

DEPARTAMENTO DE INICIATIVAS DE FOCALIZACIÓN ESTRATÉGICA

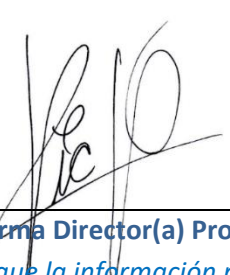
**CONCURSO FONDO DE INVESTIGACIÓN ESTRATÉGICA EN SEQUÍA (ASIGNACIÓN RÁPIDA) AÑO
2021, ANID.**

INFORME TÉCNICO FINAL

Pautas:

El informe debe redactarse siguiendo el formato que se especifica a continuación. La versión electrónica debe ser enviada a la siguiente dirección de correo electrónico:

- mcamelio@anid.cl
- fsantibañez@anid.cl
- mortiz@anid.cl



Firma Director(a) Proyecto

**Doy fe de que la información provista en este documento es completa, correcta y verdadera*

FECHA DE ENVÍO DE INFORME dd/mm/aaaa	21/07/2023
---	-------------------

I. ANTECEDENTES GENERALES DEL PROYECTO

FSEQ210017	Fundamentos oceanográficos y biológicos para la planificación y diseño de plantas desaladoras en centro-norte de Chile	
CODIGO DEL PROYECTO	NOMBRE DEL PROYECTO	
Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA)		
NOMBRE DEL CENTRO / INSTITUCIÓN BENEFICIARIA		
Victor Aguilera	14530494-6	victor.aguilera@ceaza.cl
DIRECTOR(A) DEL PROYECTO	RUT	E-mail
Avda. Ossandon 877, Coquimbo, Chile		51267
DIRECCION		FONO
PERÍODO QUE SE INFORMA	21-12-2021	23-06-2023
	DESDE (DD-MES-AÑO)	HASTA (DD-MES-AÑO)

II. RESUMEN EJECUTIVO (máx. 02 páginas)

Tres fueron las líneas de trabajo del proyecto ***Fundamentos oceanográficos y biológicos para la planificación y diseño de plantas desaladoras en centro-norte de Chile***. Modelación de la circulación costera y experimentos de disolución de salmuera en localidades con plantas funcionando (Los Vilos y Chungungo) o en proyecto (El Panul y Totalillo Norte), evaluación experimental de efectos biológicos de la salmuera en especies marinas de interés socioeconómico (macha, loco, huiro), y gestión territorial asociada a la normativa ambiental de las plantas desaladoras. El análisis de largo plazo (climatológico) de la circulación e hidrografía de la costa de Chile centro-norte, en particular de la región de Coquimbo, muestra un gradiente de salinidad creciente de sur a norte y desde la costa hacia el océano abierto, gradiente que se intensifica en los meses de invierno-primavera. Es decir, las diferencias salinas que hay entre el norte (norte de Caldera) más salado y el sur (sur de Coquimbo), son más altas durante la primavera y verano. Las corrientes superficiales (20 m) y su potencial de dispersión son muy variables a lo largo de las localidades costeras de la región de Coquimbo, y se relaciona con la línea de costa y profundidad del fondo marino. Las corrientes y dispersión indican que existen porciones de la costa de la región de Coquimbo con menor capacidad de dilución, por ejemplo, salmuera, en particular el segmento costero entre Chungungo (29.4°S) y Peñuelas (30.3°S), donde se observa el menor potencial de dispersión. Por otra parte, al norte de Los Choros (29.3°S) y sur de Puerto Aldea (30.3°S), se observa el máximo potencial de dispersión. Sin embargo, existen localidades costeras que contrastan del entorno como Puerto Manso, Huentelauquén y Chigualoco con pobre circulación en relación con el entorno. Las corrientes superficiales y su potencial de dispersión en general muestran una fuerte relación con el viento a lo largo del año. La surgencia y su fase de relajación, es decir, cese del viento y desaceleración de las corrientes, incrementan o reducen el potencial de dispersión de las corrientes a lo largo de la costa. Esta información puede contribuir significativamente a disminuir los posibles efectos biológicos de la descarga de salmuera por parte de las plantas desaladoras, al coordinar dichas descargas con periodos de mayor intensidad de viento, y por lo tanto, mayor potencial de dispersión. En cuanto a la simulación de efectos de descargas de salmuera, estas consideraron la descarga de capacidad de producción media-baja (1.3 m³/s a 75 PSU). Las simulaciones en localidades costeras con proyectos propuestos (El Panul y Totalillo Norte) o que ya cuentan plantas desalinizadoras de envergadura industrial (Los Vilos) funcionando, revela un drástico cambio (e.d., anomalías) en la concentración y variabilidad de la salinidad en el área de descarga. Dicho impacto involucra toda la columna de agua, aunque con mayor severidad el fondo marino. Estos efectos se limitan al área cercana al emisario (radio de 1 km) expandiéndose unos cuantos kilómetros (máximo 10 km) solo en escenarios de baja circulación, como relajación de surgencia o subsidencia (proceso opuesto a la surgencia). Estos escenarios son sensibles al diseño y capacidad operativa de la planta. De acuerdo con las simulaciones de descarga de salmuera, los efectos locales se relacionan a la circulación en el punto de descarga, y en localidades costeras como el Panul resultan mínimos en contraste con las localidades con menor potencial de dispersión como Totalillo norte, o al interior de bahías como en el caso de Los Vilos. Lo anterior remarca lo crucial de evaluar mediante mediciones y modelación la idoneidad de los emplazamientos tentativos, así como la planificación de los periodos de descarga en el caso de plantas que ya están en funcionamiento. Para la evaluación experimental de efectos biológicos de la salmuera, contamos con el aporte de salmuera proveniente de una planta desaladora de baja capacidad de producción (5.6 L/s), emplazada en la región de Coquimbo. En condiciones controladas de laboratorio, investigamos los efectos letales (mortalidad) y subletales (aumento de metabolismo, tiempo de enterramiento, consumo de oxígeno) de la exposición aguda (por 6 h) a salmuera y a diluciones de salmuera. Las especies estudiadas fueron juveniles de *Mesodesma donacium* o macha, juveniles y larvas de *Concholepas concholepas* o loco, y meioesporas de *Macrocystis pyrifera* o huiro). La

exposición experimental a salmuera no generó efectos letales en ninguna de las especies estudiadas, aunque si ocurrieron efectos subletales. Los efectos subletales se registraron solamente en valores salinidad máxima, equivalente a salmuera sin dilución con agua de mar, es decir, inmediatamente en la proximidad de una descarga de salmuera. En algunas especies, los efectos subletales se revirtieron luego de reducirse la salinidad del agua, mientras que otros efectos subletales persistieron incluso después de 12 h de exposición a agua con salinidad normal. Si bien la exposición a salmuera no generó efectos letales, se debe considerar que la trabajamos con salmuera de una planta pequeña donde el uso de químicos para el mantenimiento de la infraestructura de la planta es mínimo. Estos efectos entonces pueden cambiar frente a la descarga de una planta de mayor capacidad y mayor uso de químicos. Adicionalmente, los efectos subletales que se observaron tienen una trascendencia ecológica importante, en particular la capacidad de enterramiento de las especies que viven en el fondo marino. Si por algún factor, esta capacidad se ve inhibida o ralentizada, los organismos se exponen a depredación facilitada artificialmente. Esto es importante de considerar sobre todo si en las proximidades de la planta se encuentra un área de manejo de recursos bentónicos. La gestión territorial consistió en una serie de reuniones y talleres con las distintas autoridades y entidades del estado involucradas en la normativa relativa a las plantas desaladoras, CORE Coquimbo, Seremi de Salud, Sernageomin, Directemar, Seremi de Medio Ambiente e Instituto de normalización nacional (INN). El resultado de esta gestión revela una normativa frágil en la cual no existe cuerpo legal directo que permita la evaluación y monitoreo de plantas desaladoras. En principio, las plantas desaladoras no son evaluadas directamente sino como una actividad anexa a un proceso productivo o actividad adicional. Por lo tanto, no está definido si ingresan como una Declaración de Impacto Ambiental o como un Estudio de Impacto Ambiental. Debido a esto, no existe definición de volúmenes o intensidad de succión, aspectos altamente relevantes desde el punto de vista la pesca y acuicultura, o volúmenes de producción de agua y descarga de salmuera por parte de estas plantas. Por ejemplo, las plantas para consumo humano se evalúan por ser sistemas de agua potable y cuando las plantas desaladoras pertenecen a alguna actividad productiva, se evalúan como actividad dentro del proceso productivo. Adicionalmente, la Ley 19300/1994 en su art. N°2 que define contaminación, no contempla residuos de las plantas desaladoras. Las tablas 4 y 5 de la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales (D.S. N° 90/2001), no contemplan residuos de las plantas desaladoras. Esto implica que, aunque las plantas desaladoras puedan generar un impacto en el medio marino, no introducen contaminantes ya que no están tipificados como tal. Esto impide que los servicios participando de la evaluación de impacto ambiental, puedan impedir un posible daño socio-ecológico, o exigir al titular al momento de declarar junto al proyecto los posibles contaminantes que pudieran existir en la salmuera que será vertida al mar. Para fortalecer el principio precautorio de la normativa ambiental, se requiere tipificar (detallar) las descargas de las plantas en los indicadores de contaminación (Tablas de máximos 4 y 5). Esta normativa podría ser alternativamente modificada a través del INN. Sin embargo, la modificación de una normativa como la ambiental relacionada a plantas desaladoras, no parece viable a través de la gestión del INN debido principalmente a los costos y derechos de usos de las normas generadas a través de INN.

III. RESULTADOS

Modelación de la circulación costera.

La presente sección contiene los resultados de la modelación de alta resolución (3 y 1 km) de la circulación costera en la región de Coquimbo (Fig. 1). Para este proceso se utilizaron análisis eulerianos y lagrangianos que permitieron establecer los patrones temporales de circulación, dispersión, concentración a lo largo de la costa. En el establecimiento de estos patrones de circulación, detectamos que la actividad de las corrientes costeras se acopla al forzamiento del viento. Esta relación entre el viento, circulación y magnitud las corrientes, se intensifica a mediados del invierno llegando a ser máxima durante la primavera.

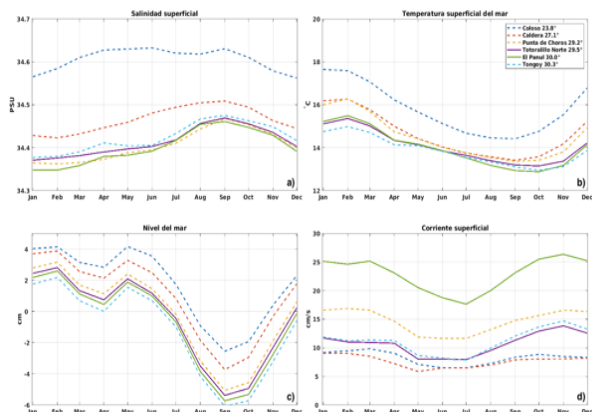


Fig.1: Climatología mensual del periodo 1958-2008 de: a) salinidad superficial, b) temperatura superficial del mar, c) nivel del mar y d) magnitud de la corriente en superficie para las localidades costeras de Coloso y Caldera en las regiones de Antofagasta y Atacama, junto con las localidades de Punta de Choros, Totoralillo Norte, El Panul y Tongoy en la región de Coquimbo.

El viento y la surgencia costera (i.e. ascenso de agua fría del fondo a la superficie), junto a la distribución latitudinal de las masas de agua frente a Chile centro-norte y norte, establecen un gradiente de reducción salina desde el norte (Antofagasta Caldera), con mayor presencia de masas de agua de origen ecuatorial (más saladas y cálidas), hacia el sur donde predominan aguas de origen subantártico (menos saladas y frías). Los vientos paralelos a la costa con dirección al norte son continuos promueven surgencia costera, lo que impone un gradiente zonal de salinidad con menor concentración a lo largo de la costa en comparación con el océano abierto. Finalmente, la salinidad costera exhibe una estacionalidad moderada con un máximo (mínimo) en invierno y primavera (verano y otoño).

Patrones de circulación y dispersión a lo largo de la costa

Se definieron siete escenarios de condiciones oceanográficas a partir de los resultados de ambos modelos CROCO NCCHILE y DSALO. A modo de síntesis, solo reportamos resultados usando la simulación DSALO (3km) con los patrones de circulación más recurrentes a lo largo del año en la costa de Coquimbo. Estos escenarios de circulación se establecieron para 30 localidades costeras de la región de Coquimbo, sobre la base de la condición dominante de circulación, esto es **surgencia activa**, en la cual se produce un transporte de agua (Ekman) desde la costa hacia el océano abierto ($<-1 \text{ m}^3/\text{s}$), y **relajación de surgencia** den el cual el transporte está en el rango de 0.2 y $-0.2 \text{ m}^3/\text{s}$. Los resultados de ambos casos para las 30 localidades (Fig. 2) se definen a partir de los registros de viento en superficie medidos en Punta Lengua de Vaca (30.25°S) y Chañaral de Aceituno (29.00°S). Este análisis revela áreas con mayor o menor circulación y potencial de dispersión de plumas salinas a lo largo de la costa. Las localidades costeras ubicadas entre Chungungo y Peñuelas tienen en general un potencial reducido de dispersión en escenarios de surgencia intensa y relajación. Al contrario, desde Puerto Aldea a Puerto Oscuro y desde Los Vilos a Pichidangui la dispersión se maximiza. No obstante, existen localidades aisladas como el caso de Puerto Manso, Huentelauquén y Chigualoco que presentan una reducción importante en relación con el entorno.

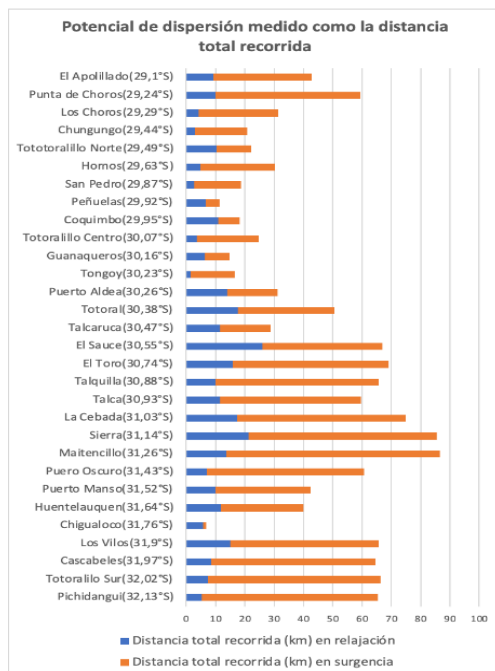


Fig. 2: Potencial de dispersión medido a lo largo de la trayectoria de las partículas en escenarios de surgencia y relajación.

Lo anterior revela la alta heterogeneidad de condiciones de circulación a lo largo de la costa modulada por la configuración batimétrica (profundidad) y la forma costera (cabos, bahías, mesetas, penínsulas etc.).

Impactos de las descargas de salmuera a lo largo de la costa

Establecimos el impacto teórico en el medio marino, en términos de cambios en la salinidad y en la hidrografía y circulación costera, debido al funcionamiento de 3 plantas desalinizadoras en la región de Coquimbo con descarga continua de salmuera a 1.3 m³/s y 75 PSU (capacidad de producción media-baja). Las simulaciones consideraron localidades donde hay plantas desaladoras en funcionamiento (Los Vilos, Chungungo) o con proyectos de instalación de plantas (El Panul y Totoralillo Norte). El primer análisis describe las concentraciones de salinidad en el fondo marino en la situación con o sin descarga de salmuera. Observamos un mayor impacto en las localidades de Totoralillo Norte y Los Vilos, donde se aprecia un aumento promedio salino de 0.35 PSU (unidades prácticas de salinidad), triplicando las variaciones naturales. Aunque no se aprecia acumulación de salinidad, si se observan eventos en que se maximiza (1 PSU) la diferencia en la concentración de salinidad, en relación con la simulación control. Estas diferencias son mayores en verano y otoño cuando la salinidad ambiental se minimiza naturalmente. Los mayores efectos en la salinidad de la columna de agua se encuentran en la proximidad de las plantas y pueden alcanzar valores en promedio superiores a 0.2 PSU (valor que duplica la variabilidad estacional climatológica). Adicionalmente, se observan diferencias en el impacto entre las 3 localidades costeras, siendo la planta del Panul la menos afectada por la descarga a diferencia de Totoralillo Norte y Los Vilos donde la diferencia varía entre 0.1-0.2 PSU. Finalmente, se estimó el radio de influencia de las 3 descargas de salmuera (Fig. 3). Se observa que la influencia de las plantas genera un impacto significativo sólo en la proximidad de la descarga y salvo eventos extremos puede expandirse hacia las bahías aledañas. Para Totoralillo Norte se observa que la planta impacta en un área aproximada de 3 km y en eventos de poca circulación el área se expande hasta casi 10 km hacia el sur.

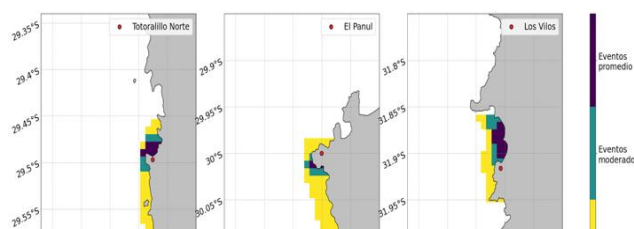


Fig. 3: Descripción de las áreas de influencia de los puntos de descarga de salmuera. a) Totalillo Norte (29.49°S), b) El Panul (30.01°S) y c) Los Vilos (31.88°S).

La planta del Panul presenta el área de influencia más pequeña de los 3 sitios (~ 1km) aunque en eventos extremos podría afectar la zona norte de la Bahía de Guanaqueros, pero en concentraciones cercanas a las variaciones impuestas por el ciclo anual de salinidad. Por último, para la planta de Los Vilos se observa un área de influencia confinada a la bahía tanto en eventos extremos como en la condición normal, las únicas diferencias se observan en el tamaño del área de influencia.

Circulación y concentración biológica en la costa de Coquimbo

Junto a la variabilidad del potencial de dispersión (corrientes), la concentración biológica también cambia a lo largo de la costa de la región de Coquimbo. Esta concentración biológica se relaciona a distintos servicios ecosistémicos del océano costero, como áreas de manejo, zonas de pesca, áreas para acuicultura y conservación. Para facilitar el análisis del cruce de la información de circulación y concentración biológica (fitoplancton medido satelitalmente), hemos clasificado las distintas localidades de la costa de la región de Coquimbo en base a su nivel relativo (alto, medio y bajo) de concentración promedio de clorofila, asignando condiciones óptimas (color verde), medias (color amarillo) o inapropiadas para el funcionamiento de plantas en respuesta a la intensidad de las corrientes en cada sector (Fig. 4). Notar que, aunque la localidad de El Panul (ver área al norte de Totalillo Centro) no fue incluida en el listado, se clasifica como Amarillo o condición media.

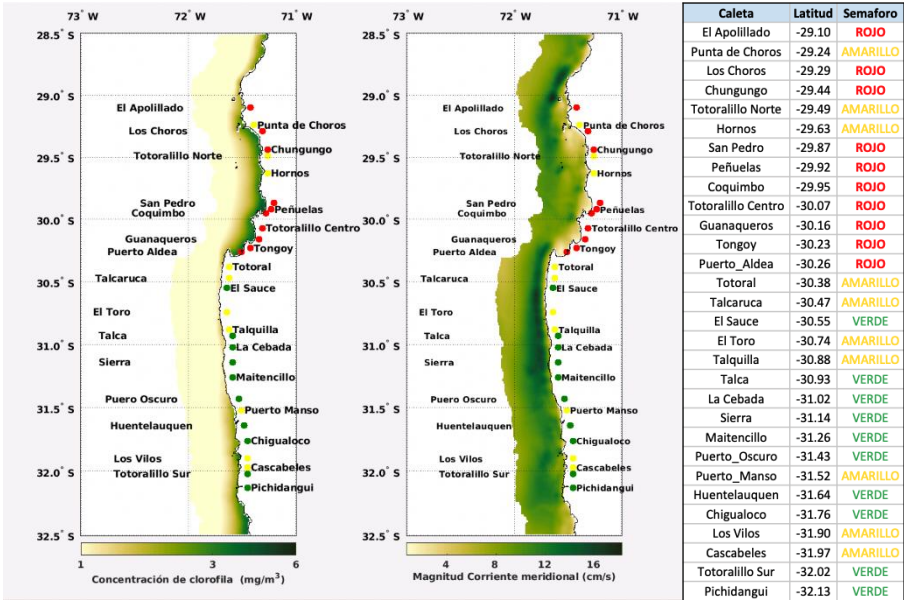


Fig. 4. Concentración media histórica (1998-2023) de clorofila superficial (A) y corrientes (DESAL1, 1 km) a lo largo de la costa de la región de Coquimbo (B). El cruce de ambos sets de datos se ordena en la tabla derecha, y provee una sugerencia (rojo=inalapropiado, amarillo=medio y verde=óptimo) para la posible instalación de plantas desaladoras.

IIII. Línea experimental

Los experimentos controlados para evaluar los efectos de la salmuera de plantas desaladoras en organismos de interés socioeconómico se llevaron a cabo en el centro AWABI de la Universidad Católica del Norte. El primero organismo estudiado fue la macha (*Mesodesma donacium*). Este molusco bivalvo suele habitar en áreas de playas arenosas y zonas intermareales, donde los adultos se entierran para evitar una exposición prolongada al aire durante las mareas bajas, mientras que los juveniles lo hacen para evitar ser arrastrados por las corrientes. La supervivencia de los enterradores, como la macha, se relaciona con la profundidad del sustrato o sedimento, la cual depende la longitud del individuo. Por lo tanto, los individuos más grandes tienden a excavar a mayor profundidad que los más pequeños, lo que contribuye a su supervivencia. Además, al enterrarse adquieren cierta protección contra los depredadores ya que se vuelven menos visibles y más difíciles de capturar para los animales que se alimentan de ellas. En consecuencia, en pequeños juveniles de esta especie, la capacidad de enterrarse y el tiempo de enterramiento son rasgos muy importantes para estos organismos, ya que les permiten adquirir su postura natural para: (1) evitar ser arrastrado por las corrientes, (2) poder alimentarse y (3) protegerse de sus depredadores naturales. Por ende, es esperable que los pequeños juveniles de esta especie sean un modelo de estudio para evaluar el efecto potencial de descargas de salmueras en el mar.

Macrocystis pyrifera (morfo integrifolia) (huiros): En la costa de Chile esta macroalga café se distribuye de manera fragmentada en la zona norte entre los 18 y 32° S. Ejemplares de esta especie cubren extensas superficies rocosas submareales en bahías semiprotegidas a una profundidad de hasta 15 a 20 m donde cumplen un importante rol ecológico como hábitat para invertebrados y peces. Al igual que otras especies de macroalgas café del orden Laminariales, *M. pyrifera* posee un ciclo de vida diploháplontico heteromórfico, es decir presentan alternancia generacional entre una fase macroscópica diploide (2n) y una fase microscópica haploide (n) que son morfológicamente diferentes. En este sentido, sus fases microscópicas como sus meiosporas no poseen mecanismos de protección para enfrentar condiciones abióticas adversas, y se consideran más sensibles a tales factores que sus fases macroscópicas. Estudios en *M. pyrifera* han reportado efectos negativos en el desarrollo de las fases microscópicas cuando se exponen a una salinidad menor a la salinidad local (Buschmann et al. 2004; Rodríguez et al. 2019). En consecuencia, es esperable que el desarrollo de las fases microscópicas de *M. pyrifera* (morfo integrifolia) sea igualmente o más sensible a aumentos en la salinidad del entorno y asociados a descargas de salmueras de plantas desaladoras.

Concholepas concholepas (loco): El loco es un gasterópodo depredador carnívoro casi exclusivo de las costas de Chile que se alimenta de otros organismos que habitan sobre las superficies de las rocas tales como cirrípedos y mitílidos. Para adherirse a los substratos, desplazarse sobre ellos y para alimentarse, los ejemplares de esta especie utilizan su pie muscular. El poder retornar rápidamente a su posición normal luego de ser desprendidos, por las corrientes, olas o depredadores, es un rasgo importante para garantizar su supervivencia. Los locos tienen sexo separado y luego que las hembras son fecundadas depositan los huevos al interior de cápsulas. Las larvas se desarrollan al interior de estas cápsulas que las hembras depositan sobre la superficie de las rocas. Una vez que las larvas de *C. concholepas* han completado su fase de desarrollo

intracapsular, aumentan su actividad dentro de las cápsulas y las abandonan a través de una pequeña apertura en el ápice de estas. Debido a su pequeño tamaño al momento de la eclosión (ca. 250 μm) y su extendido periodo de desarrollo en el plancton de ca. 3 meses estas larvas velígeras están expuestas a ser llevadas por las corrientes de su entorno. En consecuencia, el poder desplegar natación es un rasgo importante para garantizar su supervivencia y dispersión hasta los sitios de asentamiento en el bentos (final de la fase larval en el agua de mar y el comienzo de la fase en la que los organismos se establecen sobre las rocas u otros sustratos). Por ende, es esperable que tanto juveniles como larvas de esta especie puedan ser utilizadas como modelo de estudio para evaluar el efecto potencial de descargas de salmueras en el mar.

Metodologías: Los modelos de estudio (i.e. juveniles de *M. donacium* y *C. concholepas*; larvas de *C. concholepas*; meiosporas de *M. pyrifera*) fueron expuestos por un periodo de 6 h a una serie de diferentes salinidades desde salmuera obtenida desde una planta desaladora y salinidades menores obtenidas al diluir dicha salmuera (exposición aguda T6; Tabla 1). Las salmueras fueron obtenidas desde una planta de Agua Potable Rural (APR) en el sector de Chungungo, y transportadas hasta un laboratorio que dispone el Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA) al interior del Campus Guayacán de la Universidad Católica del Norte en la ciudad de Coquimbo. Dependiendo del experimento las diluciones fueron obtenidas diluyendo la salmuera con agua de mar filtrada o agua destilada (Tabla 1). Al final de este periodo la sobrevivencia y los rasgos subletales investigados fueron evaluados. Luego de la exposición aguda los organismos fueron retornados a condiciones de agua de mar con salinidad normal y después de más de 12 h los mismos rasgos fueron nuevamente evaluados.

Resultados: Los efectos de las salinidades experimentales en función del modelo de estudio, los métodos de dilución, los rasgos investigados y el momento de la evaluación (al final de periodo de 6 h de exposición aguda a las salinidades experimentales [T6] o luego de transcurrido el periodo de recuperación (12, 18 o 48 h) en agua de mar con salinidad normal [T12, T18 o T42]) se resumen en la tabla adjunta más abajo. En general, la exposición aguda por 6 h en ninguna de las salinidades experimentales generó efectos letales (mortalidades) en ninguno de los modelos de estudio. Sin embargo, los efectos negativos subletales si se registraron en las salinidades más altas en gran parte de los rasgos investigados (Tabla 1). Incluso, estos efectos subletales se mantuvieron después del periodo de recuperación en 6 de los 10 rasgos subletales evaluados (Tabla 1).

Conclusiones: Los resultados de este estudio sugieren que exposiciones agudas por 6 h a salinidades anómalamente elevadas y asociadas a una planta desaladora no tiene efectos letales en los modelos de estudio. Sin embargo, la exposición aguda por 6 h a salinidades anómalamente elevadas si afectó negativamente los rasgos subletales investigados (Tabla 1). Después de un período de al menos 12 horas en agua de mar con salinidad normal, 4 de los efectos negativos y subletales asociados a un determinado rasgo se normalizaron, mientras que los otros 6 se mantuvieron (Tabla 1). Futuros esfuerzos serán necesarios para evaluar si los efectos de la exposición a las salinidades anómalas de los modelos de estudio utilizados en la presente investigación se acentúan con mayores tiempos de exposición y en los cuales los organismos sean mantenidos expuestos a las salinidades anómalas por mayores tiempos de exposición y en condiciones de flujo constante, o si son exacerbados por otros estresores como los asociados al cambio climático (pH, temperatura). Igualmente, estudios que consideren la manipulación de otros químicos y aditivos que comúnmente son componentes de las salmueras asociadas a una planta desaladora serán necesarios. Es necesario considerar que la salmuera utilizada en los experimentos arriba descritos proviene de una planta desaladora asociada

a una planta de agua potable rural (APR sector Chungungo) que produce 5.6 L/s para cubrir las necesidades de una población de 1300 personas. En consecuencia, el volumen de salmuera vertido al mar es muy inferior al asociado al de una planta desaladora de mayor envergadura. Sin embargo, debido a que las salmueras que genera la APR en el sector Chungungo tiene salinidades similares a las generadas por una planta desaladora de mayor envergadura (>56 PSU) los resultados y conclusiones derivados desde estos son igualmente válidos.

Tabla 1. Resumen de las especies utilizadas como modelo para investigar el efecto de salinidades anómalamente elevadas producto de diluir la salmuera de una planta desaladora. Se incluye el tipo de dilución, rasgos investigados, efectos y salinidades críticas a las cuales se registraron efectos significativos.

Recurso	Estado	Dilución	Rasgos	Efectos (T6)	Salinidad crítica (PSU)	Efectos (T12, T18 o T42)
<i>Macha</i>	J	AD	Sobrevivencia (L)	No	-	No
	J	AD	Éxito de enterramiento (SL)	No	-	No
	J	AD	Tiempo de enterramiento total (SL)	Negativo	38	No
	J	AD	Consumo de oxígeno (SL)	Negativo	56	n.a
	J	AM	Tiempo reacción (SL)	Negativo	43	Negativo
	J	AM	Tiempo de enterramiento efectivo (SL)	Negativo	43/48	Negativo
<i>Loco</i>	J	AM/AD	Sobrevivencia (L)	No	-	No
	J	AM/AD	Éxito de adrizamiento (SL)	No	-	No
	J	AM/AD	Éxito de adhesión (SL)	No	-	No
	J	AM/AD	Tiempo de adrizamiento (SL)	Negativo	52/45	Negativo/No
	J	AM/AD	Consumo de oxígeno (SL)	No	-	n.a

	LV	AM	Sobrevivencia (L)	No	-	No
	LV	AM	Tiempo de nado (SL)	Negativo	48/55	Negativo
	LV	AM	Consumo de oxígeno (SL)	Negativo	38	n.a
<i>Huiro</i>	M	AM	Asentamiento (SL)	n.a	38	Negativo
	M	AM	Germinación (SL)	n.a	53	Negativo

Juveniles (J), larvas velígeras (LV), Meiosporas (M); Tipos de dilución: Agua de mar (A), Agua destilada (AD); efecto letal (L); efectos subletales (SL); el tiempo de recuperación en meiosporas de algas para evaluar asentamiento y germinación fue de 18 (T18) y 42 (T42) h, respectivamente. En los otros modelos este tiempo fue de 12 h (T12). No aplica (n.a). Adrizar: proceso de volver a una posición normal después de ser volteado. No efecto se refiere a la ausencia de efectos significativos en los rasgos investigados. Efecto negativo se refiere a la presencia de efectos significativamente negativos de las salinidades en los rasgos investigados.

IV. Redes

En el marco del proyecto establecimos de redes de trabajo y colaboración con el Instituto Milenio SECOS, con quienes mantenemos sensores oceanográficos que permitieron la validación de los modelos de circulación. También, en un inicio, llevamos a cabo una serie de reuniones con investigadores del Centro de Investigaciones Costeras, CICITEM y Universidad de Atacama, quienes también abordaron la problemática de las plantas de desaladoras a través de distintos proyectos y programas regionales. En el marco de estas actividades desarrollamos talleres (Marzo a Abril 2022) para compartir metodologías en mediciones física y modelación, y experimentación con salmera.

V. Formación de recursos

No hubo formación de capital humano avanzado en el proyecto.

VI. Divulgación

Enero 09 2022 presentación ante la comisión especial de emergencia hídrica del gobierno regional de Coquimbo. Transmisión a través de RRSS CORE Coquimbo (<https://www.facebook.com/CORECoquimbo/videos/897972774666134>). Nota de prensa relativa al proyecto, Diario El Observatodo enero 13 de 2022 (<https://www.elobservatodo.cl/noticia/medioambiente/investigadores-del-ceaza-recomiendan-al-core-adoptar-medidas-de-mitigacion-ant>). Nota de prensa relativa al proyecto, Diario Litoralpress marzo 29 de 2022 (https://www.litoralpress.cl/sitio/Prensa_Texto?LPKey=F35V7JBUTDR63DQWDMZKM67DMEV3UHJZR2QZ4YQ7RCK43Y4B7EHA). Nota de prensa relativa al proyecto, Diario El Día abril 3 de 2022 (<https://www.diarioeldia.cl/economia/2022/4/3/los-efectos-de-las-desaladoras-escasez-hidrica-vs-impacto-en-el-medio-ambiente-90885.html>). Nota de prensa relativa al proyecto, Diario El Coquimbano abril 4 de 2022 (<https://www.elcoquimbano.cl/2022/04/04/cientificos-investigaran-cualidades-oceanograficas-locales-para-la-instalacion-de-plantas-desalinizadoras/?amp=1>). Nota de prensa relativa al proyecto, Sustentable S.A. abril 6 de 2022 (<https://www.sustentable.cl/cientificos-investigaran-cualidades-oceanograficas-locales-para-la->

[instalacion-de-plantas-desalinizadoras/](#)). Nota de prensa relativa al proyecto, Mi Radiol mayo 3 de 2022 (<https://www.miradiols.cl/2022/05/03/cientificos-del-ceaza-investigan-cuales-son-los-mejores-sitios-para-instalar-plantas-desalinizadoras-en-la-region/>). Nota de prensa relativa al proyecto, CEAZA marzo 14 de 2023 (<http://www.ceaza.cl/2023/03/14/comunidad-cientifica-colaboro-exhaustivo-informe-oportunidades-desafios-plantas-desalinizadoras/>).

Participación en Seminarios:

Seminario Desafíos para implementar plantas desaladoras para paliar la escasez hídrica. Marzo 28 de 2022, Diario el Día.

Seminario Desalinización: Oportunidades y desafíos para abordar la inseguridad hídrica en Chile. Mayo 10 de 2022, Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, en colaboración con el Comité Científico Asesor de Cambio Climático.

Seminario Impactos de la escasez hídrica en la comuna de Los Vilos y alternativas de adaptación. Noviembre 11 de 2022, Municipalidad de Los Vilos.

Congreso Latinoamericano de Gestión Integrada de Áreas Litorales, Abril 4 de 2023.

VII. Contribución a políticas públicas

La contribución a las políticas públicas realizadas en el marco del proyecto consta de tres ejes de trabajo: 1) agenda de gestión territorial basada en reuniones periódicas con el gobierno regional y talleres con actores relevantes del estado relacionados a la normativa de evaluación ambiental de los proyectos de plantas desaladoras, y 2) estudio comparado de la normativa internacional ambiental en plantas desaladoras. El trabajo con el CORE Coquimbo se realizó en el marco de La Comisión Especial de Emergencia Hídrica, a través 4 presentaciones. En estas presentaciones se presentó el proyecto, y luego en forma periódica se presentaron resultados preliminares de la línea modelación y experimental. Cabe hacer notar que la región y sus autoridades enfrentan la disyuntiva de la instalación próxima de este tipo de plantas en virtud de la crisis hídrica que afecta a la región. Posteriormente, nos entrevistamos con **Seremi de Salud**, reunión llevada a cabo el 12 de octubre de 2022 de manera presencial en las dependencias de la Seremía en La Serena. La actividad contó con la participación de la Srta. Milenka Ramírez P., encargada del Departamento de Saneamiento Básico, Pamela Santiago M., encargada de la unidad de Ambiente, Alejandra Milla Tapia, evaluador y fiscalizador de la unidad de ambiente, todas del Departamento de Acción Sanitaria, Seremi de Salud Coquimbo. Las normativas principales que aplican y son competencia de este servicio son el D.S. N°735/1969 y D.S. N°90/2001, que dicen relación con los contaminantes en el medio acuático. En análisis de estos cuerpos normativos revela que los residuos de las plantas desaladoras (salmuera y químicos relacionados a la mantención de la infraestructura) no figuran en esta normativa y por lo tanto no pueden ser considerados contaminantes. Luego sostuvimos una reunión con **Sernageomin**, mediante entrevista con la Sra. Vinka Rakela, encargada de Medio Ambiente y Natalia Garrido, geóloga de la Región de Coquimbo. Este organismo solo participa cuando el proyecto de planta desaladora está asociada a una faena minera. La reunión con **Directemar** se realiza en la Gobernación Marítima de Coquimbo con la Sra. Eugenia Valdebenito, encargada de Medio Ambiente de la Gobernación Marítima de Coquimbo. Se revisan las normativas Decreto Ley N°2222/1978 y Ley de navegación del ministerio de defensa. Observamos en la gestión de Directemar en la evaluación de proyectos de plantas desaladoras, una oportunidad de fortalecer el principio precautorio de la normativa ambiental, para lo cual se requiere tipificar (detallar) las descargas de las plantas en los indicadores de contaminación (Tablas de máximos 4 y 5). Estas tablas contienen los compuestos contaminantes y concentraciones máximas permitidas en los sistemas acuáticos, y no contemplan los residuos de las plantas desaladoras. La reunión con el **Seremi de**

Medio Ambiente, se realiza mediante entrevista con el Sr. Sergio Troncoso Layi, Encargado Sección Políticas y Regulación Ambiental, SEREMI de Medio Ambiente Región de Coquimbo. Las normativas principales para esta seremía en materia de evaluación ambiental asociadas a plantas desaladoras son la Ley 19300/1994, Ley de bases generales de medio ambiente, Minsepres y Ley 20417/2010, que creó el Ministerio y Servicio de evaluación ambiental (SEIA) y superintendencia de medio ambiente. Del análisis de estas normas detectamos las siguientes que la Ley 19300/1994 no contempla dentro de los integrantes del Consejo de Ministros para la Sustentabilidad y el Cambio Climático al Ministerio de Defensa, que es el ministerio mandatado por ley para preservar la ecología del mar (art. N°5, Ley N°2222/1978, MINDEF). Nuevamente detectamos la dificultad que plantea para este organismo que las tablas 4 y 5, que regulan los contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales (D.S. N° 90/2001), no contemplan residuos de las plantas desaladoras. Esto impide que los servicios participando de SEIA puedan impedir un posible impacto socio-ecológico, o exigir al titular al momento de declarar el proyecto los posibles contaminantes que pudieran existir en la salmuera que será vertida al mar. También se confirma que la Ley 19300/1994 en su art. N°2, que define contaminación, no contempla los residuos de las plantas desaladoras. Este hallazgo está totalmente enlazado al punto anterior, ya que al estar introduciendo contaminantes al mar que no están identificados, por definición, no se estaría contaminando. También observamos que las plantas desaladoras no son sometidas al SEIA por su actividad principal sino por sus actividades productivas asociadas. La gestión territorial con estos actores relevantes en la normativa, evaluación y fiscalización de plantas desaladoras sugiere que la normativa vigente es frágil, no existiendo cuerpo legal directo para la evaluación y monitoreo de plantas desaladoras como tal. En el caso de plantas desaladoras para consumo humano se evalúan por ser sistemas de agua potable y cuando las plantas desaladoras pertenecen a alguna actividad productiva, se evalúan como actividad dentro del proceso productivo. La modificación de esta normativa podría realizarse a través del **Instituto de normalización nacional (INN)**, para lo cual nos reunimos con representantes de este órgano con el objetivo de indagar la existencia de alguna norma técnica vigente relacionada con plantas desaladoras, actualizar y modificar esta normativa de acuerdo con los hallazgos realizados en el proyecto. Para lograr este objetivo, se trabajó con la profesional Marly López C, profesional de la División Normas del INN. La modificación de una norma como la ambiental relacionada a plantas desaladoras, no parece viable a través de la gestión del INN. Esto debido principalmente a los costos y derechos de usos de las normas generadas a través de INN.

Se llevaron a cabo otras reuniones e interacción con otros actores regionales relevantes en materia de plantas desaladoras. Por ejemplo, sostuvimos una reunión con el senador de la Región de Coquimbo, señor Matías Walker Prieto para dar a conocer el proyecto desarrollado por CEAZA, los alcances y la información obtenida hasta el momento. Planteando también la posibilidad de exponer toda esta información en la comisión especial del senado que discute sobre recursos hídricos, desertificación y sequía, que es la comisión encargada del proyecto de ley de uso de agua de desalinización. Se envía carta a la presidenta de la comisión Sra. Isabell Allende Bussi mediante correo electrónico del senador Matías Walker, con copia al senador de la Región de Coquimbo Sr. Daniel Núñez, quien está al tanto del proyecto. En esta carta se expone el interés de CEAZA en dar a conocer la información obtenida. También nos presentamos en el área rural de Chungungo, donde opera una pequeña planta desaladora para fines de consumo. La planta desaladora del Comité de Agua Potable Rural (APR) de Chungungo, es una planta que opera mediante el proceso de Ósmosis Inversa. Abastece a una población de 1300 habitantes de la Localidad de Chungungo, pequeña caleta pesquera de la comuna de La Higuera. Con una capacidad de desalación de 5.6 L/s. La importancia

del APR en el proyecto radica en que, para la realización de experimentos en laboratorio, en el estudio del comportamiento de ciertas especies marinas sometidas a la presencia de las aguas de rechazo o salmuera vertidas al mar por plantas desaladoras, necesitábamos de estas aguas y fue el comité de APR de Chungungo, quienes nos facilitaron la salmuera generada en su proceso de desalación de agua de mar para realizar las pruebas.

VIII. Resultados no alcanzados, dificultades y estrategias adoptadas

El desarrollo de experimentos de laboratorio tendientes a evaluar el efecto de salmuera asociadas a una planta desaladora en pequeños ejemplares de *Mesodesma donacium* (machas) y *Concholepas concholepas* (se desarrollaron durante los primeros meses del 2023. Estos experimentos se desarrollaron en dependencias de la Universidad Católica del Norte en Coquimbo donde CEAZA accede a dependencias para el desarrollo de estas actividades. La totalidad de las actividades se desarrollaron mientras se registró la intromisión de palomas al entretecho de los laboratorios. Algunos de estos ejemplares murieron en el entretecho o en el entorno del laboratorio con síntomas similares a los descritos para aves infectadas de gripe aviar. Para no exponer la salud del personal que debía ejecutar los siguientes experimentos, y debido a que la solución a ese problema no fue inmediata, las actividades programadas marzo e inicios de abril se postergaron hasta que las medidas paliativas se materializaron y no se avistaron aves al interior de las dependencias antes mencionadas. Una vez que se normalizaron parcialmente las condiciones de higiene reanudamos los experimentos con larvas de *C. concholepas*. Sin embargo, los experimentos con esporas de algas se pudieron materializar recién hacia finales de junio del 2023 debido a las malas condiciones del mar durante abril y mayo. Debido a que no se pudo acceder a ejemplares sexualmente maduros de *Lessonia trabeculata* una vez que mejoraron las condiciones del mar, alternativamente seleccionamos otra especie de alga con importancia ecológica, económica y social, *Macrocystis pyrifera* (huiro). Experimentos que fueron programados con pequeños ejemplares de *Argopecten purpuratus* (osti6n del norte) no fueron posibles de realizar debido a problemas logísticos que nos impidieron acceder a dicho material biol6gico mientras el laboratorio estuvo disponible.

IX. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Aborde las líneas de investigación y sus correspondientes objetivos, mencione por nombre quiénes participaron en ellas, así como otras categorías de participantes que intervinieron, incluyendo estudiantes, posdoctorados, técnicos y profesionales.

N°	LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVO	INVESTIGADOR/ES PRINCIPAL/ES	INVESTIGADOR/ES ASOCIADOS/ OTRAS CATEGORIAS
1	Modelación de la circulación costera	Proporcionar mediante simulaciones de modelos de alta resolución escenarios potenciales de circulación costera que afectan los rasgos biológicos asociados con los procesos de entrada y salida de las plantas desaladoras.	Boris Dewitte Orlando Astudillo	Marcel Ramos Eduardo Flores Lucas Glasner
2	Comunidades pelágicas potencialmente afectadas por succión	Recopilar y complementar el conocimiento científico existente sobre la distribución geográfica (es decir, a lo largo de la costa) de las comunidades pelágicas/bentónicas potencialmente impactadas por la instalación y operación de plantas desalinizadoras en la franja costera de Coquimbo.	Bernardo Broitman	Orlando Astudillo Victor Aguilera Lucas Glasner
3	Evaluación experimental	Evaluar experimentalment	Patricio Manríquez	Orlando Astudillo Claudio González

		e el efecto de la salmuera en especies bentónicas de interés socio-ecológico		Alejandro Abarca Natalia Salinas Katherine Jeno Viviana Jofré Victor Aguilera
4	Normativa de plantas de desaladoras	Diagnosticar estado de las herramientas normativas del estado para la evaluación de impactos ambientales por plantas desaladoras	Victor Aguilera	Viviana Jofré Claudio Vásquez Patricio Manríquez

X. ASPECTOS RELEVANTES

Adicionalmente a las líneas comprometidas en el proyecto, desarrollamos una línea de investigación de la normativa internacional ambiental para plantas desaladoras, la normativa nacional subrayando indefiniciones referentes a los residuos y proceso de evaluación de este tipo de proyecto, así como un comentario de la reciente guía de plantas desaladoras generado por la Dirección General de Territorio Marítimo (DGTM). El objetivo de esta línea fue diagnosticar el estado de las herramientas normativas del estado para la evaluación de impactos ambientales por plantas desaladoras. El investigador responsable fue Victor Aguilera, con la colaboración de Viviana Jofré, Patricio Manríquez, Bernardo Broitman y Claudio Vásquez.

Abastecimiento hídrico y necesidad de plantas desalinizadoras

Las plantas desaladoras constituyen una nueva fuente potencial de agua tanto para el consumo humano como para la utilización industrial. Las plantas desaladoras sacan agua del mar, y principalmente mediante ósmosis reversa, extraen la sal para generar agua dulce. La evidencia internacional indica que una adecuada normativa junto al desarrollo de monitoreo apoyado por investigación científica, son aspectos fundamentales para una mayor comprensión de la interacción de estas plantas con el sistema socio-ecológico costero, y la sostenibilidad de los proyectos. Como todo proceso productivo desarrollado por el ser humano en el ambiente, las plantas desaladoras pueden llegar a representar una amenaza para el sistema socio-ecológico del borde costero donde se instalan las plantas. Esta amenaza se relaciona con dos procesos asociados al funcionamiento de las plantas desalinizadoras: la captación de agua de mar y la descarga de salmuera en el océano. Durante la captación del agua de mar es posible que las especies en ella presentes, y que tengan interés ecológico, de conservación y/o económico, como especies para el desarrollo de la acuicultura, puedan ser succionadas y concentradas por el sistema de captación de las plantas. La concentración de estas especies es relevante desde el punto de vista operativo de las plantas, ya que una mayor concentración biológica reduce su eficiencia de funcionamiento elevando los costos por pre-tratamiento. Este pre-tratamiento involucra el uso de productos químicos (anti-incrustantes) que reducen la adhesión de organismos a los ductos de la planta, y que pueden ser posteriormente vertidos junto con la salmuera al océano. La descarga de la salmuera consiste en el vertimiento en el mar de una solución densa con elevada (>10 unidades por sobre la media del mar) salinidad, que a través de dispersores se proyecta en forma de plumas salinas sobre el fondo marino. Los posibles efectos de esta descarga en las comunidades residentes son inciertos, aunque de gran interés para los científicos, tomadores de decisión y generadores de políticas. La magnitud del efecto de la concentración biológica como la persistencia de las plumas se relacionan con la intensidad de las corrientes marinas en las cercanías de las plantas desalinizadoras. En consecuencia, se pueden reconocer áreas con mayor y menor potencial de concentración de especies y dispersión de plumas.

Situación de Chile respecto de la Normativa internacional

España e Israel, entre otros países, obtienen gran parte del agua para consumo humano desde plantas desaladoras. La normativa ambiental que estos países puede, en cierta forma, ayudar o no a orientar la postura de Chile, frente a una contingencia cada vez probable, como es la instalación y operación de plantas desaladoras para proveer agua para el consumo humano. Según la fundación Aqua, la primera planta desaladora que operó en España fue instalada en la isla de Lanzarote en el año 1964, con una capacidad de producción de 2.500 L/día. En la actualidad, España posee más de 765 plantas desaladoras y dentro de las desaladoras más importantes y que abastecen a un mayor

número de personas se encuentran las plantas de Torrevieja (Alicante), la cual produce 80 hm³/año, siendo así la mayor de las plantas desaladoras en España. Contribuye al abastecimiento de 140.000 habitantes y 8.000 hectáreas beneficiadas. también está la planta del Bajo Almanzora (Almería), que produce 15 hm³/año y garantiza el agua a 140.000 habitantes y beneficia a más de 24.000 hectáreas de regadío. Finalmente, la planta Carboneras (Almería), que produce 42 hm³/año y beneficia a 200.000 personas. En España, la propiedad del agua está regulada y establece que el agua desalada es un bien de uso público. La construcción de las plantas desaladoras puede realizarse a través de una concesión y ser adjudicada a un particular, pero el propietario de esta agua desalada y también del agua de rechazo o salmuera es el estado. En cuanto a la normativa ambiental, toda planta desaladora cuyo volumen nuevo o adicional sea mayor a 3.000 L/día, deben someterse al procedimiento de evaluación ambiental, este establece las condiciones para la construcción y explotación de la planta. Además, deben incluir un programa de vigilancia ambiental que considera controles de calidad del vertido (pH, oxígeno disuelto, turbidez y nitratos), control de salinidad del vertido y medio receptor, y análisis directo de los organismos marinos mediante diferentes técnicas de seguimiento. A pesar de que España tiene una gran cantidad de plantas desaladoras, no posee legislación para las aguas de rechazo o salmuera al verterlas al mar. El procedimiento para el vertido de este al mar consiste en solicitar una autorización de vertidos a todo cuerpo de agua considerado bien de uso público. Este vertido se analiza detalladamente dependiendo de la zona en donde se verterá la salmuera, cada autorización es analizada de acuerdo con las características del sector. Con respecto a la succión de agua de mar para desaladoras no poseen legislación. En el caso de Israel, este posee las dos plantas desaladoras más grandes del mundo. Sorek cerca del Tel Aviv inaugurada el año 2013 y con una capacidad de tratamiento de 624.000 L/día y la segunda planta es Idam, ubicada en Ashdod con una capacidad de producción de 384.000 L/día. Según el estudio de “Aspectos regulatorios, de propiedad, ambientales, tarifarios, entre otros, de la desalinización en países extranjeros” disponible en la BCN, los aspectos más importantes de la normativa ambiental de Israel en cuanto plantas desaladoras consideran todas las aguas públicas (marinas o continentales), la autorización para el funcionamiento está supeditada a la presentación de una evaluación de impacto ambiental. Sin embargo, Israel tampoco dispone de una legislación específica en cuanto a la extracción de agua de mar. En cuanto a la normativa nacional, en la actualidad las plantas desaladoras en Chile se sustentan en la base de tres normativas las cuales guían el estudio de los proyectos y que, por lo tanto, deben de utilizarse al momento de evaluar una planta desaladora. A continuación, el detalle y análisis de ellas: Ley 19.300/1994, Bases Generales Sobre Medio Ambiente. Esta ley promulgada el 1 de marzo de 1994, en resumen, trata lo siguiente: “tiene por objeto darle un contenido concreto y un desarrollo jurídico adecuado a la garantía constitucional que asegura a todas las personas el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación. Los principios de esta ley son el principio preventivo, el que pretende evitar que se produzcan los problemas ambientales, y principio “contamina paga”. Es decir, quien contamina o que lo haga en el futuro, debe incorporar en sus costos de producción todas las inversiones necesarias para evitar la contaminación. Por lo tanto, los primeros responsables por disminuir la contaminación serán los particulares. El principio de gradualismo, lo que implica que la ley no pretende exigir de un día para otro los estándares ambientales más exigentes, ni someter a todas las actividades del país sin importar su tamaño, a los procedimientos de evaluación ambiental. Finalmente, el principio de responsabilidad, con el cual se pretende que los responsables por los daños ambientales reparen a sus víctimas por el daño incurrido. Dentro de esta ley, en el Título I, se establecen todas las generalidades y sus definiciones. En este título en el artículo 2, letra c, establece la definición de contaminación y en la letra d, la definición de contaminante: contaminación es la presencia en el ambiente de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, en concentraciones o

concentraciones y permanencia superiores o inferiores, según corresponda, a las establecidas en la legislación vigente. Contaminante, todo elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energía, radiación, vibración, ruido, luminosidad artificial o una combinación de ellos, cuya presencia en el ambiente, en ciertos niveles, concentraciones o períodos de tiempo, pueda constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental. Dadas las definiciones anteriores de contaminación y contaminante establecida por ley, cabe en nuestro análisis hacernos las siguientes preguntas: dados los procesos asociados a plantas desaladoras en donde tendremos varios contaminantes y estos no están establecidos en la legislación vigente, ¿no existe contaminación?, la respuesta sería no. Tal contaminación no existe, ya que la definición es clara y no da márgenes a duda. Al no tener normados algunos elementos, compuestos, sustancias, derivados químicos o biológicos utilizados en los procesos de plantas desaladoras, no existiría contaminación, por lo tanto, se corre el peligro que estos no sean sustentables y no puedan mantenerse durante el tiempo sin dañar a las personas y medio ambiente. Por otra parte, el Decreto 40/2013, Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental promulgado el 30 de octubre de 2012, establece en el artículo 3, que todos los proyectos o actividades que en cualquiera de sus fases deben de someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, donde no se encuentran las plantas desaladoras. Por lo mismo, las plantas desaladoras entran al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental para ser evaluadas como una actividad anexa a un proceso productivo o actividad, no estando definido si ingresarán como Declaración de Impacto Ambiental o como un Estudio de Impacto Ambiental.

Guía de plantas desaladoras de la DGTm

La Guía para la evaluación ambiental de proyectos industriales de desalación en jurisdicción de la autoridad marítima, fue confeccionada en el año 2021 por la Dirección General de Territorio Marítimo. Esta guía nace debido al aumento en la presentación de proyectos de desalación en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) y de la necesidad de entregar las directrices sobre la información que deben de tener estos proyectos, tanto cuando ingresen al sistema como un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) o cuando ingresen a ser evaluados como una Declaración de Impacto Ambiental (DIA). Esta guía distingue las tres etapas de los proyectos: etapa de construcción, operación y cierre. Entrega los lineamientos de cómo obtener una buena línea base del lugar en donde será emplazada la planta desaladora, los monitoreos que deben de llevarse a cabo para un seguimiento adecuado del comportamiento del fondo marino, flora y fauna, también sugiere metodología a utilizar en algunos ensayos. En cuanto a la ubicación ya sea de la planta desaladora o de sus sistemas de captación de agua de mar o el sistema que llevará el agua de rechazo o salmuera al mar, la guía es clara en plantear que estos temas deben de ser analizados caso a caso. Toda la información entregada en esta guía, el cómo evaluar los proyectos y sus directrices, es sólo indicativa ya que, al no ser parte de algún reglamento o norma, los titulares o dueños de los proyectos de plantas desaladoras que van a ser sometidas a evaluación en el SEIA no están obligados a presentar dicha información.

CONSIDERACIONES OCEANOGRÁFICAS Y ECO-BIOLÓGICAS PARA LA INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DE PLANTAS DESALADORAS EN EL CENTRO-NORTE DE CHILE

Concurso Fondo de Investigación
Estratégica en Sequía año 2021



Equipo de investigadores e instituciones

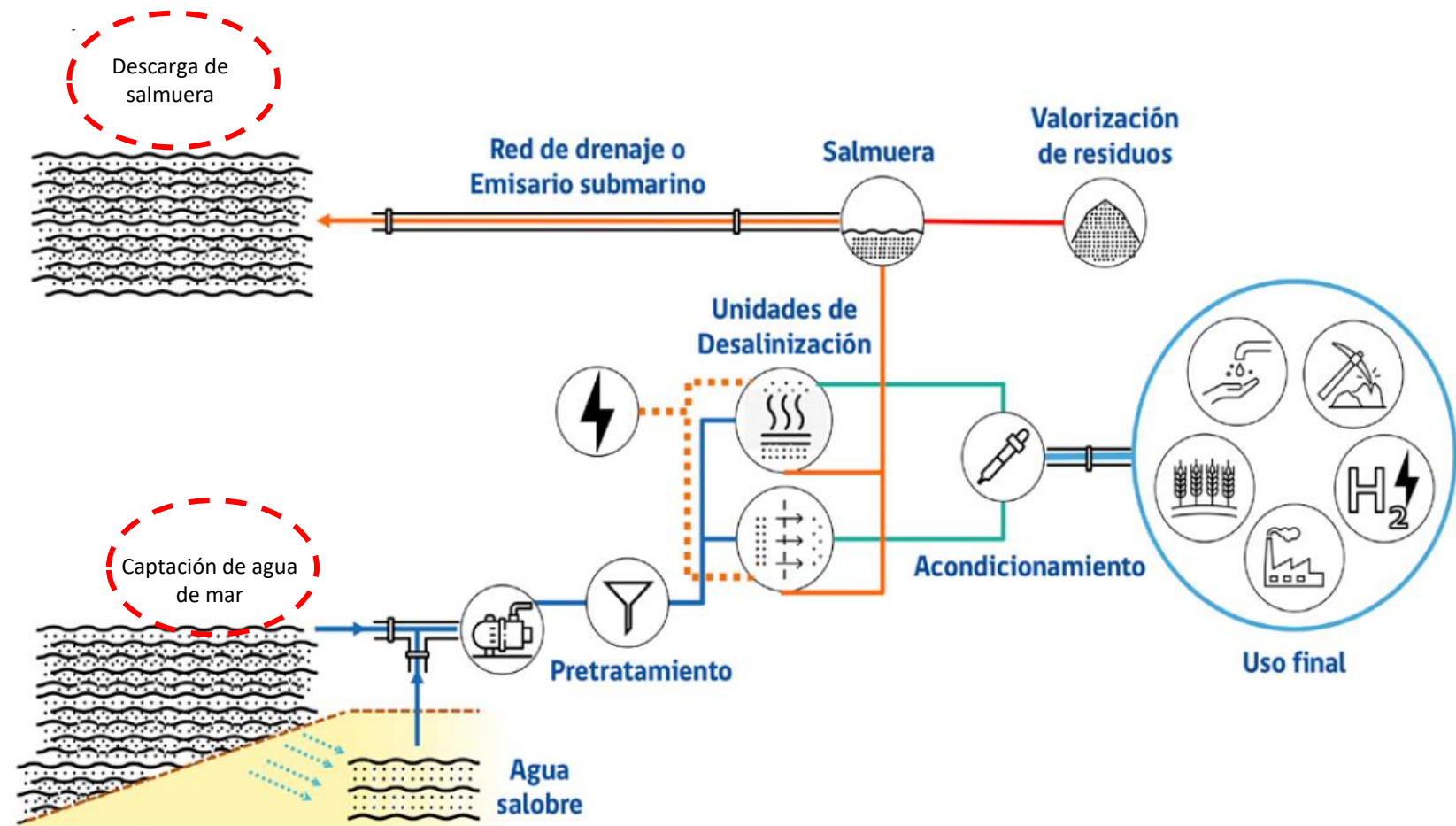
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVO	INVESTIGADOR/ES PRINCIPAL/ES	INVESTIGADOR/ES ASOCIADOS/ OTRAS CATEGORIAS
Modelación de la circulación costera	Proporcionar mediante simulaciones de modelos de alta resolución escenarios potenciales de circulación costera que afectan los rasgos biológicos asociados con los procesos de entrada y salida de las plantas desaladoras.	Boris Dewitte Orlando Astudillo	Marcel Ramos Eduardo Flores Lucas Glasner
Comunidades pelágicas potencialmente afectadas por succión	Recopilar y complementar el conocimiento científico existente sobre la distribución geográfica (es decir, a lo largo de la costa) de las comunidades pelágicas/bentónicas potencialmente impactadas por la instalación y operación de plantas desalinizadoras en la franja costera de Coquimbo.	Bernardo Broitman	Orlando Astudillo Victor Aguilera
Evaluación experimental	Evaluar experimentalmente el efecto de la salmuera en especies bentónicas de interés socio-ecológico	Patricio Manríquez	Orlando Astudillo Claudio González Alejandro Abarca Viviana Jofré Victor Aguilera
Normativa de plantas de desaladoras	Diagnosticar estado de las herramientas normativas del estado para la evaluación de impactos ambientales por plantas desaladoras	Victor Aguilera	Viviana Jofré Claudio Vásquez Patricio Manríquez



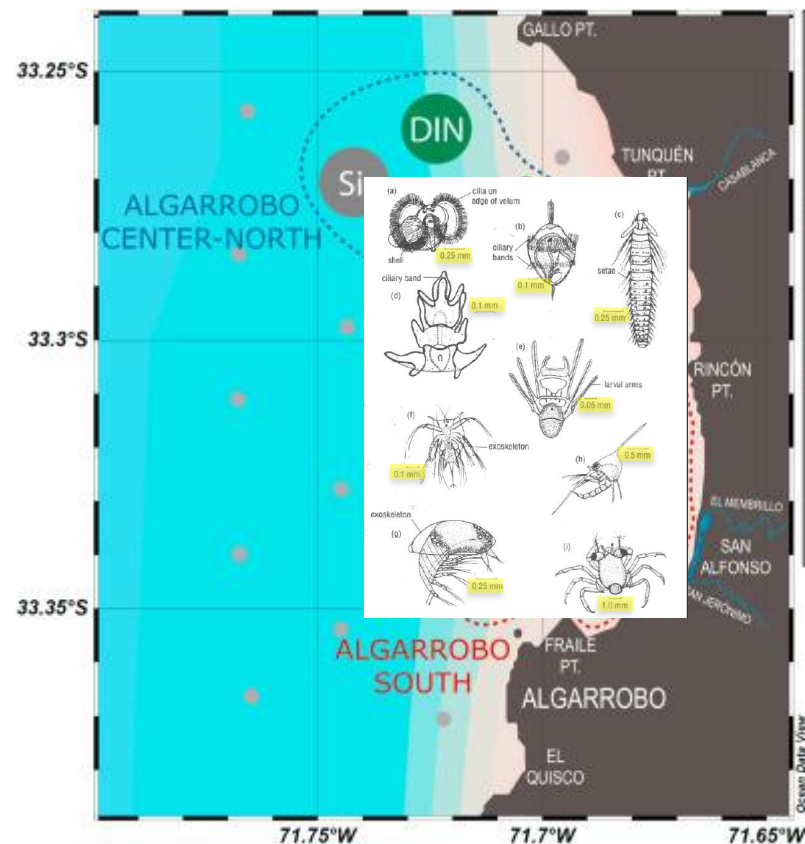
- 1. Contexto**
- 2. Circulación costera en la costa de Coquimbo**
- 3. Experimentos de circulación con inyección de salmuera**
- 4. Efectos biológicos de salmuera**
- 5. Contribución a políticas públicas**



Procesos críticos de las plantas desaladoras



Captación de agua de mar



Alto contenido de materia orgánica

- Adosamiento de organismos
- Perdida de eficiencia
- Mayor pretratamiento

Costos operacionales

Costos socio-ecológicos
3.7 billones de larvas de peces

Ni el volumen ni la intensidad de
captación de agua están regulados

Ferreira et al. 2020



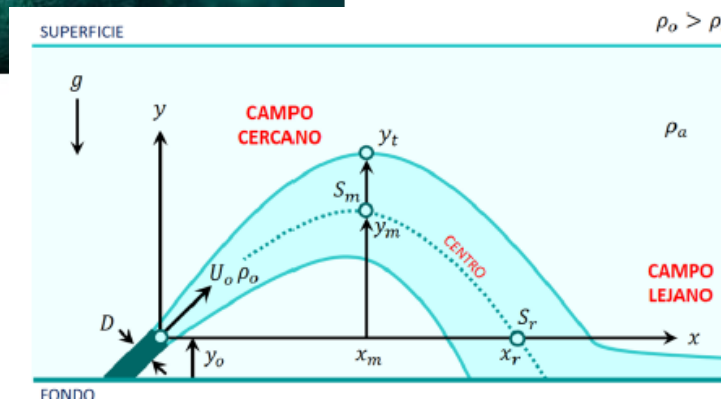
Estados tempranos de desarrollo (larvas, juveniles)

Descarga de salmuera y algo más?



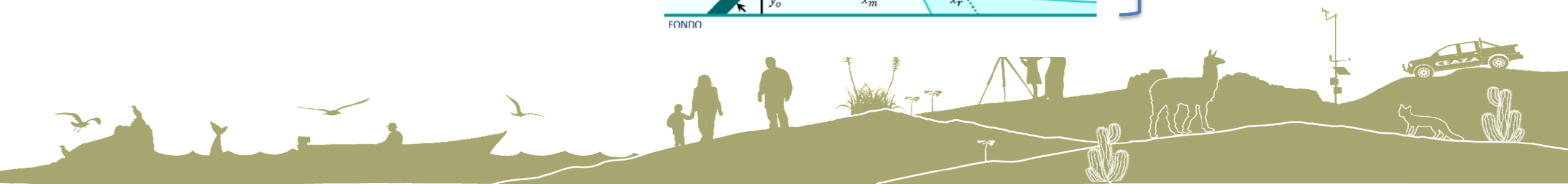
Descarga de agua de
descarte vía difusores

Pluma salmuera densa



Corrientes costeras y potencial de dispersión:

- Temporalmente predecible



Hipótesis operacional:

El acoplamiento de un modelo de circulación costera con evidencia empírica describiendo la distribución de la concentración y la estructura de las comunidades pelágicas y bentónicas a lo largo de la costa puede **revelar hitos geográficos que favorezcan la viabilidad de la instalación y operación de plantas desalinizadoras en la Región de Coquimbo.**

Objetivo principal:

Aportar conocimientos científico-oceanográficos para **sustentar el diseño de políticas públicas** para la instalación y operación de plantas desalinizadoras para enfrentar la sequía y sus consecuencias a nivel nacional para Chile.

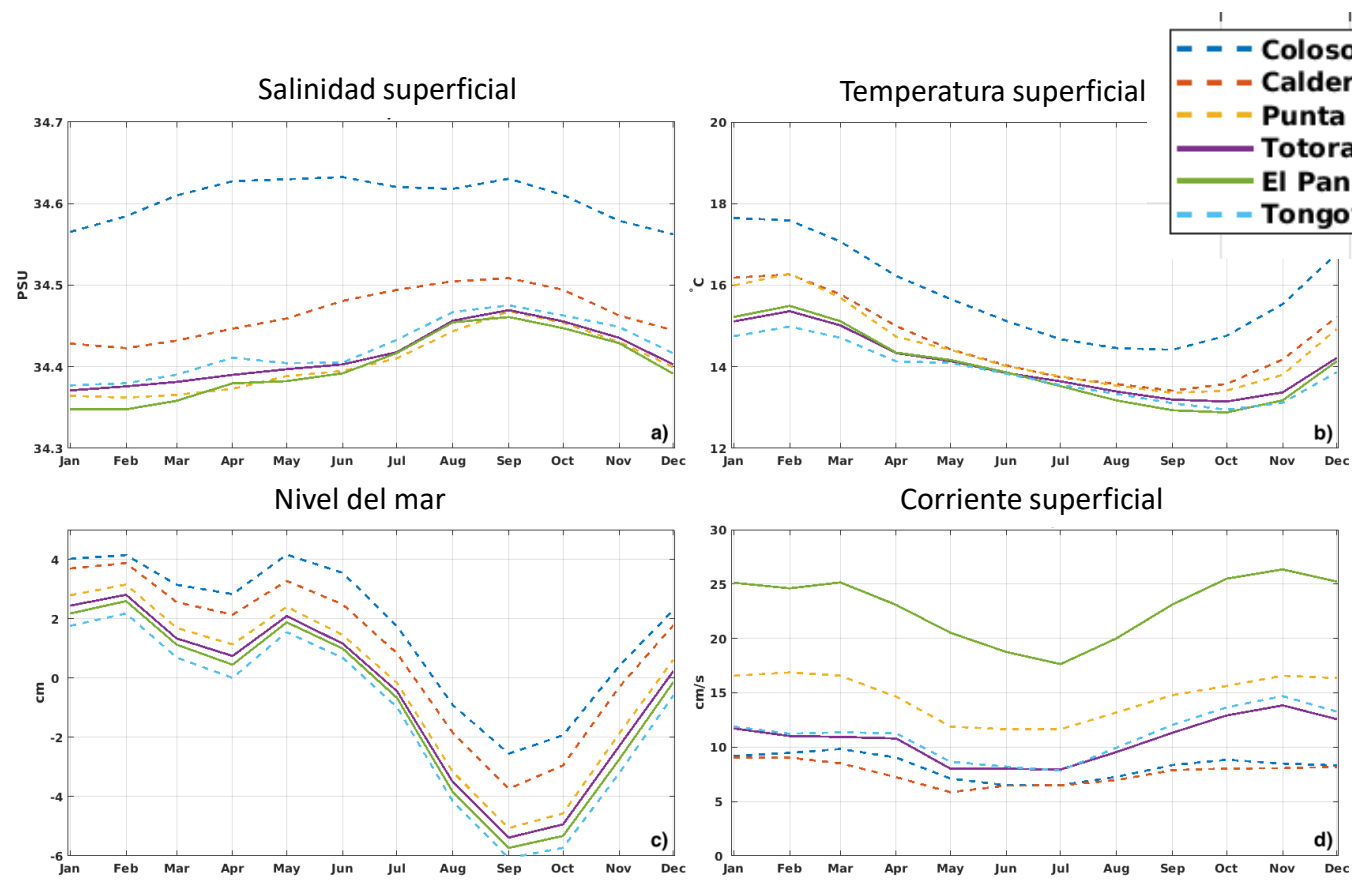


3. Circulación costera en el tiempo

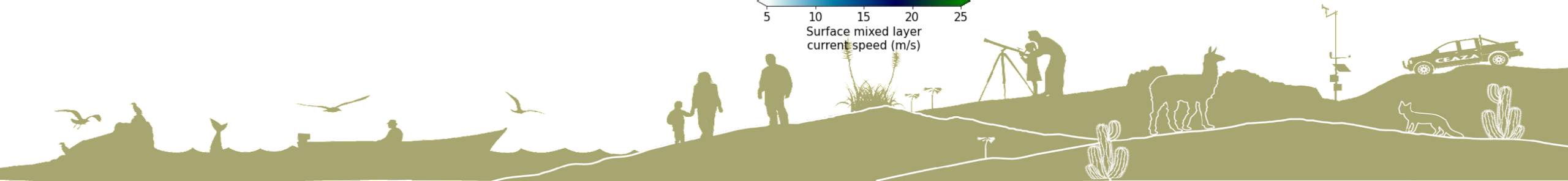
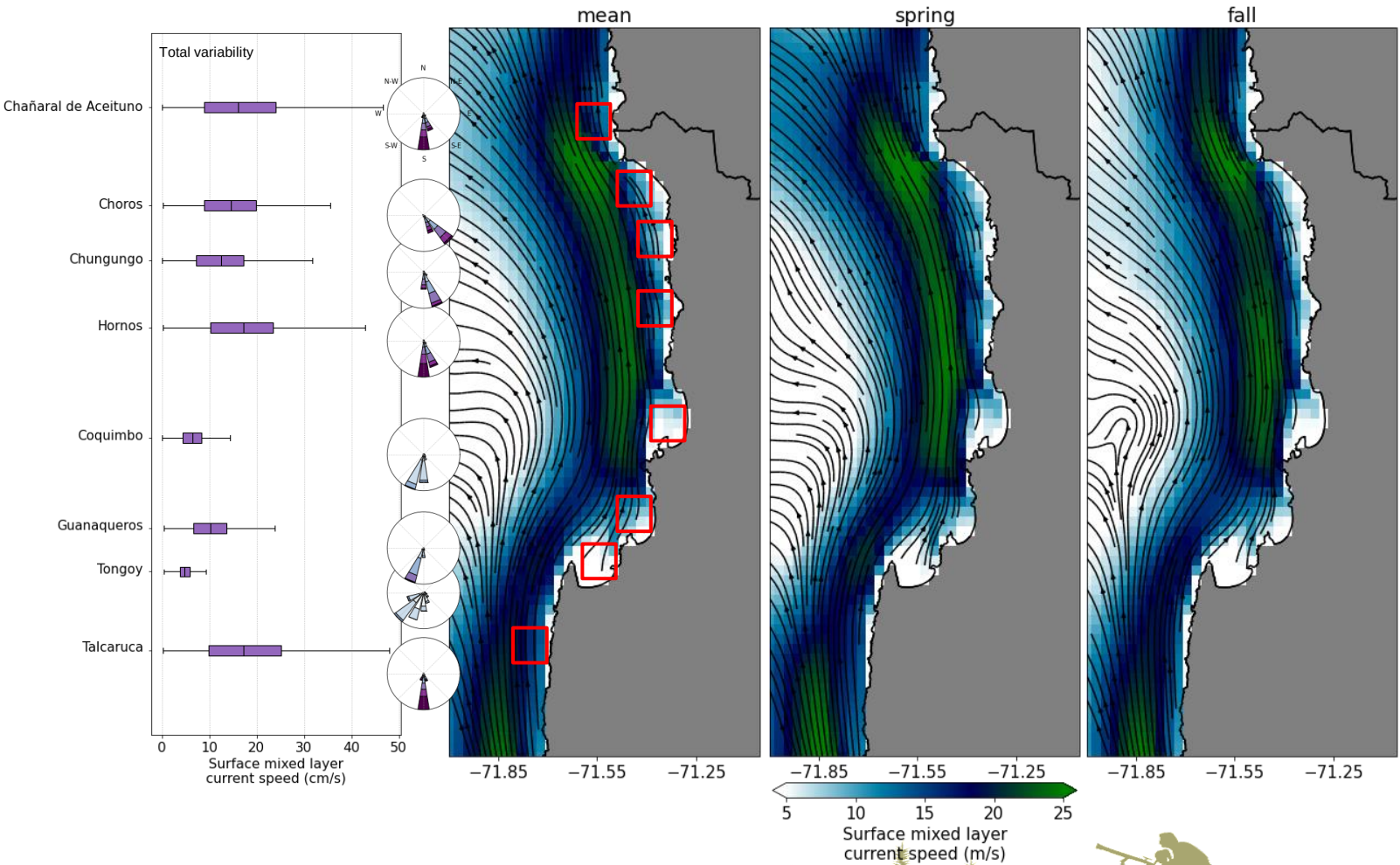
Simulación	Forzante oceánico	Forzante atmosférico	Resolución horizontal	Extensión latitudinal	Extensión temporal
NCCHILE	Simulación regional ROMS de 9km	Reanálisis NCEP NCAR 2.5°x2.5°	3km (405x433 celdas)	31.5°S - 21.5°S	50 años 1950-2008
DSAL0	Reanálisis GLORYS12V ¹ 9km	Reanálisis ERA5 0.25°x0.25°	3km (252x152 celdas)	33.5°S - 27.5°S	11 años 2001-2011
DSAL1	Simulación DSAL0	Reanálisis ERA5 0.25°x0.25	1km (566x152 celdas)	32.7°S - 28.2°S	5 años 2001-2005

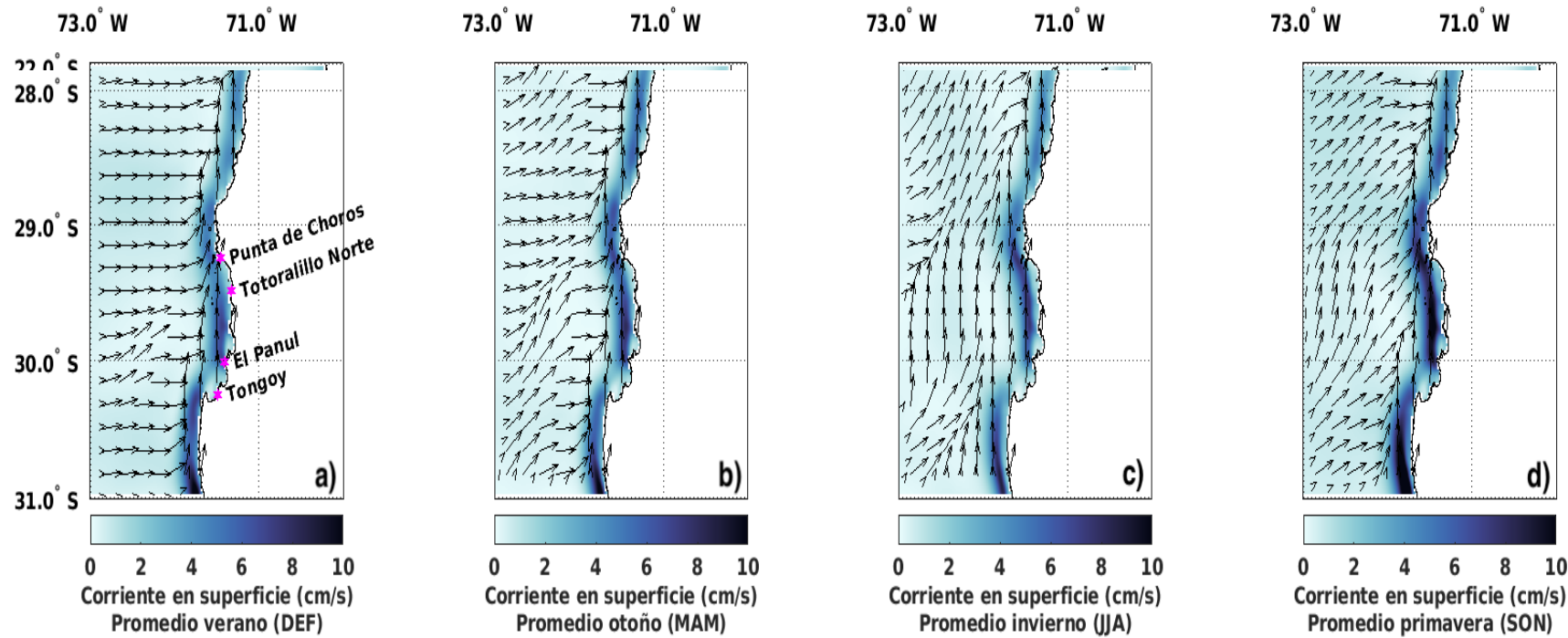


Circulación costera en el norte de Chile



Condición promedio y variabilidad de las corrientes superficiales

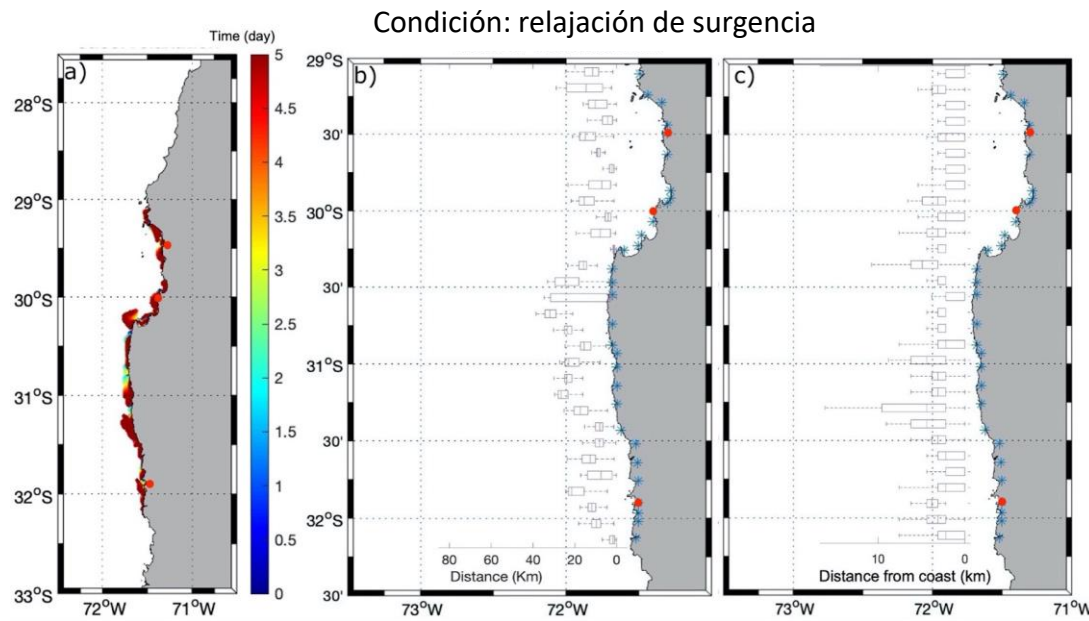
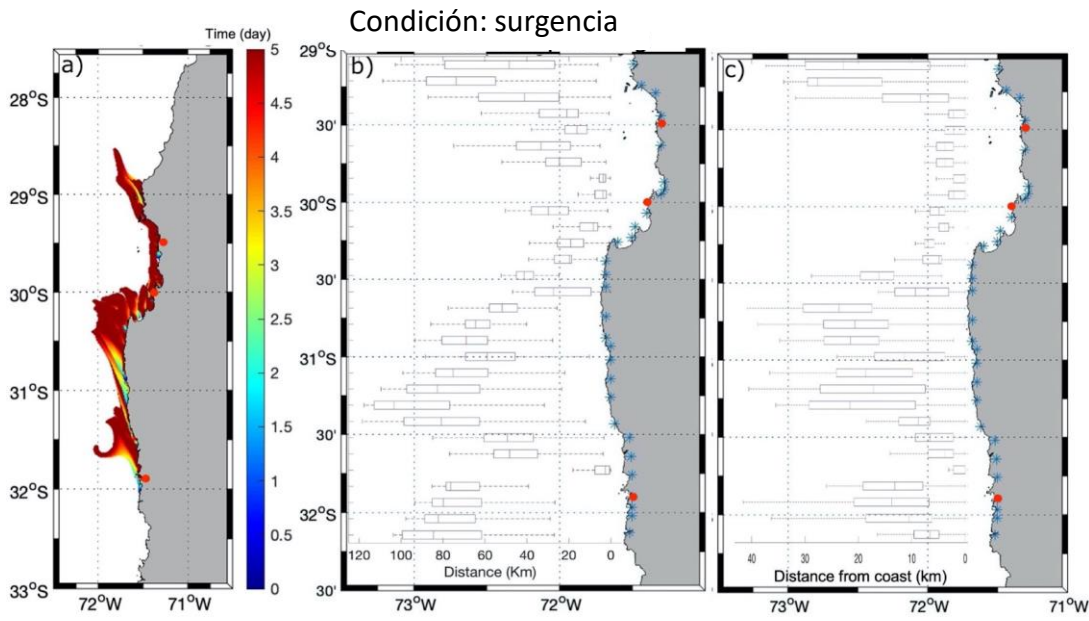




Climatología estacional de la corriente en superficie



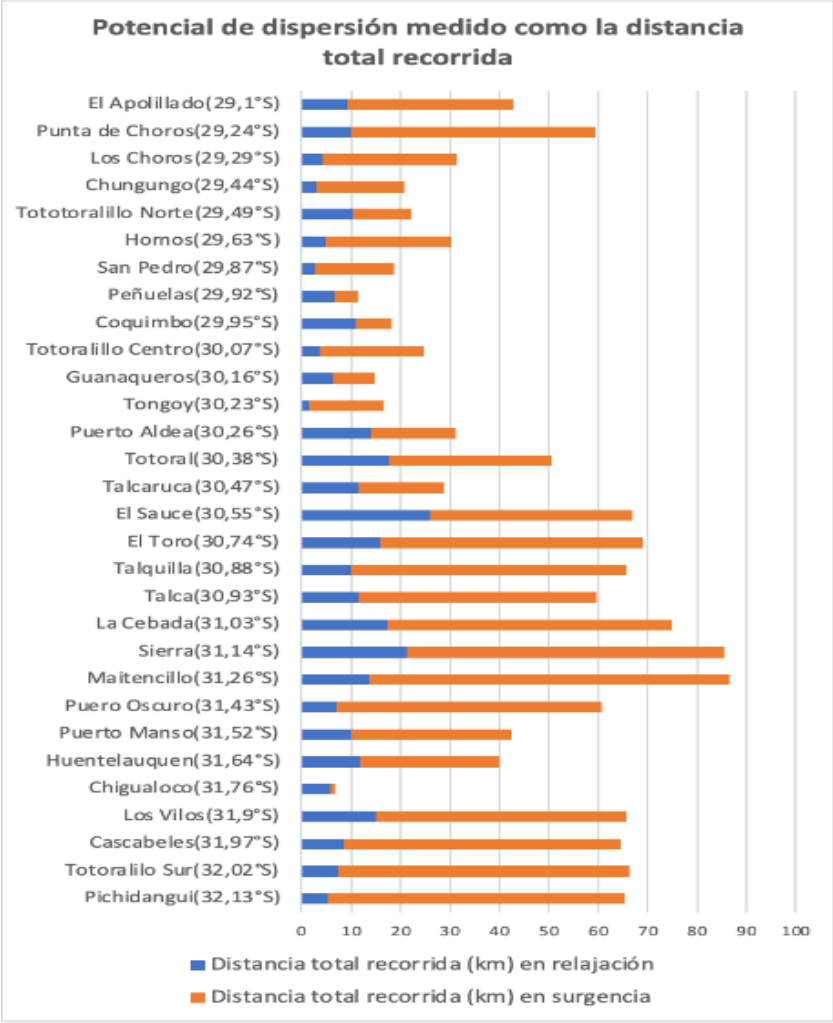
Circulación por localidades en surgencia y relajación



Dispersión del agua durante surgencia y relajación de surgencia.
Mayor dispersión durante surgencia, la que ocurre durante todo el año.

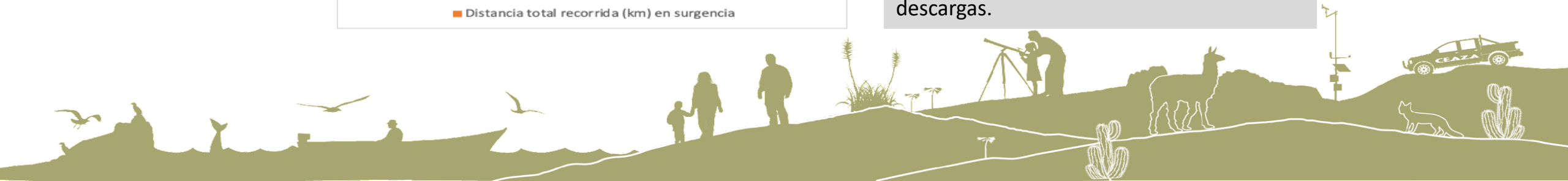


Balance de circulación por surgencia y relajación



La surgencia depende del viento y nosotros
Podemos pronosticar el viento.

Podemos por lo tanto gestionar las
descargas.



Inyección de plumas salinas

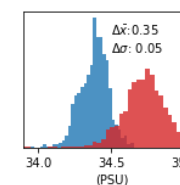
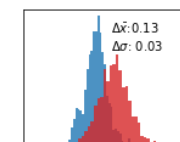
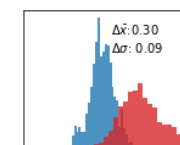
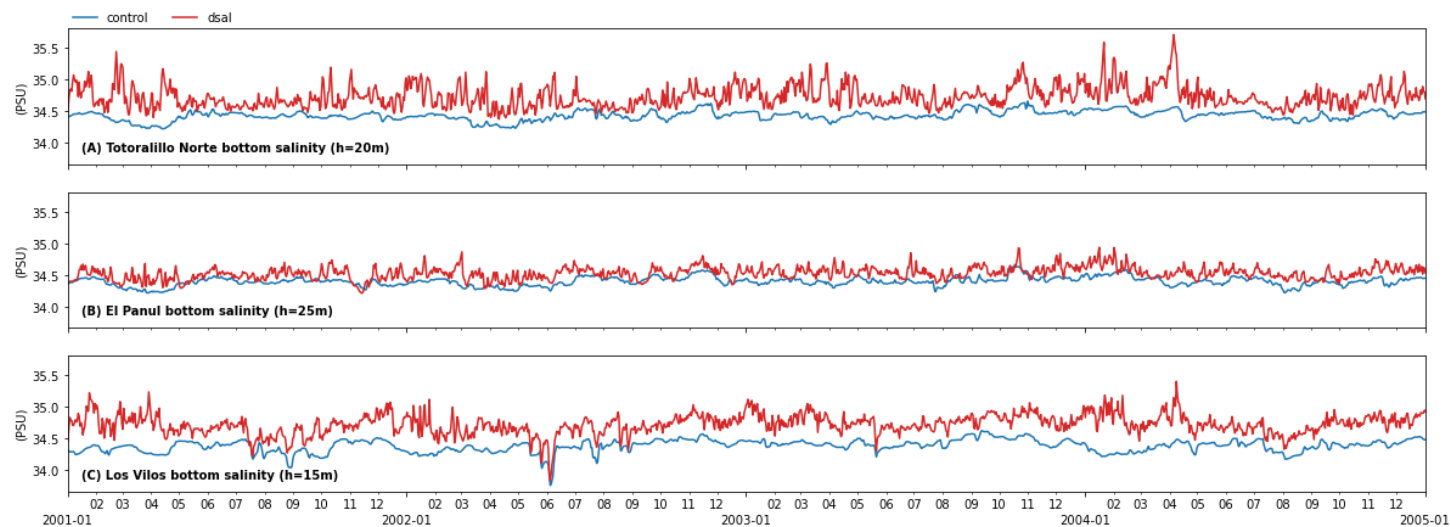
Los Vilos: bajo potencial de dispersion

Totalalillo Norte: alto potencial de dispersion

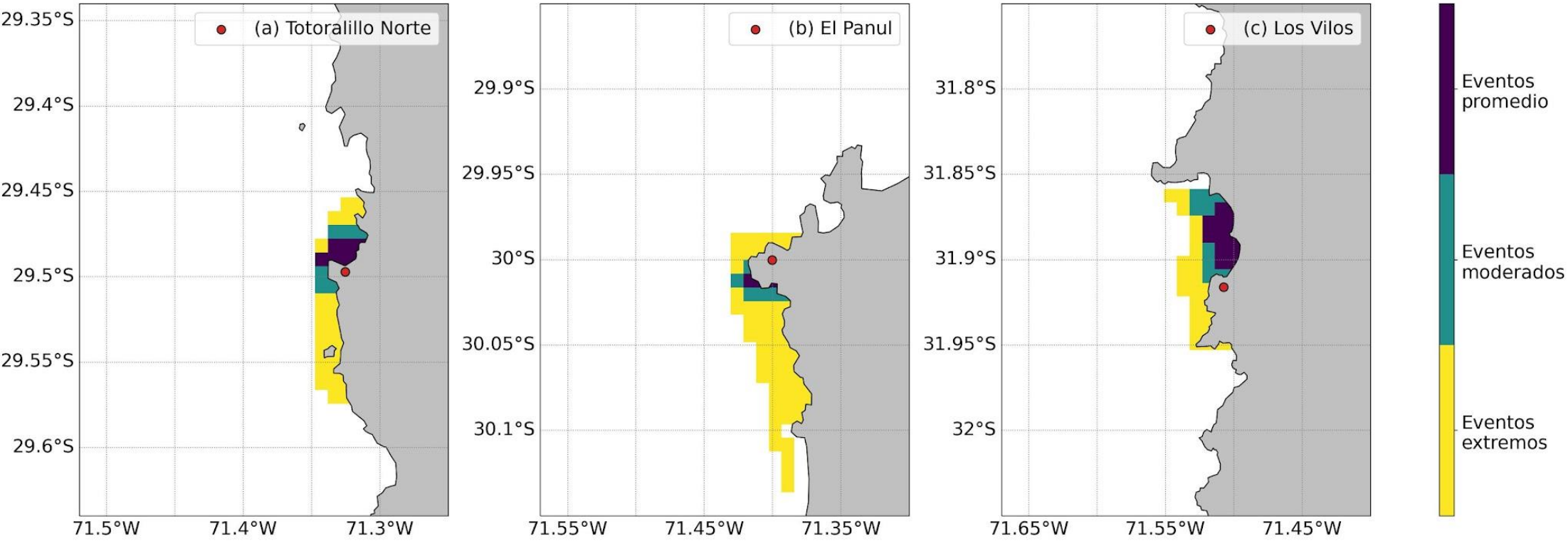
El Panul: alto potencial de dispersion

línea azul = sin descargas de sal

línea roja = con descarga continua de salmuera (1333 L/s)



Area de impacto por plumas salinas

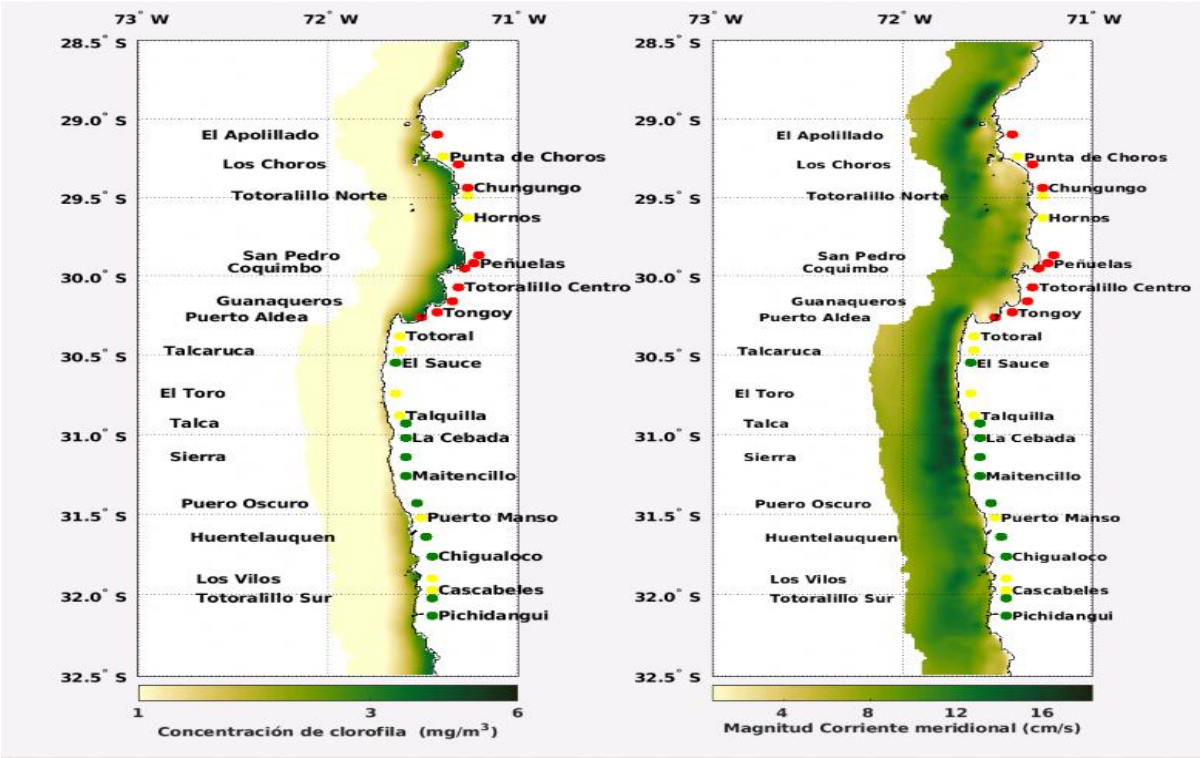


Biología y circulación en la costa de Coquimbo

Concentración histórica (1998-2023) de clorofila superficial

Corrientes a lo largo de la costa de la región de Coquimbo

Orientación
rojo=no
amarillo=eventual
verde=si



Caleta	Latitud	Semaforo
El Apollillado	-29.10	ROJO
Punta de Choros	-29.24	AMARILLO
Los Choros	-29.29	ROJO
Chungungo	-29.44	ROJO
Totalalillo Norte	-29.49	AMARILLO
Hornos	-29.63	AMARILLO
San Pedro Coquimbo	-29.87	ROJO
Peñuelas	-29.92	ROJO
Coquimbo	-29.95	ROJO
Totalalillo Centro	-30.07	ROJO
Guaqueros	-30.16	ROJO
Tongoy	-30.23	ROJO
Puerto Aldea	-30.26	ROJO
Totalal	-30.38	AMARILLO
Talcaruca	-30.47	AMARILLO
El Sauce	-30.55	VERDE
El Toro	-30.74	AMARILLO
Talquilla	-30.88	AMARILLO
Talca	-30.93	VERDE
La Cebada	-31.02	VERDE
Sierra	-31.14	VERDE
Maitencillo	-31.26	VERDE
Puerto Oscuro	-31.43	VERDE
Puerto Manso	-31.52	AMARILLO
Huentelauquen	-31.64	VERDE
Chigualoco	-31.76	VERDE
Los Vilos	-31.90	AMARILLO
Cascabeles	-31.97	AMARILLO
Totalalillo Sur	-32.02	VERDE
Pichidangui	-32.13	VERDE



- a) Evaluar efectos letales y subletales de la salmuera.
- b) Salmuera real y manipulación experimental de variables
- c) Especies de importancia socio-ecológica

- *Mesodesma donacium* (macha)
- *Concholepas concholepas* (loco)
- *Lessonia trabeculata* (huiro palo)



20 años | Ciencia con impacto en la Región de Coquimbo



Efecto letal (L) o subletal (SL).

SL=tiempo de enterramiento, y germinación de meiosporas (huíro).

Adrizar: proceso de volver a una posición normal después de ser volteado.

No aplica (n.a), nulo y negativo.

Recurso	Estadio	Rasgos	Salinidad crítica (PSU)	Efectos (T6)	Efectos (T>6)
Macha	Juvenil	Sobrevivencia (L)	-	Nulo	Nulo
	Juvenil	Éxito de enterramiento (SL)	-	Nulo	Nulo
	Juvenil	Tiempo de enterramiento total (SL)	38	Negativo	Nulo
	Juvenil	Consumo de oxígeno (SL)	56	Negativo	n.a
	Juvenil	Tiempo reacción (SL)	43	Negativo	Negativo
	Juvenil	Tiempo de enterramiento efectivo (SL)	43	Negativo	Negativo
Loco	Juvenil	Sobrevivencia (L)	-	Nulo	Nulo
	Juvenil	Éxito de adrizamiento (SL)	-	Nulo	Nulo
	Juvenil	Éxito de adhesión (SL)	-	Nulo	Nulo
	Juvenil	Tiempo de adrizamiento (SL)	52/45	Negativo	Negativo
	Juvenil	Consumo de oxígeno (SL)	-	Nulo	n.a
	LV	Sobrevivencia (L)	-	Nulo	Nulo
	LV	Tiempo de nado (SL)	48/55	Negativo	Negativo
	LV	Consumo de oxígeno (SL)	38	Negativo	n.a
Huiro	M	Asentamiento (SL)	38	n.a	Negativo
	M	Germinación (SL)	53	n.a	Negativo



Adrizamiento.

A



B



C



Efectos biológicos de la salmuera

Gestión Territorial

☐ CORE

☐ SEREMI SALUD

☐ SERNAGEOMIN

☐ DIRECTEMAR

☐ SEREMI MEDIO AMBIENTE

☐ INN

Normativa Internacional Comparada

☐ ESPAÑA

☐ ISRAEL

Normativa de evaluación ambiental de los proyectos de plantas desaladoras: D.S. N°735/1969 y D.S. N°90/2001, Decreto Ley N°2222/1978 (Tablas de máximos 4 y 5) y Ley de navegación del ministerio de defensa, Ley 19300/1994, Ley de bases generales de medio ambiente, Minsegespres y Ley 20417/2010, que crea el Ministerio y Servicio de evaluación ambiental (SEIA) y superintendencia de medio ambiente.



TABLA Nº 4
LÍMITES MÁXIMOS PERMITIDOS PARA LA DESCARGA DE RESIDUOS LÍQUIDOS A CUERPOS DE AGUA MARINOS, DENTRO DEL ANCHO DE LA ZONA DE PROTECCIÓN LITORAL

CONTAMINANTE	UNIDAD	EXPRESIÓN	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Aceites y Grasas	mg/L	A y G	20
Aluminio	mg/L	Al	1
Arsénico	mg/L	As	0,2
Cadmio	mg/L	Cd	0,02
Cianuro	mg/L	CN*	0,5
Cloro libre residual	mg/L	CLR	1
Cobre	mg/L	Cu	1
Coliformes fecales o Termotolerantes	NMP/100 mL	Coli/100 mL	1.000 ó 70*
Cromo hexavalente	mg/L	Cr ⁶⁺	0,2
Cromo total	mg/L	Cr total	2,5
DBO ₅	mg O ₂ /L	DBO ₅	60
Estaño	mg/L	Sn	0,5
Fluoruro	mg/L	F ⁻	1,5
Fósforo total	mg/L	P	5
Hidrocarburos totales	mg/L	HCT	10
Hidrocarburos volátiles	mg/L	HCV	1
Hierro disuelto	mg/L	Fe	10
Índice de Fenol	mg/L	Fenoles	0,5
Manganeso	mg/L	Mn	2
Mercurio	mg/L	Hg	0,005
Molibdeno	mg/L	Mo	0,1
Níquel	mg/L	Ni	2
Nitrógeno total Kjeldahl	mg/L	NKT	50
pH	Unidad	pH	6,0 - 9,0
Plomo	mg/L	Pb	0,2
SAAM	mg/L	SAAM	10
Selenio	mg/L	Se	0,01
Sólidos sedimentables	mL /L 1 h	S. SED	5
Sólidos suspendidos totales	mg/L	SST	100
Sulfuros	mg/L	S ²⁻	1
Temperatura	°C	T°	30
Trihalometanos	mg/L	THMs	0,1
Zinc	mg/L	Zn	5

* En áreas aptas para la acuicultura, áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos y los espacios costeros marinos de pueblos originarios declarados como tales, no se deben sobrepasar los 70 NMP/100 mL de Coliformes fecales o Termotolerantes.

TABLA Nº 5
LÍMITES MÁXIMOS DE CONCENTRACIÓN PARA DESCARGA DE RESIDUOS LÍQUIDOS A CUERPOS DE AGUA MARINOS, FUERA DEL ANCHO DE LA ZONA DE PROTECCIÓN LITORAL

CONTAMINANTE	UNIDAD	EXPRESIÓN	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Aceites y Grasas	mg/L	A y G	150
Aluminio	mg/L	Al	10
Arsénico	mg/L	As	0,5
Cadmio	mg/L	Cd	0,5
Cianuro	mg/L	CN*	1
Cloro libre residual	mg/L	CLR	2
Cobre	mg/L	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/L	Cr ⁶⁺	0,5
Cromo total	mg/L	Cr total	10
Estaño	mg/L	Sn	1
Fluoruro	mg/L	F ⁻	6
Hidrocarburos totales	mg/L	HCT	20
Hidrocarburos volátiles	mg/L	HC	2
Índice de Fenol	mg/L	Fenoles	1
Manganeso	mg/L	Mn	4
Mercurio	mg/L	Hg	0,02
Molibdeno	mg/L	Mo	0,5
Níquel	mg/L	Ni	4
pH	Unidad	pH	5,5 - 9,0
Plomo	mg/L	Pb	1
SAAM	mg/L	SAAM	15
Selenio	mg/L	Se	0,03
Sólidos sedimentables	mL /L 1 h	S.SED	20
Sólidos suspendidos totales	mg/L	SST	300
Sulfuro	mg/L	S ²⁻	5
Trihalometanos	mg/L	THMs	0,2
Zinc	mg/L	Zn	5

D.S. N°735/1969 y D.S. N°90/2001, que dicen relación con los contaminantes en el medio acuático. No figuran en esta normativa los residuos de las plantas desaladoras (salmuera y químicos relacionados a la mantención de la infraestructura) y por lo tanto no pueden ser considerados contaminantes.

Ley 19300/1994, Art. N°2, define contaminación: “Presencia en el ambiente de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, en concentraciones o concentraciones y permanencia superiores o inferiores, según corresponda, a las establecidas en la legislación vigente”.



TABLA Nº 4
LÍMITES MÁXIMOS PERMITIDOS PARA LA DESCARGA DE RESIDUOS LÍQUIDOS A CUERPOS DE AGUA MARINOS, DENTRO DEL ANCHO DE LA ZONA DE PROTECCIÓN LITORAL

CONTAMINANTE	UNIDAD	EXPRESIÓN	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Aceites y Grasas	mg/L	A y G	20
Aluminio	mg/L	Al	1
Arsénico	mg/L	As	0,2
Cadmio	mg/L	Cd	0,02
Cianuro	mg/L	CN*	0,5
Cloro libre residual	mg/L	CLR	1
Cobre	mg/L	Cu	1
Coliformes fecales o Termotolerantes	NMP/100 mL	Coli/100 mL	1.000 ó 70*
Cromo hexavalente	mg/L	Cr ⁶⁺	0,2
Cromo total	mg/L	Cr total	2,5
DBO ₅	mg O ₂ /L	DBO ₅	60
Estaño	mg/L	Sn	0,5
Fluoruro	mg/L	F ⁻	1,5
Fósforo total	mg/L	P	5
Hidrocarburos totales	mg/L	HCT	10
Hidrocarburos volátiles	mg/L	HCV	1
Hierro disuelto	mg/L	Fe	10
Índice de Fenol	mg/L	Fenoles	0,5
Manganeso	mg/L	Mn	2
Mercurio	mg/L	Hg	0,005
Molibdeno	mg/L	Mo	0,1
Níquel	mg/L	Ni	2
Nitrógeno total Kjeldahl	mg/L	NKT	50
pH	Unidad	pH	6,0 - 9,0
Plomo	mg/L	Pb	0,2
SAAM	mg/L	SAAM	10
Selenio	mg/L	Se	0,01
Sólidos sedimentables	mL / L 1 h	S. SED	5
Sólidos suspendidos totales	mg/L	SST	100
Sulfuros	mg/L	S ²⁻	1
Temperatura	°C	T°	30
Trihalometanos	mg/L	THMs	0,1
Zinc	mg/L	Zn	5

* En áreas aptas para la acuicultura, áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos y los espacios costeros marinos de pueblos originarios declarados como tales, no se deben sobrepasar los 70 NMP/100 mL de Coliformes fecales o Termotolerantes.

TABLA Nº 5
LÍMITES MÁXIMOS DE CONCENTRACIÓN PARA DESCARGA DE RESIDUOS LÍQUIDOS A CUERPOS DE AGUA MARINOS, FUERA DEL ANCHO DE LA ZONA DE PROTECCIÓN LITORAL

CONTAMINANTE	UNIDAD	EXPRESIÓN	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Aceites y Grasas	mg/L	A y G	150
Aluminio	mg/L	Al	10
Arsénico	mg/L	As	0,5
Cadmio	mg/L	Cd	0,5
Cianuro	mg/L	CN*	1
Cloro libre residual	mg/L	CLR	2
Cobre	mg/L	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/L	Cr ⁶⁺	0,5
Cromo total	mg/L	Cr total	10
Estaño	mg/L	Sn	1
Fluoruro	mg/L	F ⁻	6
Hidrocarburos totales	mg/L	HCT	20
Hidrocarburos volátiles	mg/L	HC	2
Índice de Fenol	mg/L	Fenoles	1
Manganeso	mg/L	Mn	4
Mercurio	mg/L	Hg	0,02
Molibdeno	mg/L	Mo	0,5
Níquel	mg/L	Ni	4
pH	Unidad	pH	5,5 - 9,0
Plomo	mg/L	Pb	1
SAAM	mg/L	SAAM	15
Selenio	mg/L	Se	0,03
Sólidos sedimentables	mL / L 1 h	S.SED	20
Sólidos suspendidos totales	mg/L	SST	300
Sulfuro	mg/L	S ²⁻	5
Trihalometanos	mg/L	THMs	0,2
Zinc	mg/L	Zn	5



DIRECTEMAR: D.S. N°1/1992, Reglamento para el control de la contaminación acuática, y D.S. N°40, Reglamento del SEIA. Artículo 2°.- Se prohíbe absolutamente arrojar lastre, escombros o basuras y derramar petróleo o sus derivados o residuos, aguas de relaves de minerales u otras materias nocivas o peligrosas, de cualquier especie, que ocasionen o puedan ocasionar daños o perjuicios en las aguas sometidas a la jurisdicción nacional y en puertos, ríos y lagos.”





Ley 19300/1994 en su art. N°2, define contaminación como:
 “Contaminación: la presencia en el ambiente de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, en concentraciones o concentraciones y permanencia superiores o inferiores, según corresponda, a las establecidas en la legislación vigente (Tablas 4 y 5)”.

Las plantas desaladoras son sometidas al Sistema De Evaluación de Impacto Ambiental no por su actividad principal sino por sus actividades productivas asociadas.

Estudio de Impacto Ambiental

"Desaladora para Agua Potable de Coquimbo"

Aguas del Valle S.A.
Rep. Legal: Andrés Antonio Nazer Vega

Tipología de Proyecto: o.3) Sistemas de agua potable que comprenden obras que captan y construyen agua desde el lugar de captación hasta su entrega en el inmueble del usuario

Antecedentes Generales del proyecto

- **Nombre del Proyecto**
Desaladora para Agua Potable de Coquimbo
- **Región**
Región de Coquimbo
- **Comunas**
Cosquimbo

Estudio de Impacto Ambiental "Planta Desalinizadora de Agua de Mar para la Región de Atacama, Provincias de Copiapó y Chañaral" Empresa Concesionaria de Servicios Sanitarios S.A Rep. Legal: Gabriel Caldés Contreras Tipología de Proyecto: o.3) Sistemas de agua potable que comprendan obras que capten y conduzcan agua desde el lugar de captación hasta su entrega en el inmueble del usuario Antecedentes Generales del proyecto Nombre del Proyecto Planta Desalinizadora de Agua de Mar para la Región de Atacama, Provincias de Copiapó y Chañaral Región Región de Atacama Comunas Copiapó, Chañaral	
---	--

	Estudio de Impacto Ambiental "Infraestructura Complementaria" Minera Los Pelambres Rep. Legal: Renzo Guiliano Stagno Finger	
Antecedentes Generales del proyecto	Tipología de Proyecto: i) 1) Proyectos de desarrollo minero sobre 5.000 toneladas.	
	- Nombre del Proyecto Infraestructura Complementaria - Región Región de Coquimbo - Municipios Illapel-Los Vilos-Salamanca - Tipología de Proyecto i) 1) Proyectos de desarrollo minero sobre 5.000 toneladas. - Tipologías secundarias • R.4) Producción, disposición o reutilización de sustancias corrosivas o reactivas, (sustancias señaladas en las clases 5 de la NCh. 382, Of. 2004) • O.6) Emisarios submarinos	



- ✓ La circulación costera (potencial de dispersión) no es uniforme a lo largo de la costa de la región, pero se asocia fuertemente al viento y podemos predecir el viento.
- ✓ Se observan sectores donde el potencial de dispersión y la concentración biológica son propicios para reducir efectos no deseados de las plantas desaladoras.
- ✓ Salientes con pendiente pronunciada preferible por sobre bahías.
- ✓ Efectos biológicos subletales, se conoce efectos crónicos o derivados de estresores múltiples.
- ✓ Normativa ambiental relativa a plantas desaladoras relativamente frágil y perfectible.

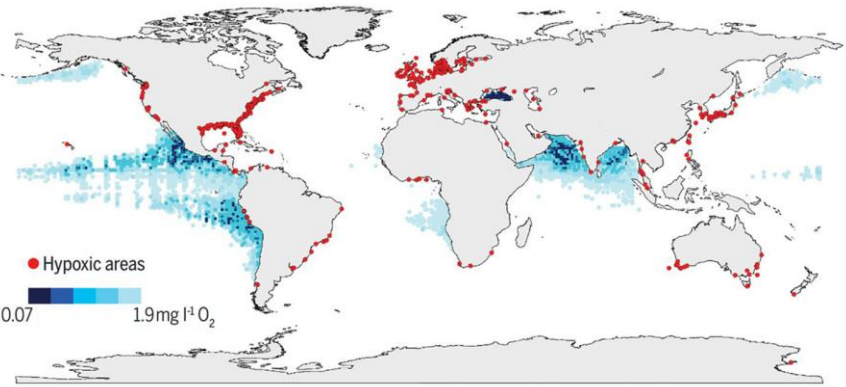
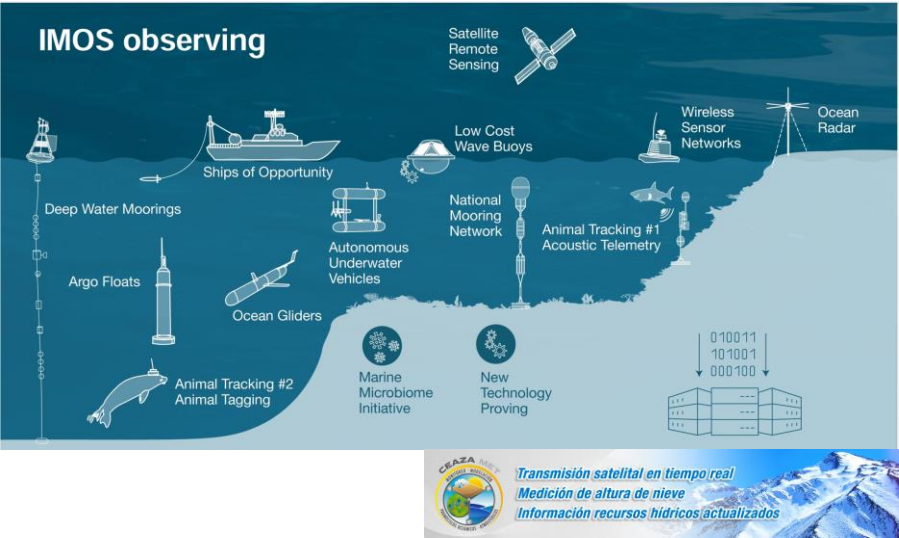


Uso por región	Capacidad actual		Capacidad futura			
	l/s	%	N	l/s	%	N
Minería	6.137	71,9	11	13.347	34,4	22
Tarapacá			1	2.067	5,3	4
Antofagasta	5.037	59,0	8	8.233	21,3	11
Atacama	1.100	12,9	3	2.664	6,9	8
Coquimbo				400	1,0	1
Sanitario	1.908	22,3	12	6.788	17,4	30
Tarapacá	13	0,1	1	17	0,0	2
Arica	208	2,4	1	408	1,1	2
Antofagasta	1.229	14,4	6	2.863	7,3	8
Atacama	450	5,3	1	1.293	3,3	2
Coquimbo	4	0,0	1	1.204	3,1	11
Valparaíso	1	0,0	1	1.001	2,6	4
Aysén	3	0,0	1	3	0,0	1
Industrial	513	6,0	16	6.381	16,5	21
Antofagasta	337	3,9	11	495	1,3	12
Atacama	70	0,8	1	5.220	13,5	4
Valparaíso	58	0,7	2	618	1,6	3
Biobío	33	0,4	1	33	0,1	1
Magallanes	15	0,2	1	15	0,0	1
Multipropósito				12.250	31,6	3
Antofagasta				8.000	20,6	1
Coquimbo				2.200	5,7	1
Valparaíso				2.050	5,3	1

Tabla 3.4.
Capacidad de
desalinización
actual y futura por
uso final y región.
Fuente: Elaboración
propia a partir de la
base de datos del
presente informe.

Nota: Capacidad
futura incluye actual
más ampliaciones y
proyectos.





Beneficios sociales

Seguridad, protección y soberanía marítima

Seguridad energética

Seguridad alimentaria

Manejo y conservación de biodiversidad

Poblaciones costeras



Uso de los datos

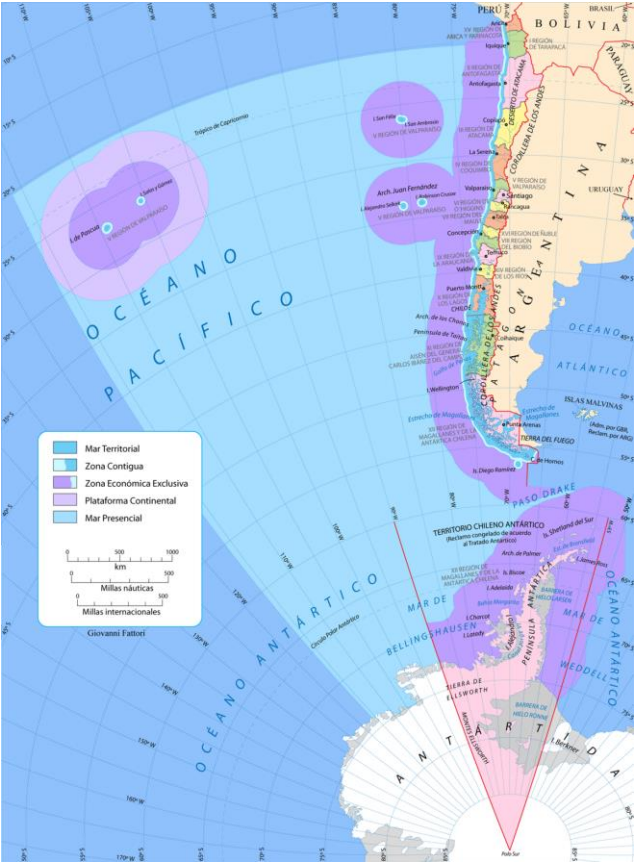
Investigación climática

Conocimiento y administración oceánica

Servicios operacionales



Chile, más mar que tierra. Pero....





Revista Marítima & Portuaria

Un Medio para conectar la Comunidad Marítima Mundial

Noticias ▼ NOSOTROS ▼ SEAFARERS DIGITALIZACIÓN ▼ COMERCIO ▼ TRANSPORTE ▼ PUERTOS ▼

EDUCACION ▼ PESCA TURISMO ▼ CIENCIA MEDIOS ▼

TRANSPORTE

COMERCIO

ADUANAS

PUERTOS

La Revista
especializada
del Sector
Acuático
Internacional

PESCA

DEPORTES

MEDICINA

PUBLICACIONES

“SOMOS UN PAÍS QUE LE DAMOS LA ESPALDA AL MAR»

Un caso chileno

Rodolfo Ponce, presidente Alianza Marítima de Chile.

Seleccionar idioma ▼

Con la tecnología de Google Traductor

NAVEGA CON NOSOTROS

Buscar ...

