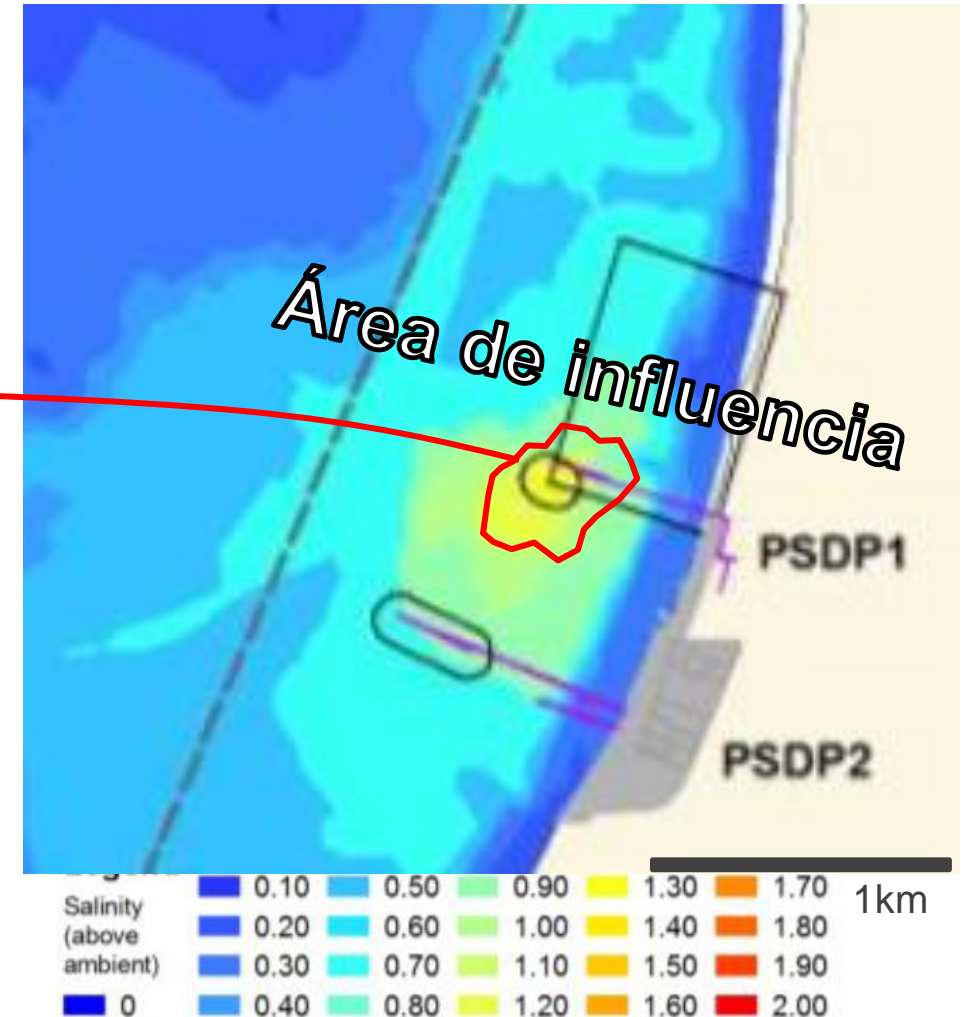
6. Nuevo límite de salinidad para el área de influencia

- Salinidad ambiente : 36.5 psu
- Criterio percentil 80% : +1.3 psu

Sí considera **variabilidad** natural (ANZG, 2018)

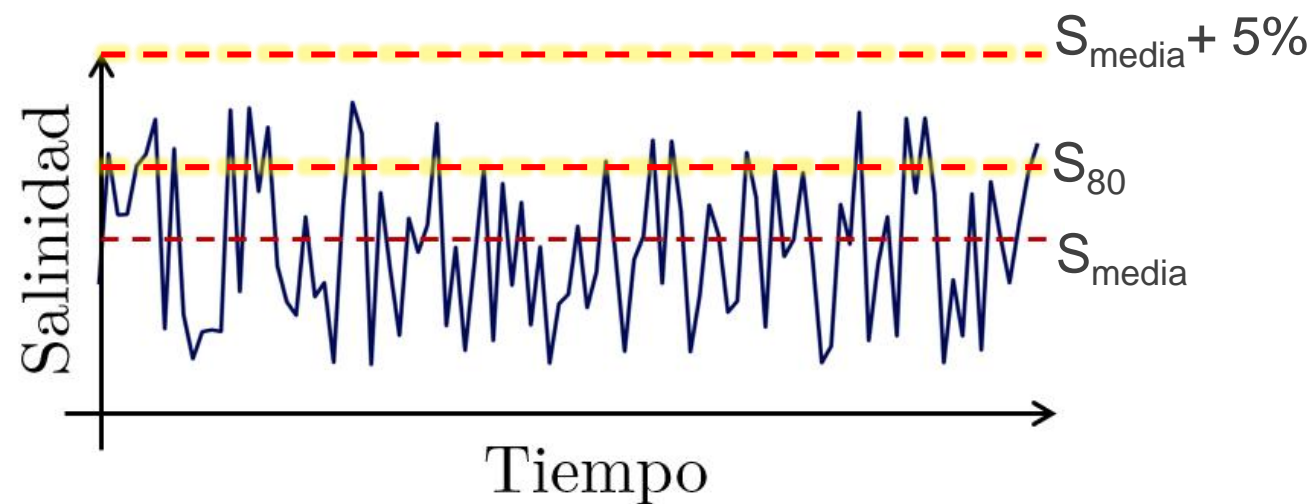
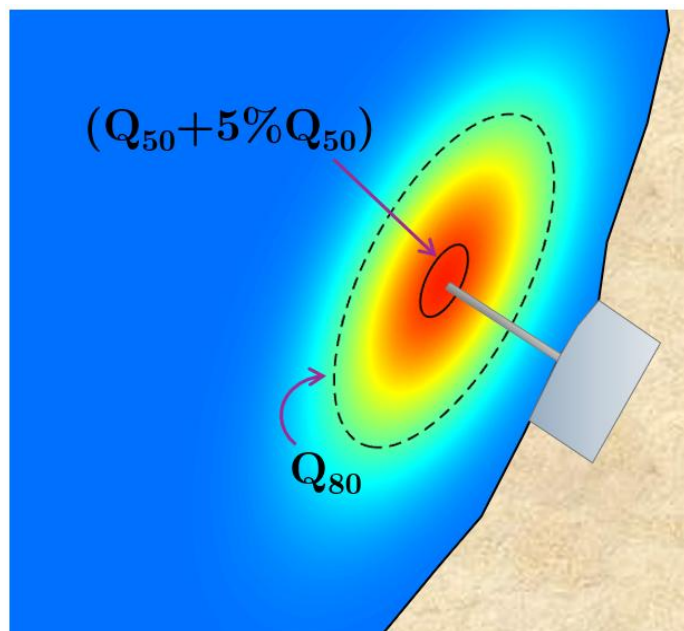
Ejemplo:

Perth Seawater Desalination Plant 2



6. Creación de límite de salinidad para el AI

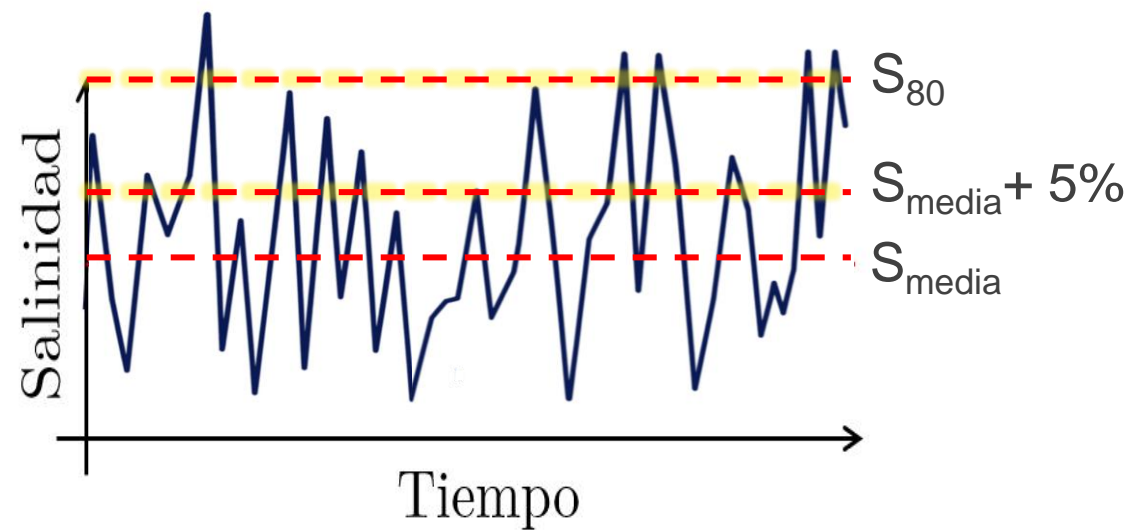
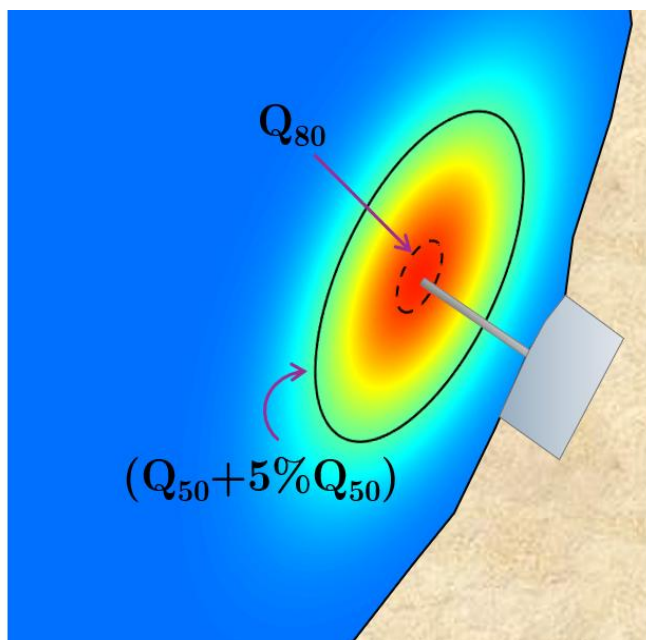
¿Cuándo es un criterio permisivo o restrictivo?



$S_{80} < S_{media} + 5\%$ \Rightarrow Más restrictivo

6. Creación de límite de salinidad para el AI

¿Cuándo es un criterio permisivo o restrictivo?



$S_{media} + 5\% < S_{80} \Rightarrow$ Más permisivo

Líneas de Investigación Prioritarias

- Efectos de las descargas en calidad del agua y sedimentos.
- Cuantificar impactos de la captación.
- Efectos de la salmuera a corto, mediano y largo plazo en organismos marinos.
- Desarrollo de métodos de detección temprana de impactos en especies sensibles.
- Desarrollo de tecnologías que minimicen y reutilicen la salmuera.

Agradecimientos

Centro UC
Políticas Públicas

- Sindicato de Pescadores de Caldera
- José Carrizo
(Nueva Atacama)
- Daniel Martínez
(Aguas CAP)
- Asistentes talleres 1 y 2





PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CHILE

Centro de Políticas Públicas UC

Edificio Patio Alameda UC

Avda. Libertador Bernardo O'Higgins 440, piso 12.
Santiago, Chile
Teléfono (56) 22354 5658

 @centrodepoliticaspUBLICASUC

 @cppUBLICASUC

  Centro de Políticas Públicas UC