

# Diseño de monitoreos marinos para desalinizadoras: criterios y buenas prácticas para PVAs

Dr. Humberto Díaz

Director Laboratorio de Biotecnología Marina y Bioensayos

Socio H&D Consultores



# Tabla de Contenido

01

Posibles Impactos de la  
Operación de SWRO

02

¿Qué Monitorear?

03

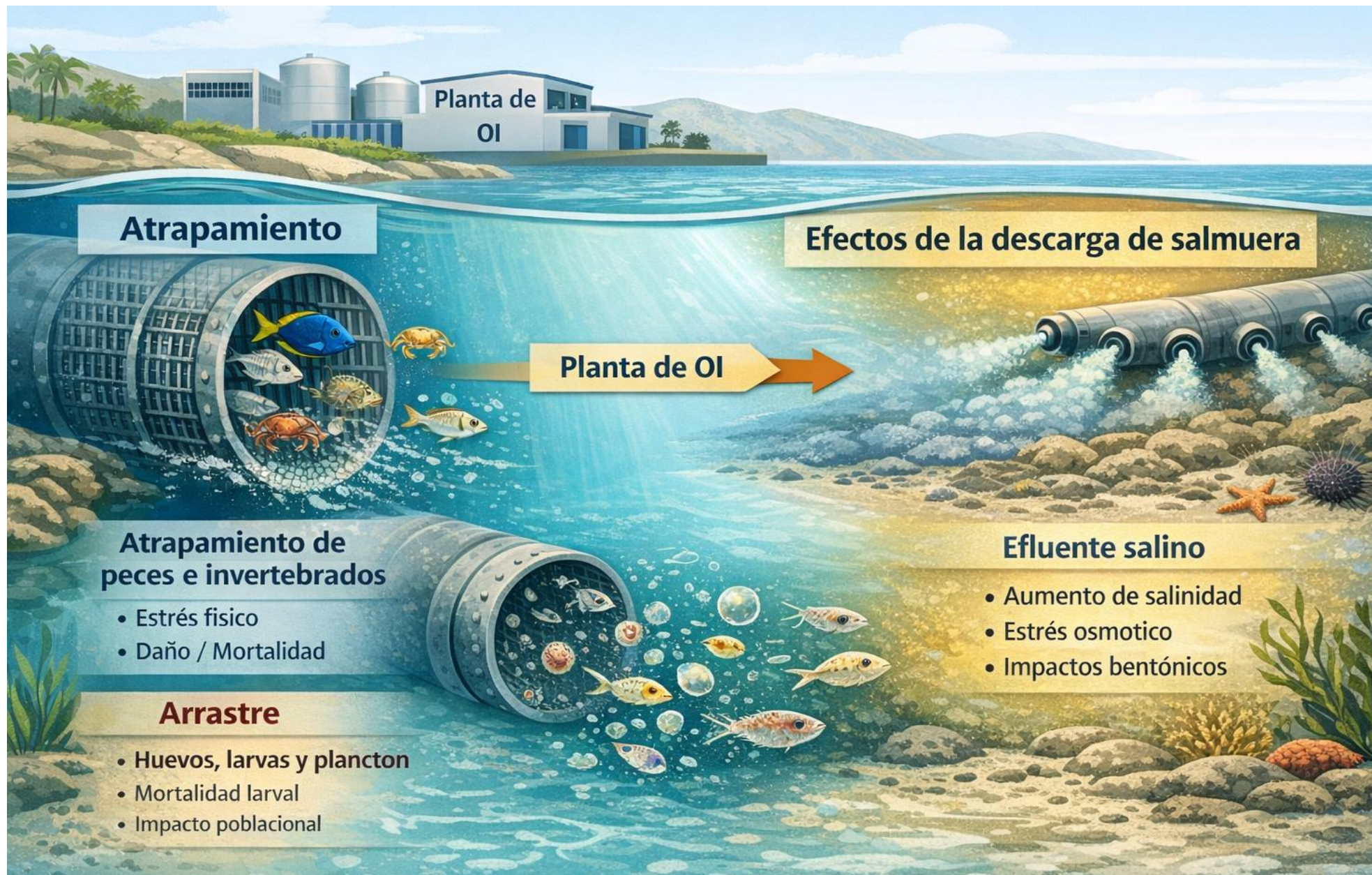
Conclusiones

1

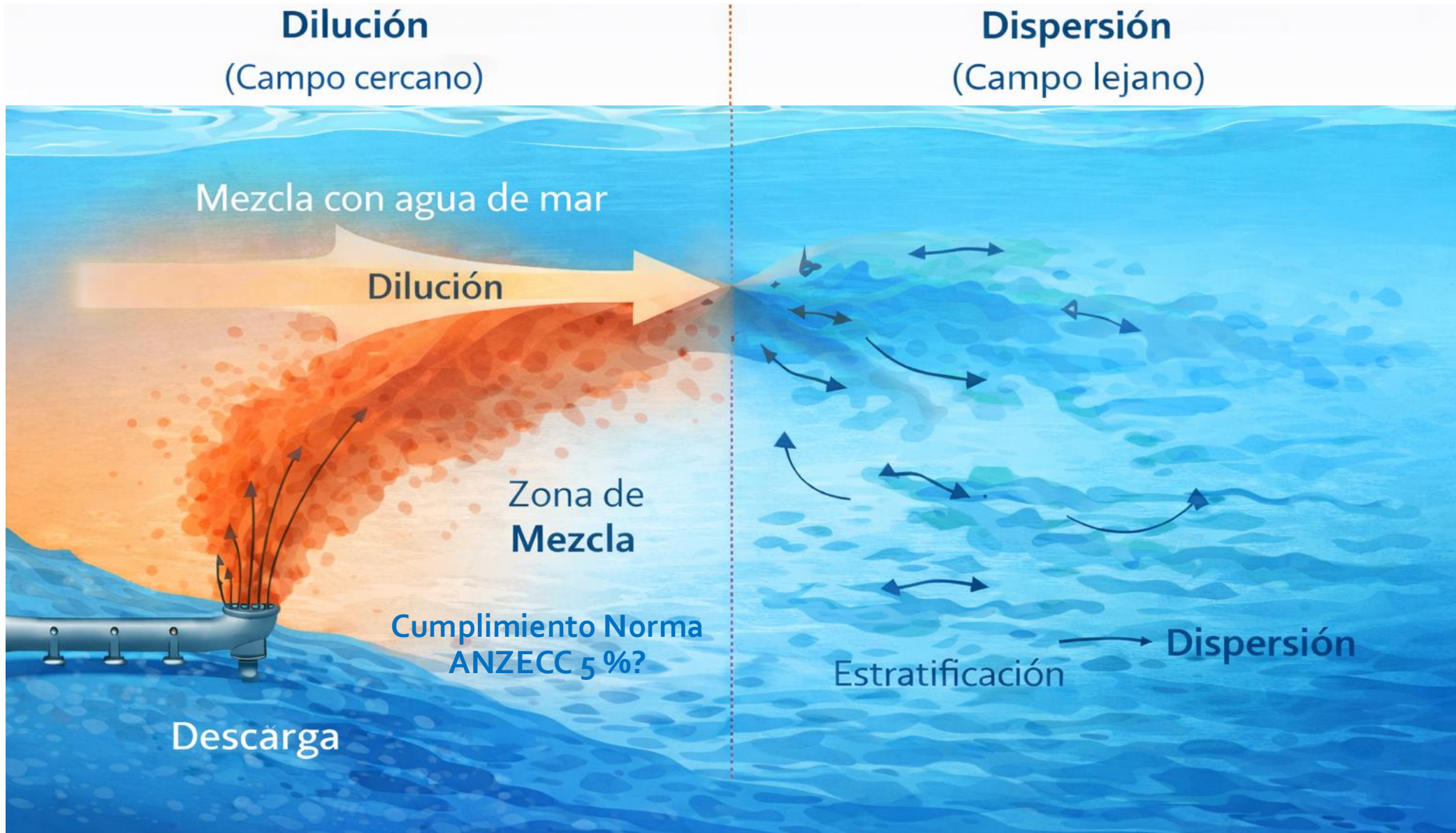
# Posibles Impactos de la Operación de la SWRO



# Posibles Impactos de una SWRO



# Posibles Impactos de una SWRO



# Efectos en los Organismos Marinos de la Salmuera

## Organismos Fotosintéticos

Fanerógamas Marinas y Macroalgas

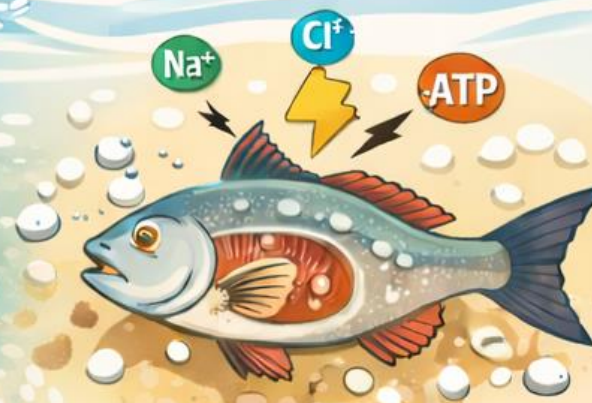


- ▶ ↓ Turgencia Celular
- ▶ ↓ Desorganización de Membranas
- ▶ ↓ Fotosíntesis y EFQ



## Animales Marinos

Branquias y Glándulas Salinas



- ▶ ↑ Demanda Energética
- ▶ ↑ Osmorregulación
- ▶ ↑ Costos de Mantenimiento

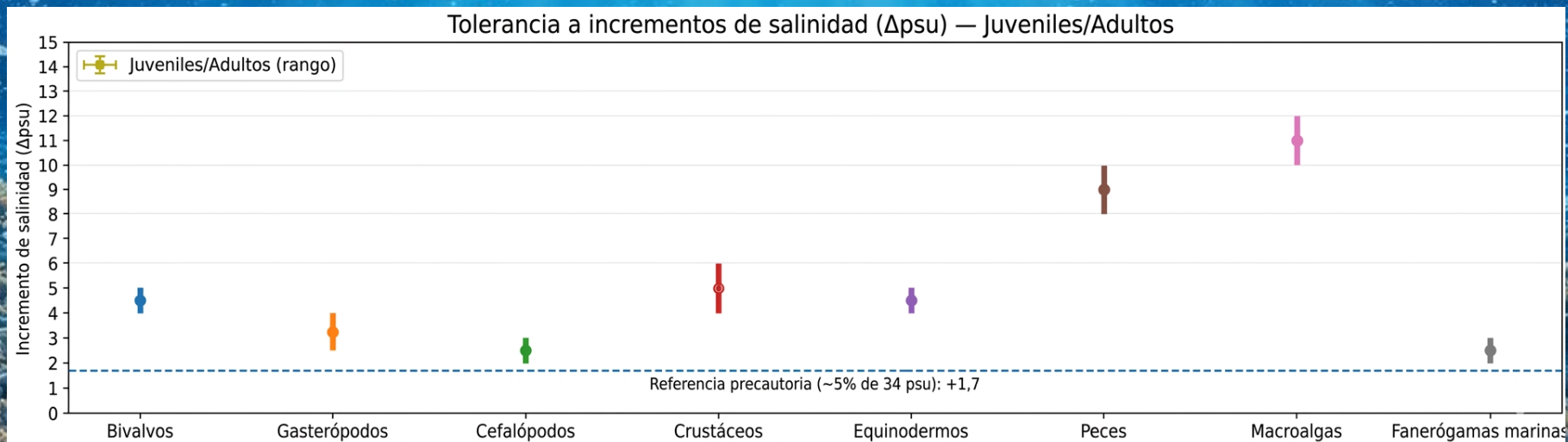
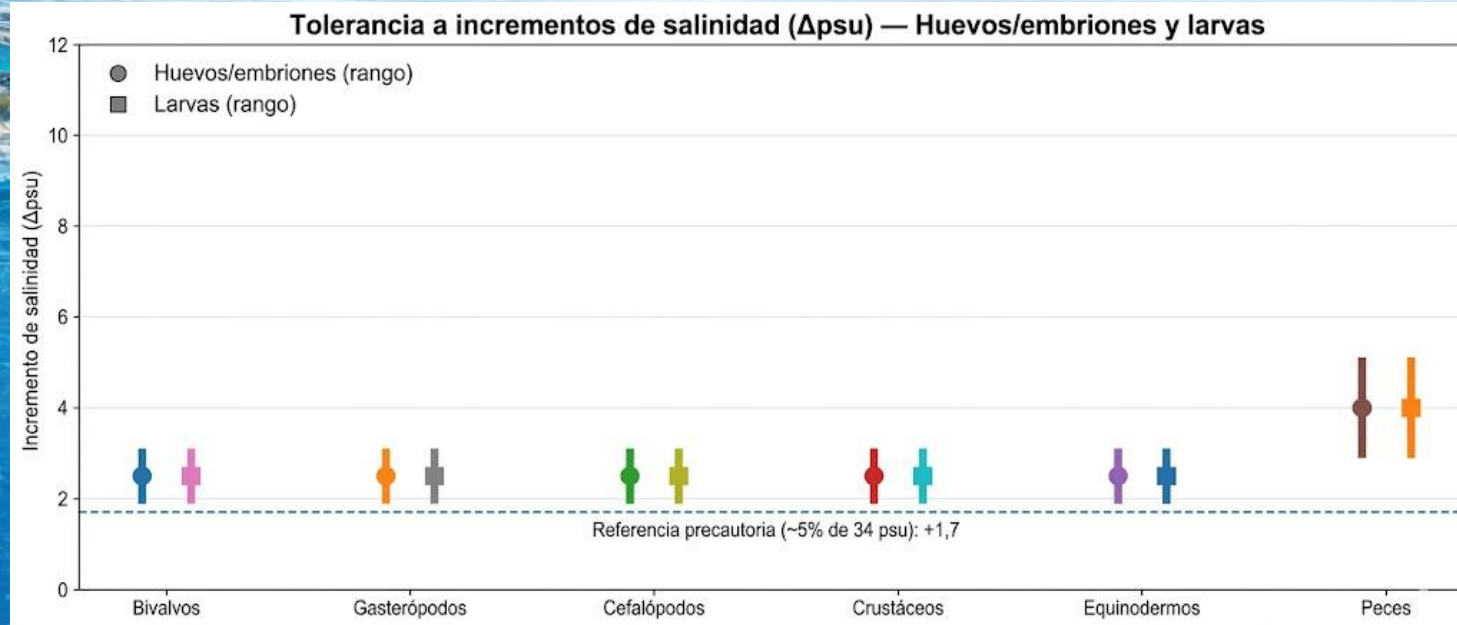


↓ Crecimiento y Reproducción

Estrés Ambiental Prolongado

→ Cambio en la Red Trófica

# Umbrales de Tolerancia de Incrementos de Salinidad – Huevos/Embriones, Larvas, Juveniles/Adultos



# Acondicionamiento Químico de la S

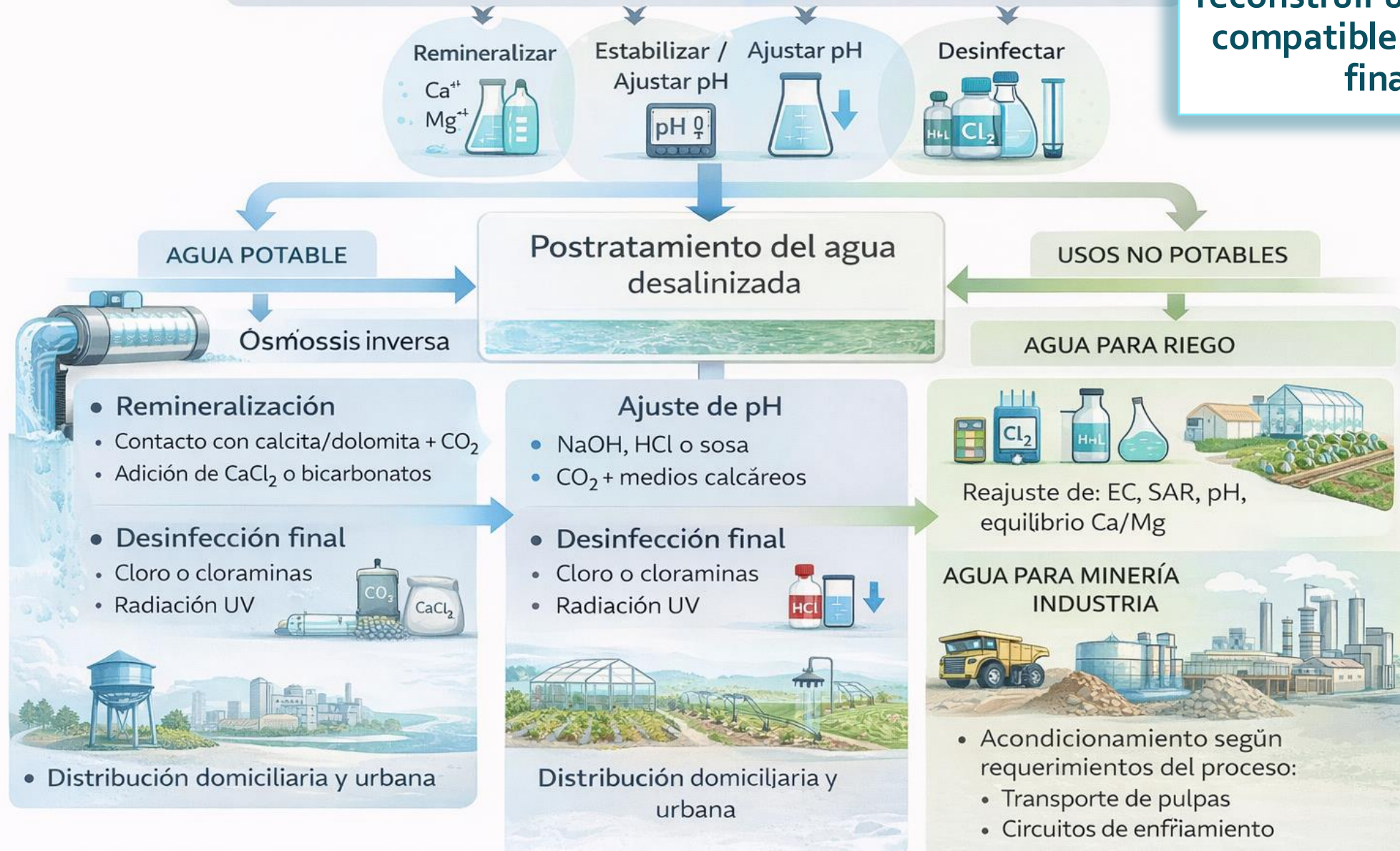
“El control químico asegura que la descarga no sea tóxica, pero el impacto ecológico está gobernado por la hidrodinámica de la pluma salina”



# Acondicionamiento Químico del Agua Des

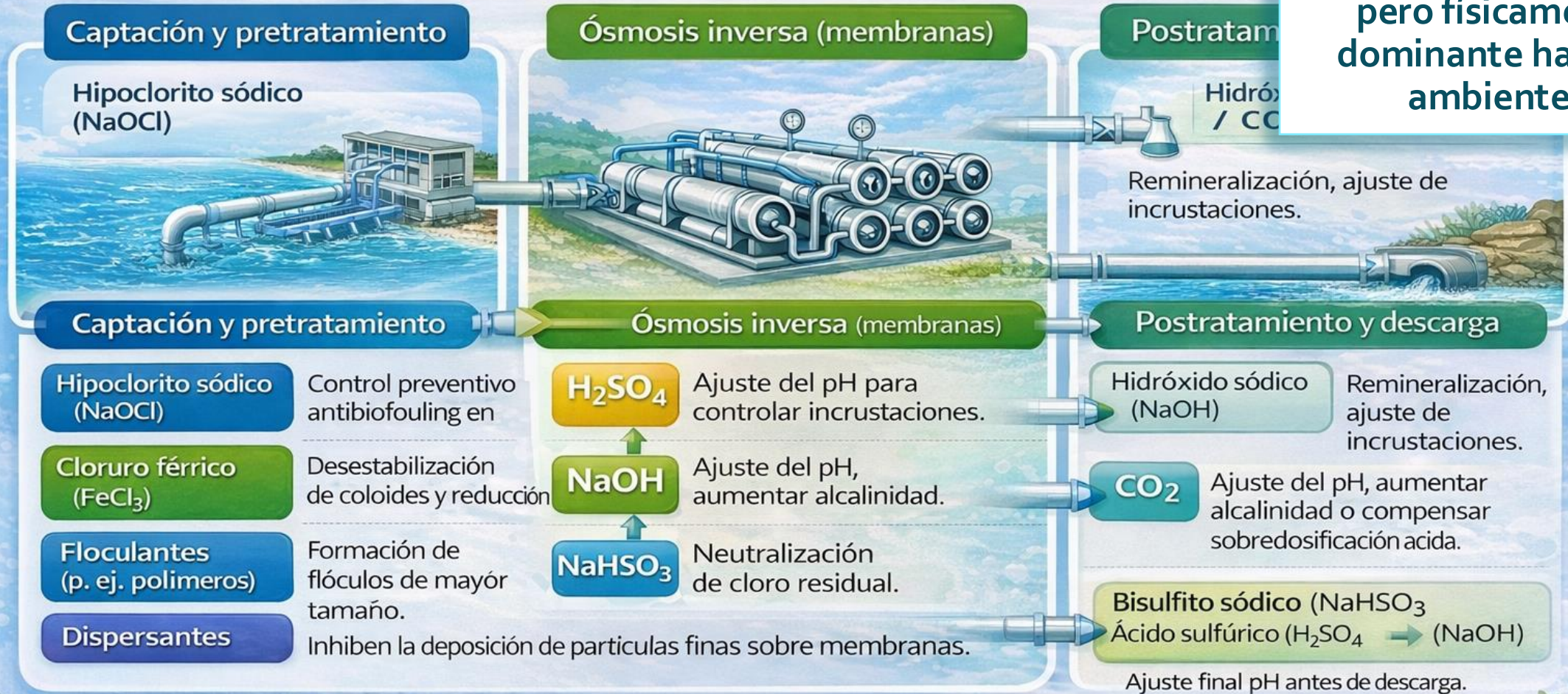
“El éxito de una planta no está solo en remover sales, sino en reconstruir una química compatible con el uso final”

Objetivos: Estandarizar, estabilizar y acondicionar químicamente el permeado



# Insumos químicos y funciones operacionales en plantas desalinizadoras por ósmosis inversa

“La desalación es un proceso químicamente intensivo hacia dentro, pero físicamente dominante hacia el ambiente”



# 2

## ¿Qué Monitorear?

Matrices Ambientales Marinas, Parámetros, Estaciones y Frecuencia



# ¿Qué Parámetros Monitorear?

## MONITOREO DE COLUMNA DE AGUA, SEDIMENTOS Y TEJIDOS DE INVERTEBRADOS EN DESALINIZADORAS

“Los oxidantes y reductores controlan el proceso, pero los metales definen el impacto ambiental”



# ¿Qué Parámetros Monitorear?

## MONITOREO DE ECOSISTEMAS MARINOS EN DESALINIZADORAS

### FITOPLANCTON

- Indicador de biomasa, y respuesta a cambios de salinidad, estratificación y nutrientes



### ZOOPLANCTON (huevos, larvas y PAE)

- Densidad y composición taxonómica



### COMUNIDADES BENTÓNICAS DE FONDOS DUROS

- Cobertura Porcentual de Macroalgas e Invertebrados Sésiles



250 impingement/4 h

### COMUNIDADES BENTÓNICAS DE FONDOS BLANDOS

- Abundancia y biomasa



- Riqueza Específica y diversidad



### BIOENSAYOS ECOTOXICOLÓGICOS

- Ensayos crónicos (crecimiento, reproducción)
- Ensayos Croincos (crecimiento, reproducción)



### FAUNA NECTÓNICA (si aplica)

- Registro de Impingement (Captura incidental)



BIODIVERSIDAD Y ABUNDANCIA

BIOACUMULACIÓN

DAÑO CELULAR

FAUNA NECTÓNICA (si aplica)

# ¿Con qué Frecuencia Monitorear?

## MONITOREO CONTINUO



Fauna nectónica (impingement)  
Registro continuo + reporte periódico

## MONITOREO SEMESTRAL

- Columna de agua  
CTD, salinidad, temperatura



Columna de agua



Parámetros  
físicoquímicos



Comunidades  
bentónicas



Zooplankton  
(huevos y larvas)

## MONITOREO SEMESTRAL / ANUAL

### SEDIMENTOS

Metales, HAPs, TOC, granulometría

- Sedimentos  
Metales, HAPs,  
TOC, granulometría



Pérdida de Adulto  
Equivalente (PAE)



### BIOENSAYOS ANUAL O CONTINGENTE

- Bioensayos ecotoxicológicos
  - Mortalidad aguda (LC<sub>50</sub>)
  - Ensayos crónicos



ENE

FEB

MAR

ABR

MAY

JUN

JUL

AGO

SEP

OCT

NOV

DIC

# ¿Cuántas Estaciones y Dónde Localizarlas?

## Ejemplos: Plan de Vigilancia Ambiental Medio Marino en Sector Coloso, Minera Escondida Ltda.

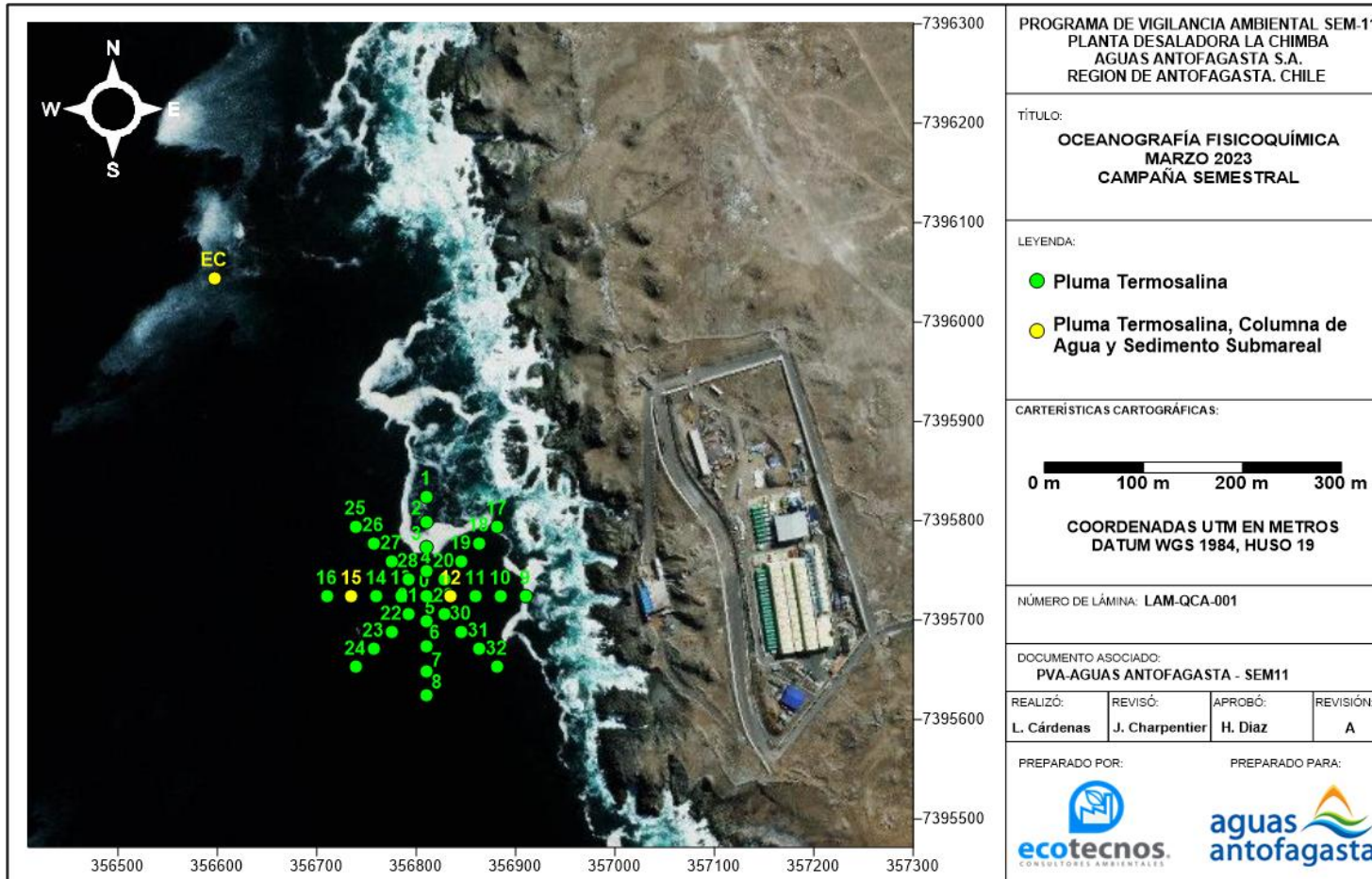


- 36 estaciones tomadas a 5 m de profundidad, 1 sola muestra por estación.

- Estudio Oceanográfico: perfiles de CTDO
- Columna de Agua: fosfato, fosforo total, silicato, arsénico, hidrocarburos totales, cadmio, cromo VI, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos totales, plomo, cobre.
- Sedimentos Submareales e Intermareales
- Elementos Traza en Organismos Intermareales
- Comunidades Planctónicas
- Comunidades Bentónicas Submareales de Fondos Blandos
- Comunidades Submareales en Fondos Duros
- Intermareal Rocoso

# ¿Cuántas Estaciones y Dónde Localizarlas?

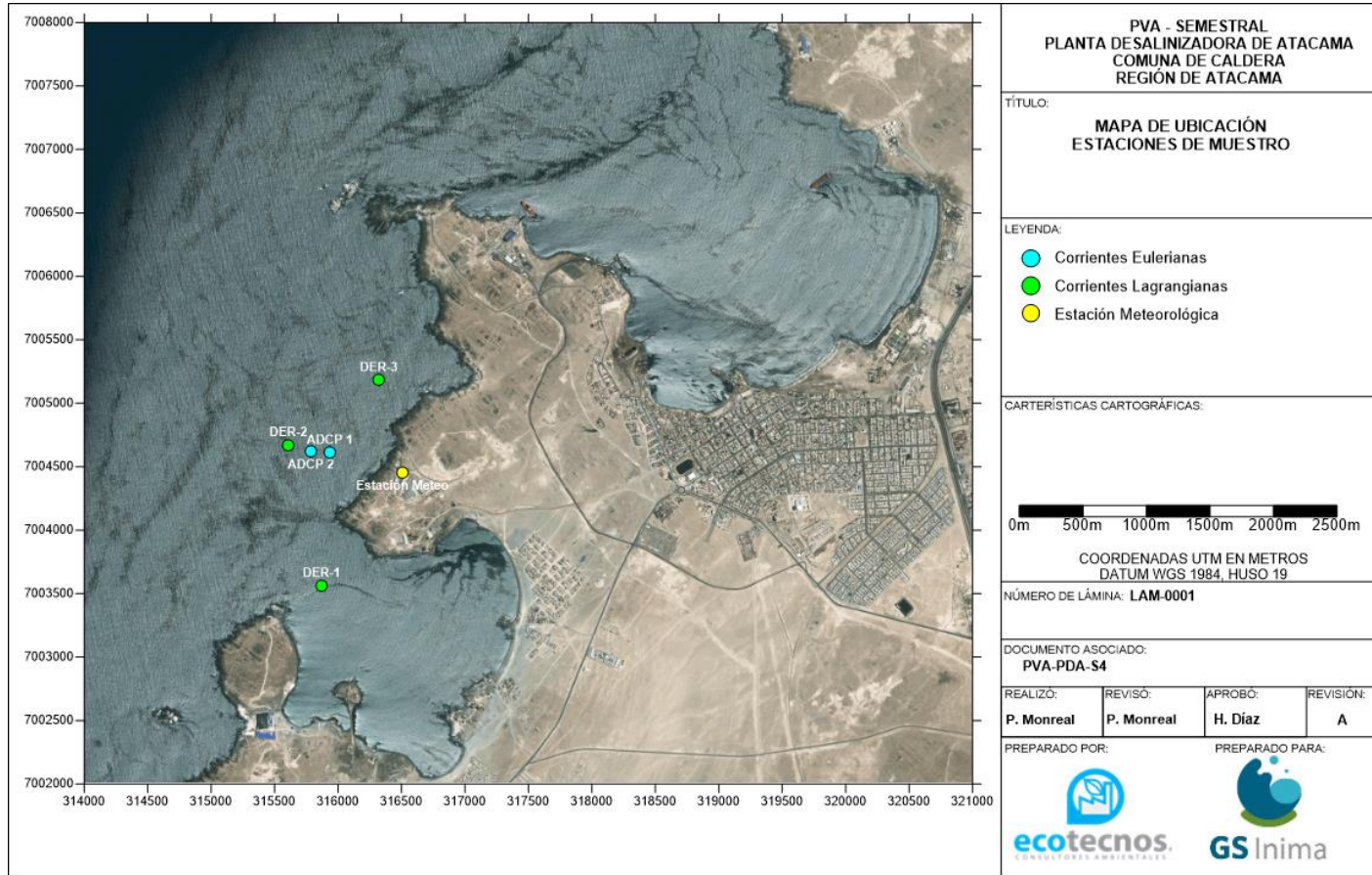
## Ejemplos: PVA del Medio Marino Proyecto Ampliación y Actualización Planta Desaladora La Chimba, Aguas Antofagasta



- Columna de Agua: CTDO, amonio, cadmio, cinc, clorofila a, cobre, fósforo total, nitrato, nitrito, nitrógeno total y plomo.
- Sedimento Marino Submareal
- Comunidad Zooplanctónica e Ictioplancton
- Comunidad Submareal de Sustrato Duro
- Comunidad Intermareal de Sustrato Duro
- 3 estaciones de muestreo a 3 prof.: 2 dentro del área de influencia de la Planta Desaladora La Chimba (estaciones 12 y 15), y una más alejada al norte designada como control (EC).
- 33 estaciones de muestreo (incluida la estación control) para CTDO.

# ¿Cuántas Estaciones y Dónde Localizarlas?

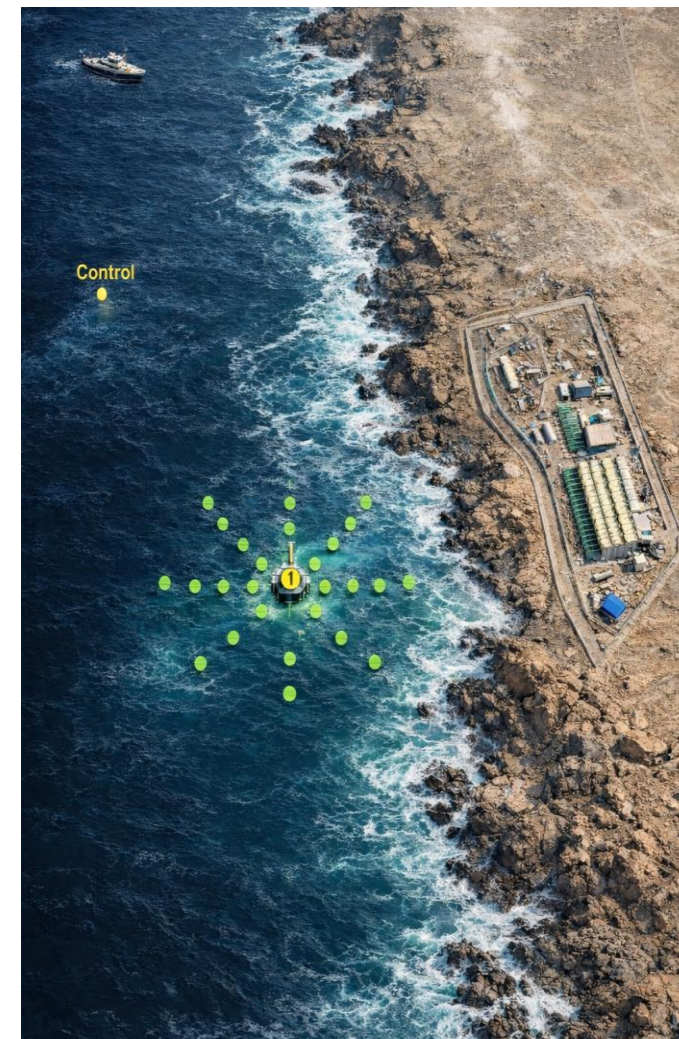
## Ejemplos: PVA del Medio Marino Planta Desalinizadora de Atacama, Región de Atacama



- Estudio de Vientos, Corrientes Eulerianas y Lagrangianas
- Columna de Agua: CTDO, Transparencia, pH, Cloro libre residual, Compuestos Fenólicos, Nitrógeno Total, Detergente (SAAM), Hidrocarburos Fijos, Hidrocarburos Totales, Hidrocarburos Volátiles, Sólidos Suspendidos Totales, Clorofila a.
- Sedimento Submareal
- Comunidad Fitoplanctónica
- Comunidad Zoo e Ictioplanctónica
- Comunidad Macrobentónica Submareal de Sustrato Blando
- Comunidad Macrobentónica Submareal de Sustrato Duro
- Comunidad Macrobentónica Intermareal de Sustrato Duro

- 20 estaciones de muestreo (sin réplicas) a 2 profundidades + CTDO.

# Perfiles de CTD y Seguimiento de Plumas Salinas

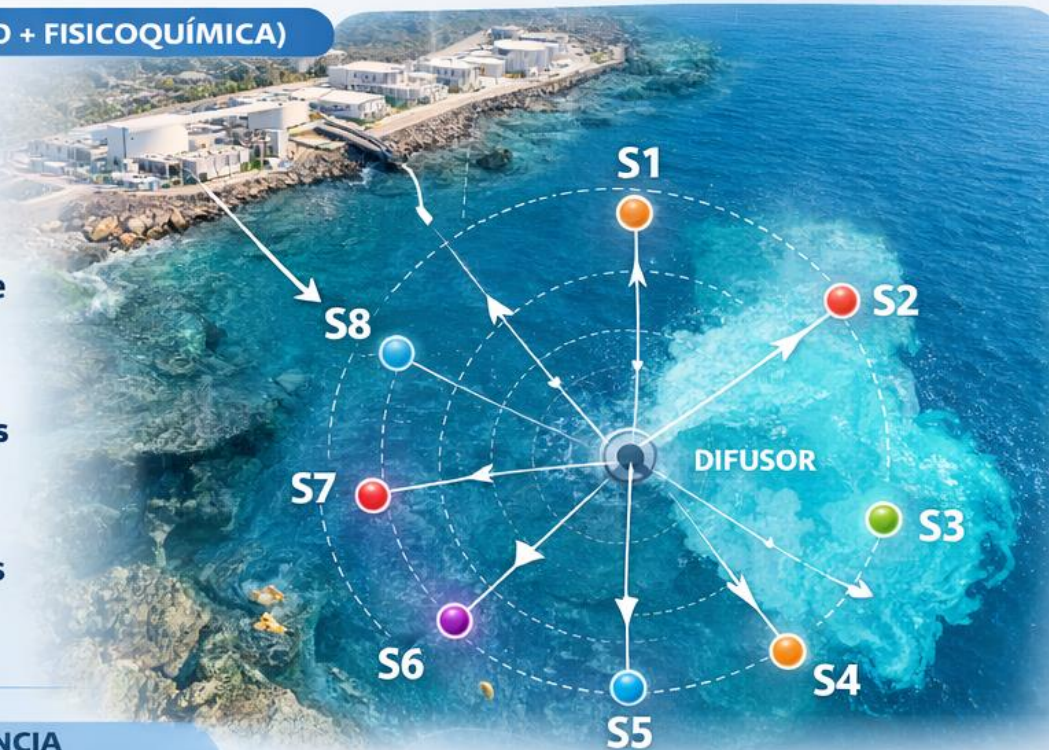


# Diseño de Estaciones en PVAs Marinos de SWRO

## COLUMNA DE AGUA (CTD + FÍSICOQUÍMICA)

**6 – 10**  
estaciones mínimas

-  1 estación sobre el difusor
-  4 – 8 estaciones radiales
-  1 – 2 estaciones de referencia



## SEDIMENTOS Y BENTOS

**4 – 6**  
estaciones

-  2 – 3 en zona de máxima exposición
-  1 intermedia
-  1 – 2 de referencia



## ESTACIONES DE REFERENCIA

-  Fuera del radio de influencia modelado
-  Misma profundidad y sustrato
-  Sin otras presiones antropogénicas



## FACTORES QUE AUMENTAN ESTACIONES

-  Praderas marinas
-  Bentos estructurales
-  Áreas de manejo
-  Baja hidrodinámica

## ENFOQUE ADAPTATIVO


**Años 1–3**  
Mayor densidad

**Años >3**  
Optimización



## VALIDACIÓN Y ANÁLISIS

 Gradiente salino

 Modelo de pluma

 Sensibilidad de organismos

**Diseño BACI**  
Before – After – Control – Impact

3

# Conclusiones



# Conclusiones



El principal foco del monitoreo debe ser el efecto real de la descarga sobre el ecosistema, no solo la caracterización del efluente.

*Salmuera, químicos y dispersión en agua, sedimento y biota.*



No basta con medir “parámetros”: hay que monitorear procesos.

*Dinámica de pluma salina, variabilidad local y respuesta ecológica.*



La sensibilidad biológica no es uniforme.

*Huevos, larvas y juveniles más vulnerables que adultos.*



Frecuencia y localización son clave.

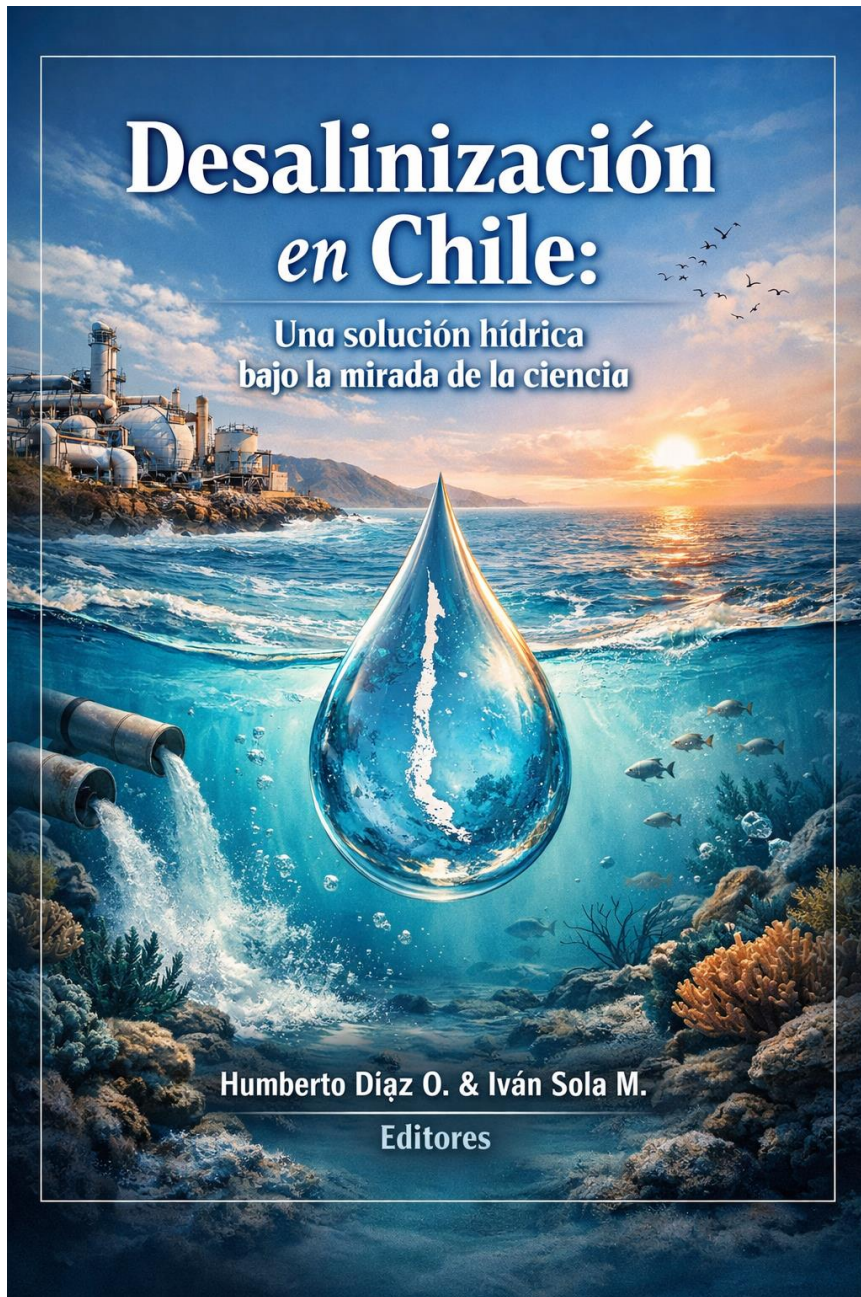
*Estaciones en gradientes de impacto, bien distribuidas y temporizadas.*



CTD y seguimiento de plumas son esenciales.

*Verificar pluma en terreno y ajustar el PVA.*

**En desalación, monitorear bien no es medir más: es medir lo correcto, en el lugar correcto, con la frecuencia correcta y con una pregunta ecológica clara.**



- Capítulo 1: Algo de Historia de la Desalinización
- Capítulo 2: Conceptos Fundamentales
- Capítulo 3: Funcionamiento de una Planta Desalinizadora
- Capítulo 4: Atrapamiento, Arrastre y Umbrales de Osmorregulación
- Capítulo 5: Efectos y Patrón de Dispersión de las Plumas Salinas en los Ecosistemas Costeros de Chile
- Capítulo 6: Bioensayos Experimentales en el Entorno de los Vertidos de Salmuera
- Capítulo 7: Impacto de los Vertidos de Salmuera en los Ecosistemas Bentónicos
- Capítulo 8: Modelación Numérica Aplicada a Plantas Desalinizadoras
- Capítulo 9: Régimen Jurídico que es Aplicado a las Obras Marítimas de Captación y Descargas de las Plantas Desalinizadoras en Chile
- Capítulo 10: Análisis de los Requerimientos Ambientales de los Programas de Vigilancia Ambiental

# CONGRESO ACADES 2026

 [congresoacades.cl](http://congresoacades.cl)