



“Fundamentos oceanográficos para la planificación y diseño de plantas desalinizadoras en el borde costero de la región de Coquimbo, Chile”:

Dr. Orlando Astudillo
Grupo Mar
CEAZA



SEMINARIO

Plantas desaladoras en Chile: conocimiento, oportunidades y desafíos.

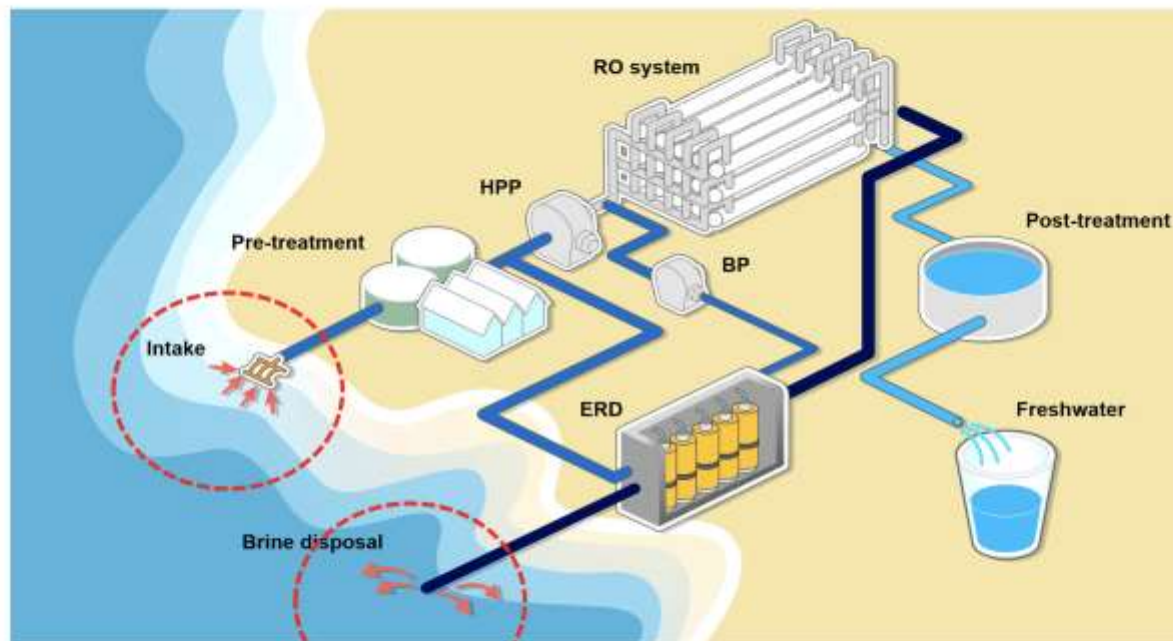




Antecedentes del estudio

FONDO DE INVESTIGACIÓN ESTRATÉGICA EN SEQUÍA ANID FSEQ210017

Fundamentos oceanográficos y biológicos para la planificación y el diseño de plantas desalinizadoras en el centro-norte de Chile



Kim et al., 2019

En Chile centro-norte, las plantas desalinizadoras están desempeñando un papel cada vez más importante en respuesta a los desafíos inducidos por el estrés del recurso hídrico. Sin embargo existe preocupación generalizada por el impacto de su funcionamiento en los ecosistemas costeros. En particular sobre los procesos de **captación de agua de mar y la descarga de salmuera en el océano.**

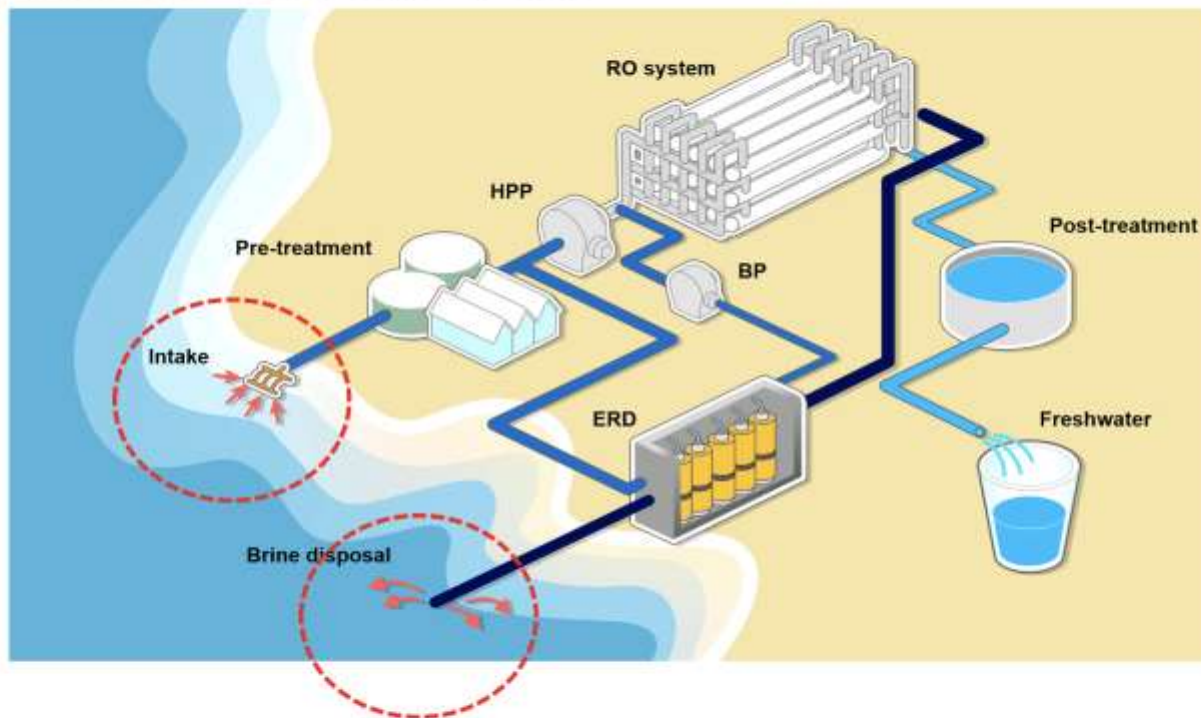




Antecedentes del estudio

FONDO DE INVESTIGACIÓN ESTRATÉGICA EN SEQUÍA ANID FSEQ210017

Fundamentos oceanográficos y biológicos para la planificación y el diseño de plantas desalinizadoras en el centro-norte de Chile



Kim et al., 2019

En este estudio, los investigadores del grupo mar de CEAZA nos hemos abocado a proveer mediante un estudio multidisciplinario los **Fundamentos oceanográficos y biológicos** que permitan sustentar la planificación y diseño de plantas desalinizadoras en el centro-norte de Chile a fin de minimizar su impacto en el ecosistema marino.

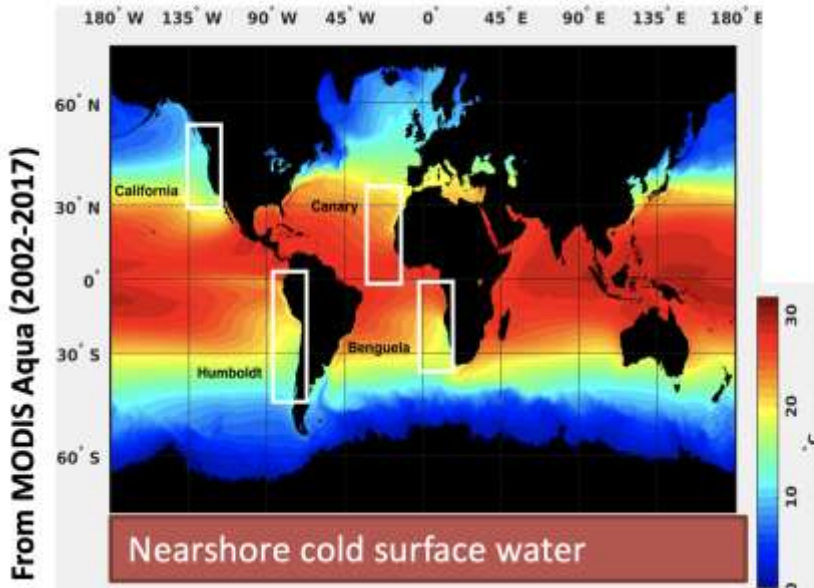




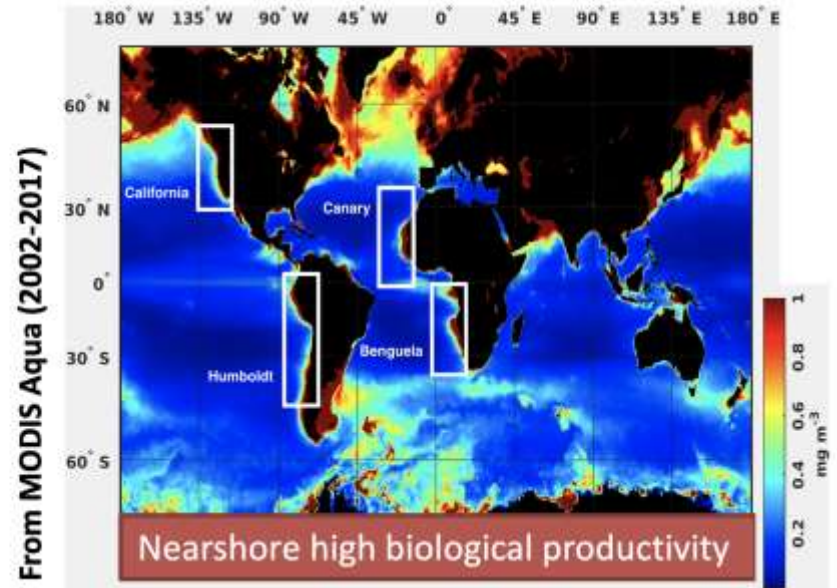
Sistemas de surgencia costera

C
O
N
T
E
X
T
O

Temperatura Superficial del Mar (TSM) promedio (°C)



Clorofila-a superficial promedio (mg m⁻³)



» Características de la surgencia de aguas profundas



Temperaturas más frías.



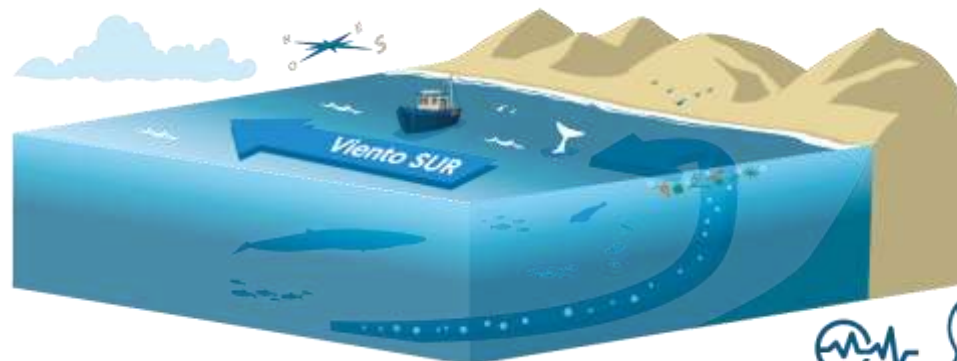
Bajas concentraciones de oxígeno disuelto.



Altas concentraciones de CO₂ (elevada acidez).



Elevados niveles de nutrientes.





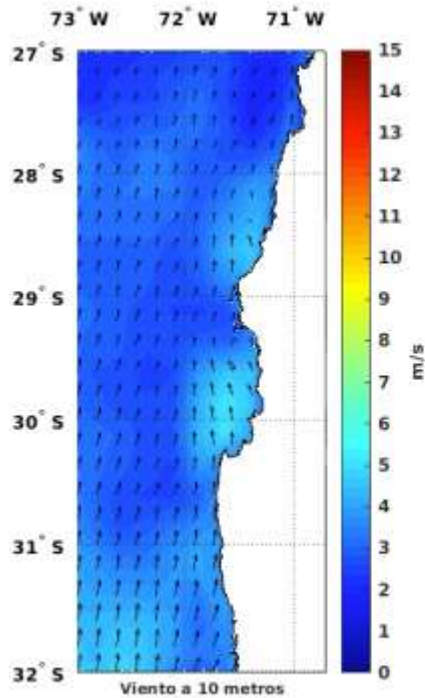
Sistemas de surgencia costera

C
O
N
T
E
X
T
O

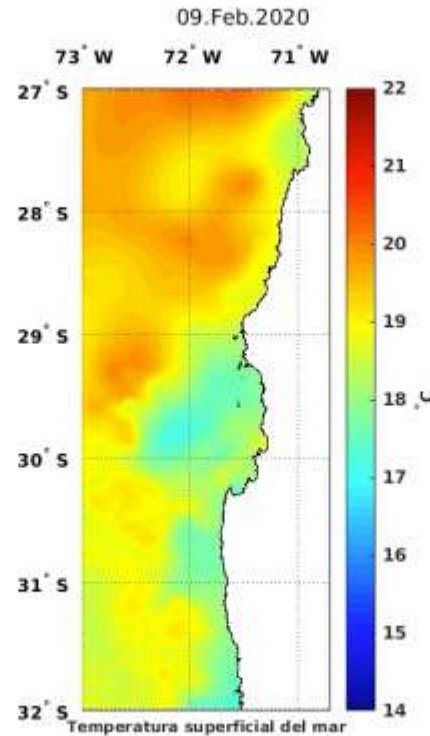
En términos simples los sistemas de surgencia son forzados por los periodos de **intensificación y relajación** del viento que fluye en superficie en dirección hacia el ecuador, interactuando con la rotación del planeta definiendo el régimen de circulación costera.

9 al 26 de febrero, 2020

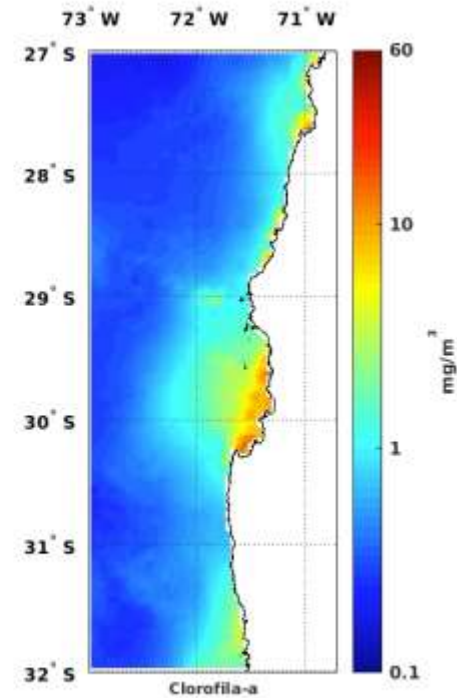
Viento.



Temperatura



Fitoplancton



Complejidad sistemas de surgencia costera

Las variaciones en temperatura, salinidad, oxígeno y otras propiedades son guiadas por la acción de las corrientes costeras que actúan horizontal y verticalmente bajo la influencia del viento, modificando de paso el nivel del mar a lo largo de la costa. Este ultimo como vemos no solo depende de factores locales sino también remotos, en particular de origen ecuatorial mediante el paso de ondas de Kelvin intraestacionales que modulan la columna de agua y la capa de mezcla superficial.

C
O
N
T
E
X
T
O

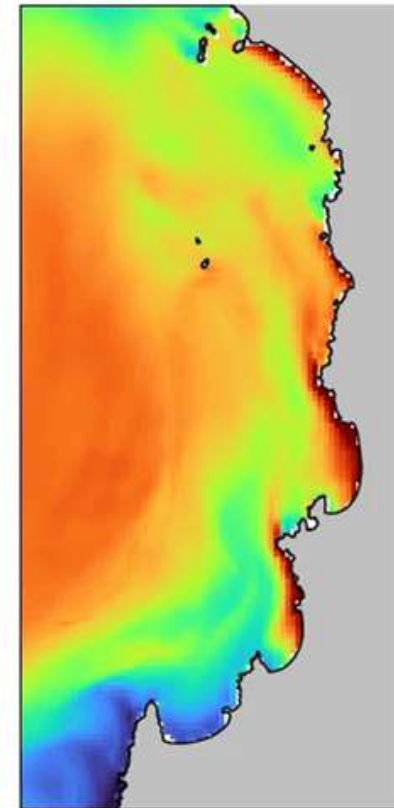
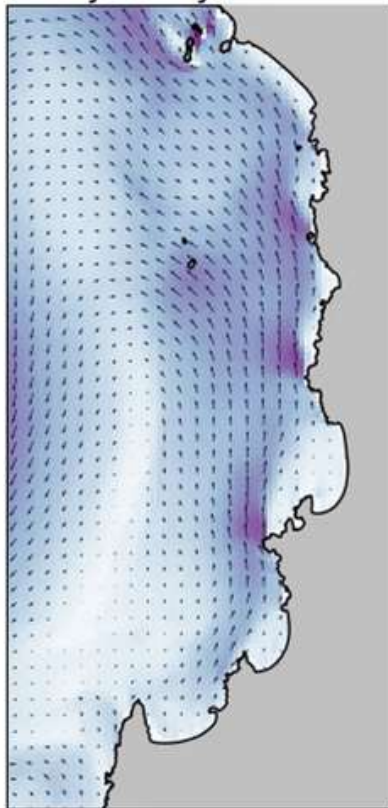
Corriente

Nivel del mar

Temperatura

01 January de 2001

1 al 30 de marzo, 2001



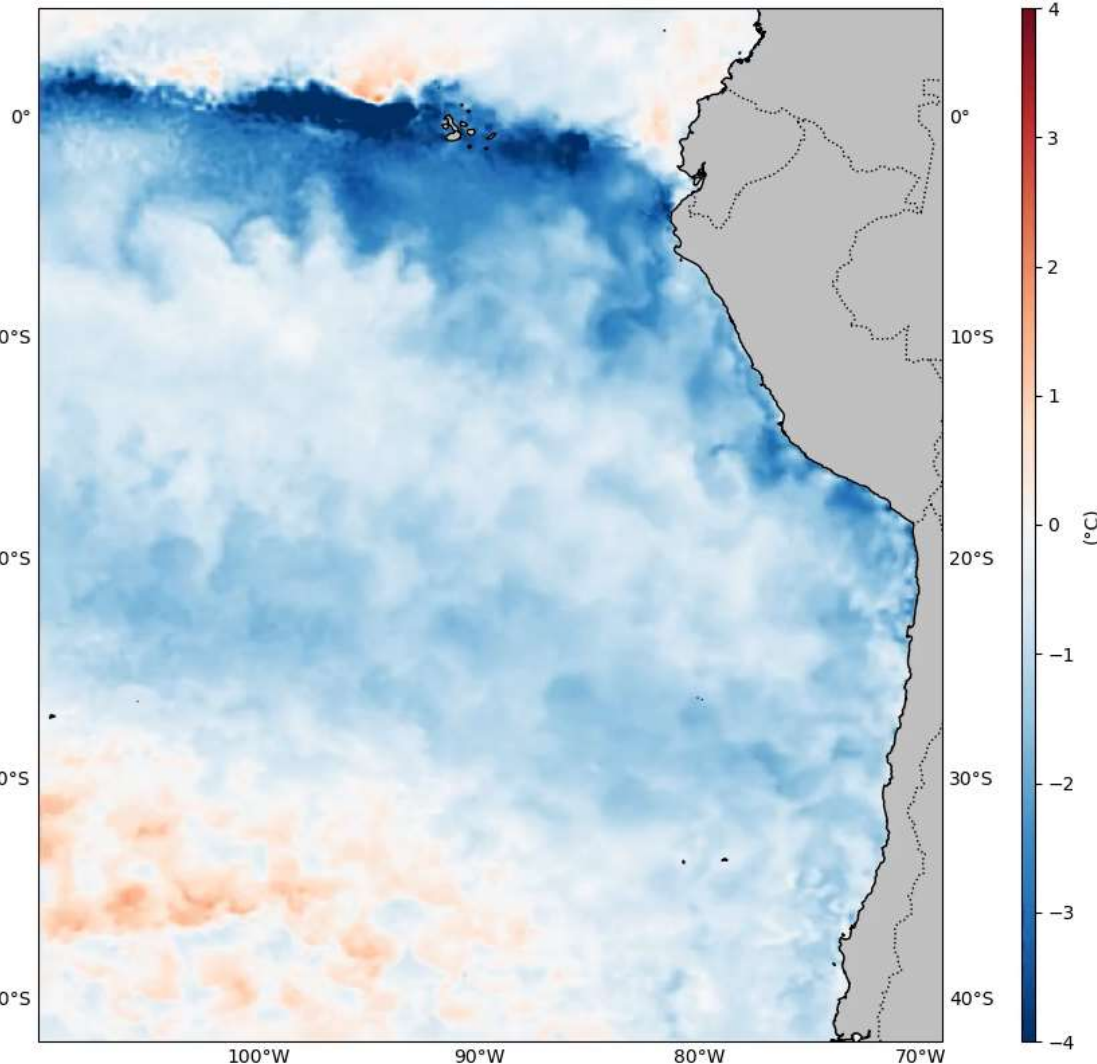
Complejidad sistemas de surgencia costera

C
O
N
T
E
X
T
O

Octubre 2022 - Julio 2023

Temperatura satelital del mar

01 octubre de 2022



Influencia de El Niño:

A principios de año, la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en el Pacífico suroriental mostró una rápida transición de condiciones frías, observadas en diciembre, a condiciones neutras y luego la activación de El Niño desde el mes de mayo.

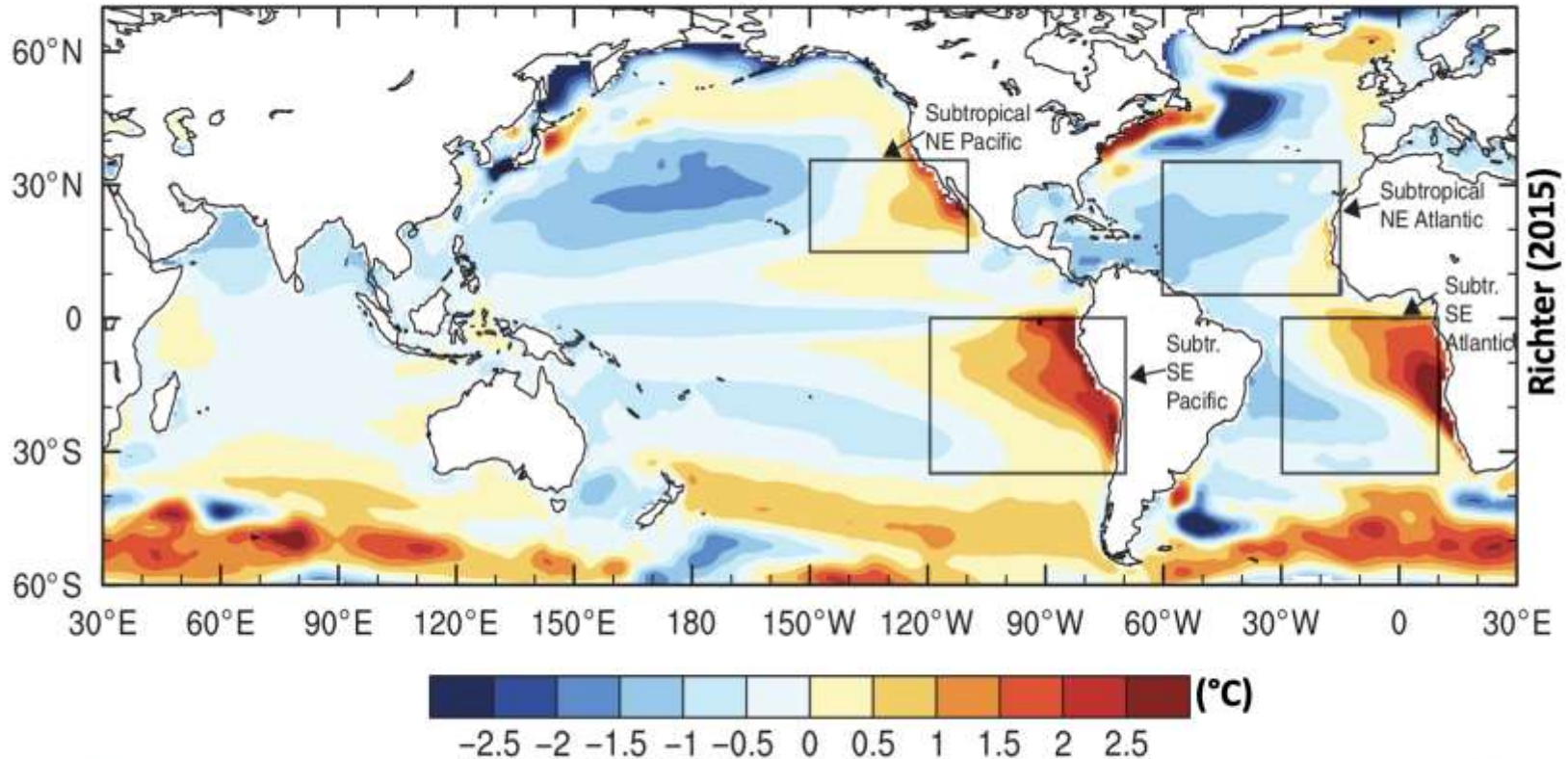
A nivel nacional, el mayor calentamiento del mar se observó en la región de Antofagasta con una anomalía mensual máxima de 2.8°C durante el mes de agosto y de 2°C en la región de Coquimbo.





Sesgos en la actual generación de modelos globales

Error medio de la TSM en los modelos globales CMIP5 vs las observaciones OISST



- Los modelos globales acoplados experimentan grandes dificultades para simular los sistemas de surgencia costera
- El Pacífico sudoriental presenta los desvíos cálidos de TSM más severos.



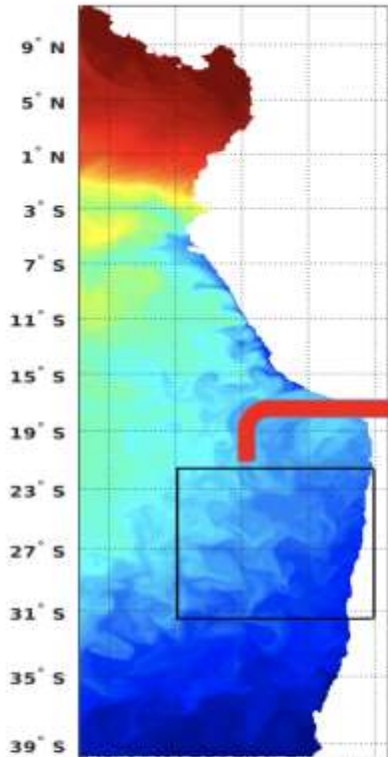


Modelación regional

M
E
T
O
D
O
S

Parent model 9km

86° W 82° W 78° W 74° W 70° W

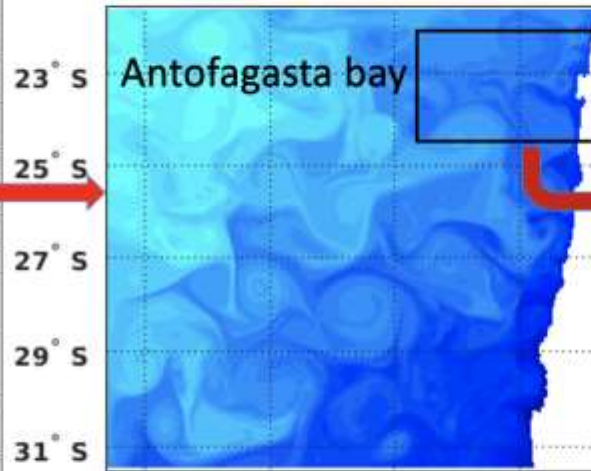


ROMS parent domain (9 km)
SST 02-10-1990

Model: High-resolution Coastal and Regional Ocean Community model (CROCO)

Child model 3km

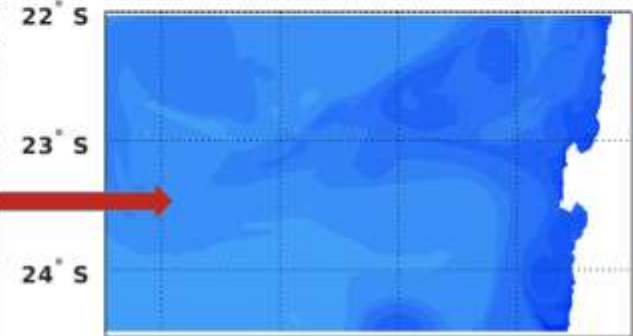
81° W 78° W 75° W 72° W



CROCO inner domain (3 km)
SST 02-10-1990

Child model 1km

74° W 73° W 72° W 71° W



CROCO inner domain (1 km)
SST 02-10-1990

Parent model: ROMS/CROCO

- Resolution: 9-km
- Region: Southeast Pacific
- 37 vertical levels (+dense in surface)
- Lateral Boundary Conditions: SODA analysis
- Wind forcing: NCEP reanalysis and QuikSCAT

Child models: CROCO

- Downscaling using offline nesting
- Resolutions: 3 and 1 km
- Regions: north central Chile and main bays
- 50 vertical levels (+dense in surface)
- Lateral Boundary Condition: ROMS/CROCO 9 km
- Wind Forcing: Same as parent and WRF outputs

Periodo de simulación 1958-2008

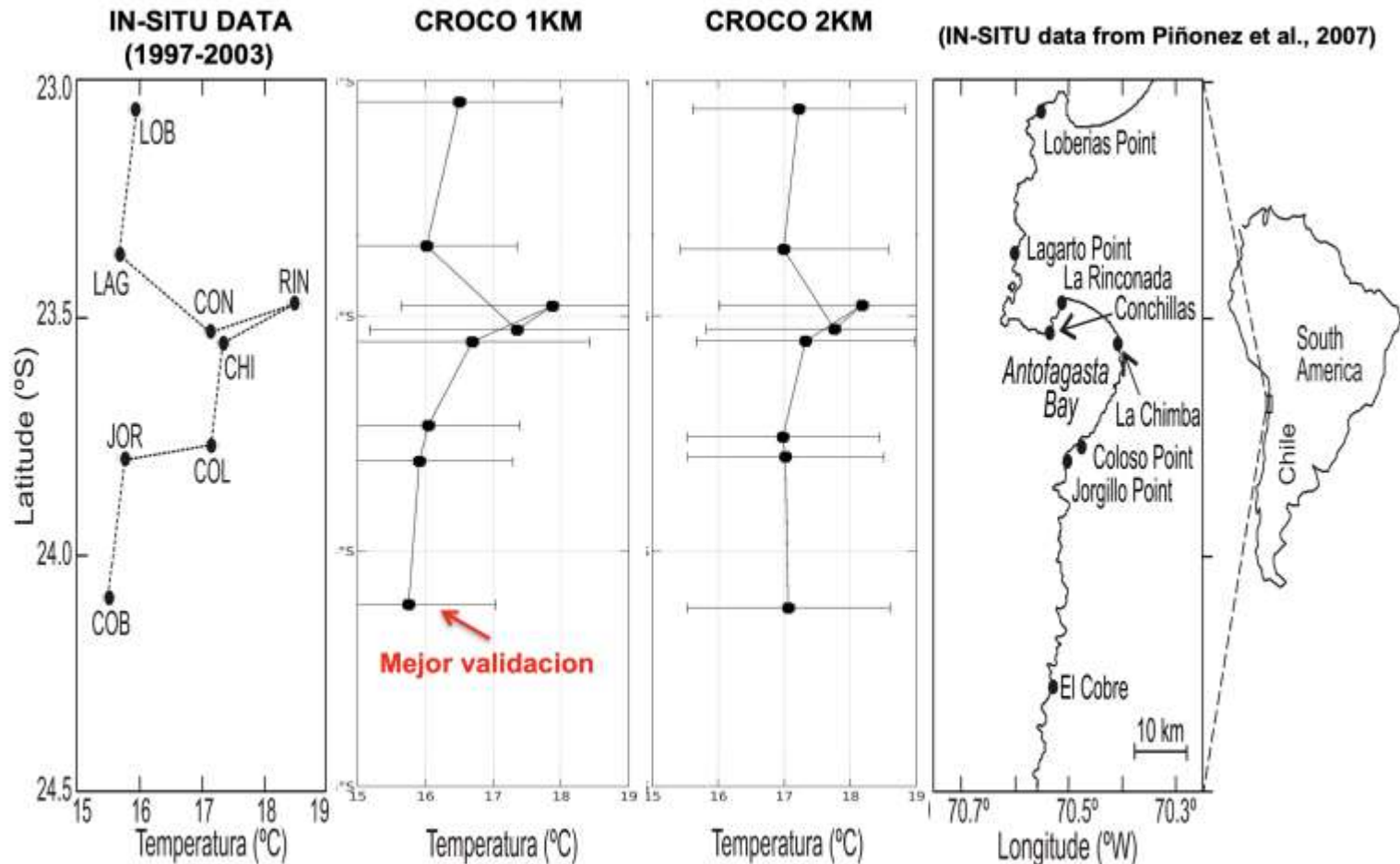




Modelación regional:

Reproduciendo la variabilidad termal a lo largo de la costa

Resultados: Validación de la temperatura del modelo en Antofagasta



El modelo regional reproduce de forma realista la circulación y la variabilidad de la temperatura en el interior de las bahías, distinguiendo entre centros de surgencia y zonas de sombra de surgencia.

R
E
S
U
L
T
A
D
O
S



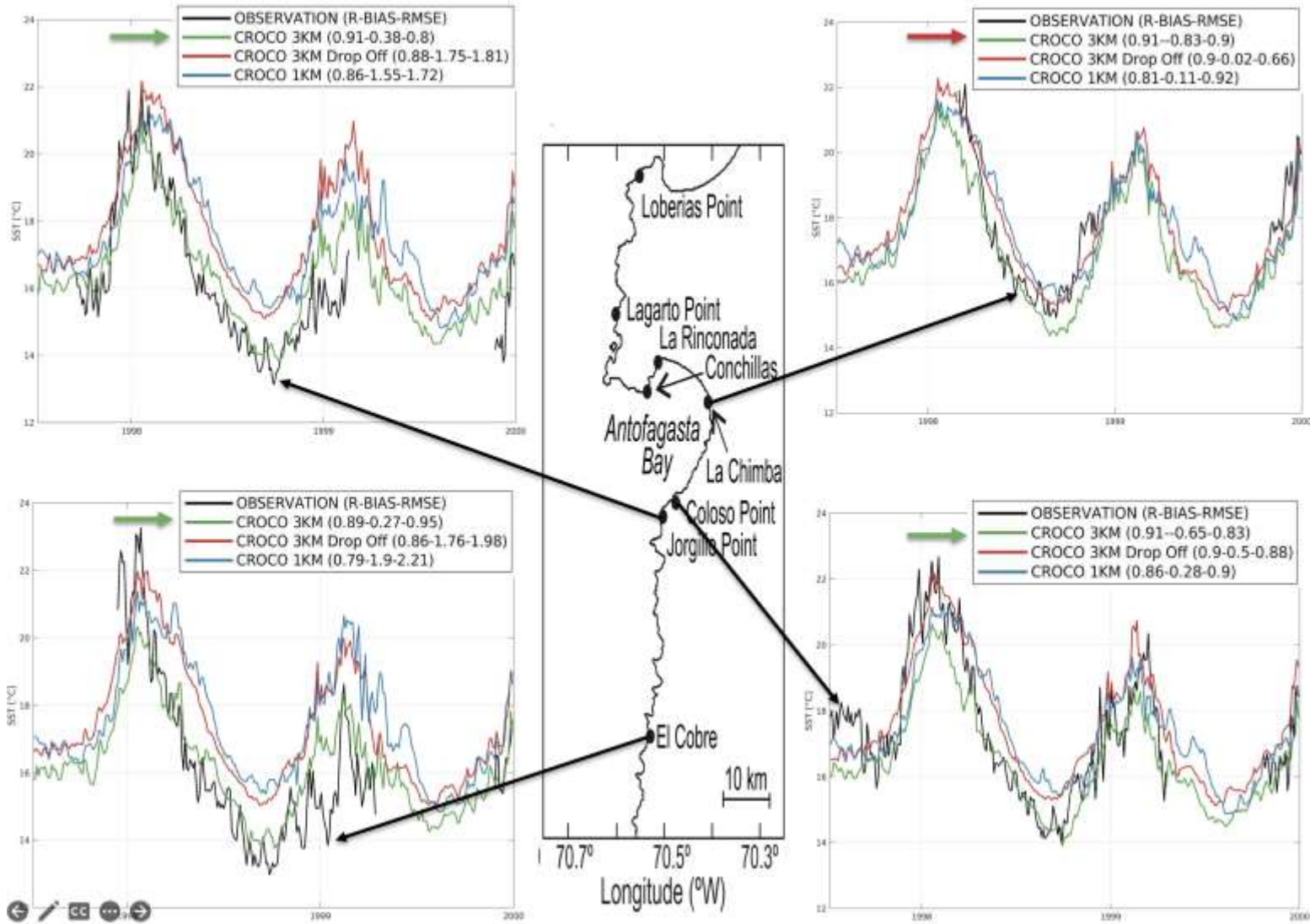


Modelación regional:

Reproduciendo la variabilidad termal a lo largo de la costa

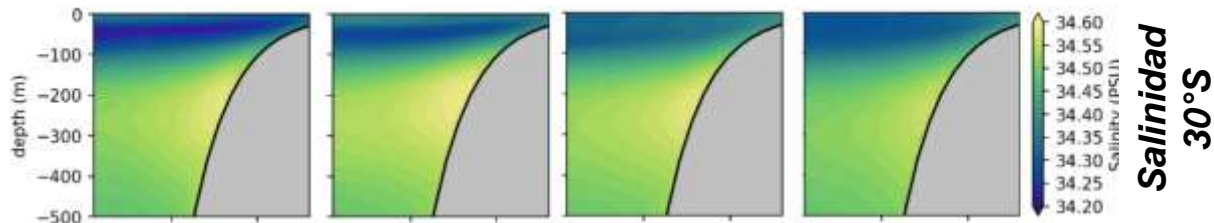
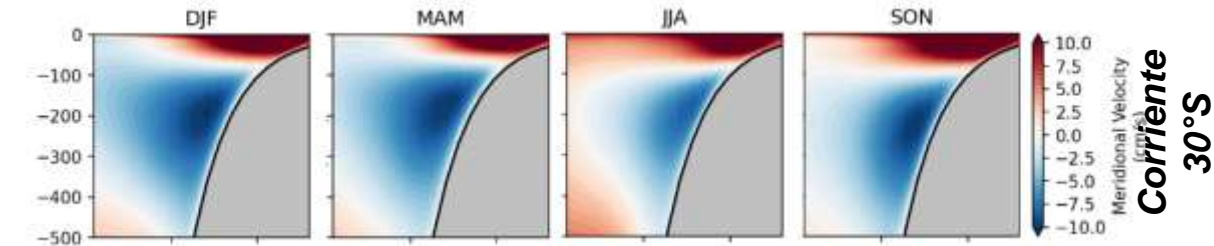
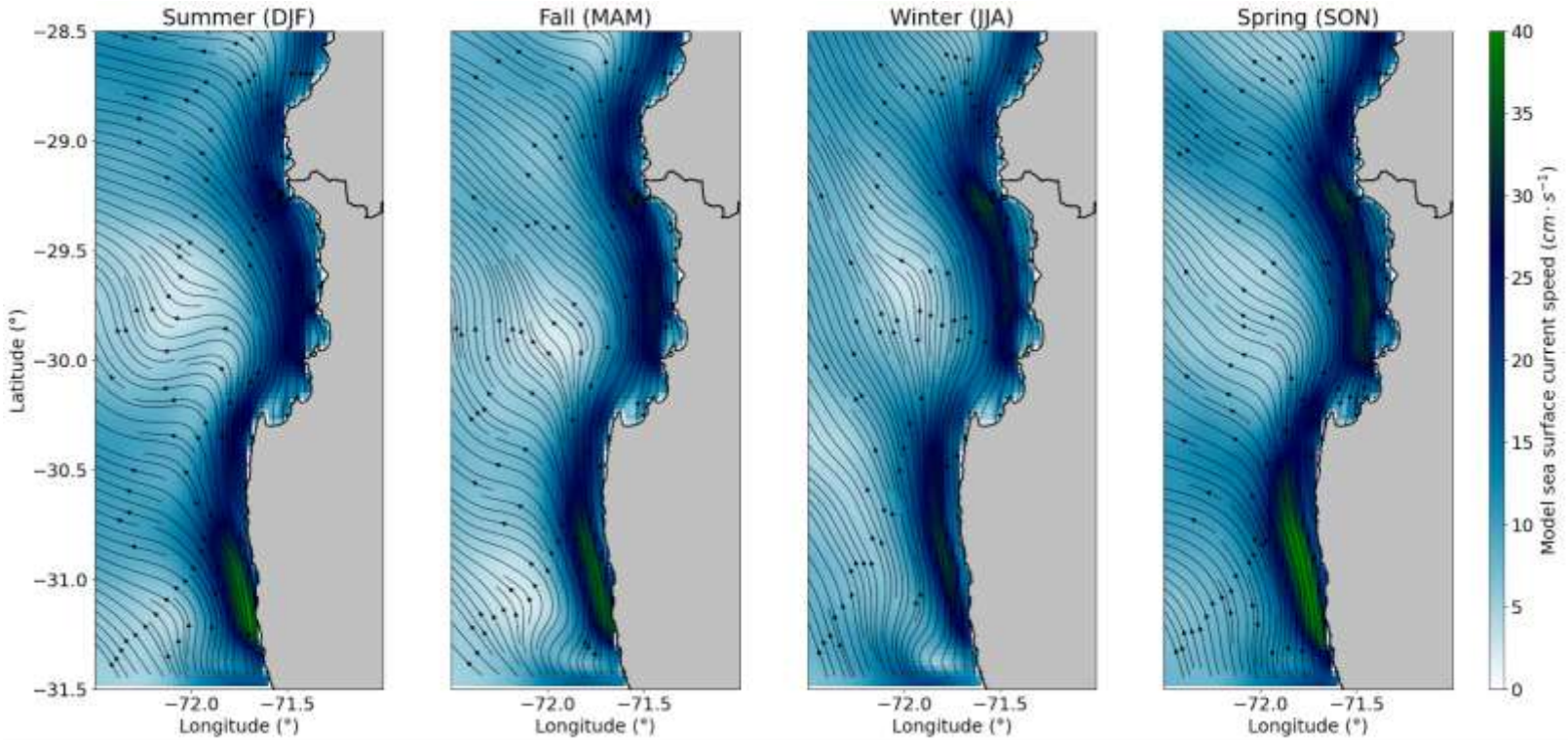
R
E
S
U
L
T
A
D
O
S

Resultados: Validación de las variaciones de temperatura en Antofagasta



Modelación regional: Variabilidad estacional

Variación estacional de la velocidad de la corriente superficial



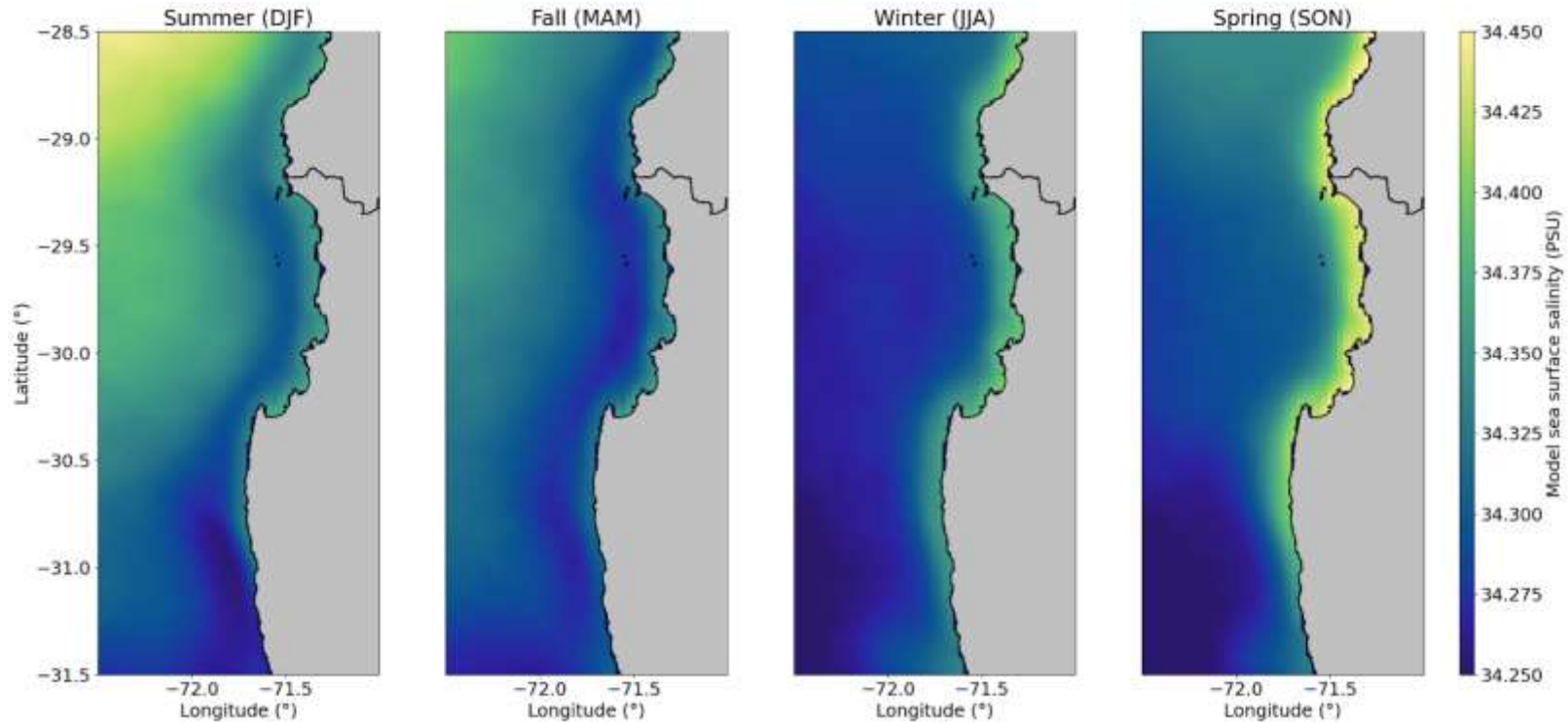
R
E
S
U
L
T
A
D
O
S



Modelación regional

Variabilidad estacional

Variación estacional de la salinidad superficial



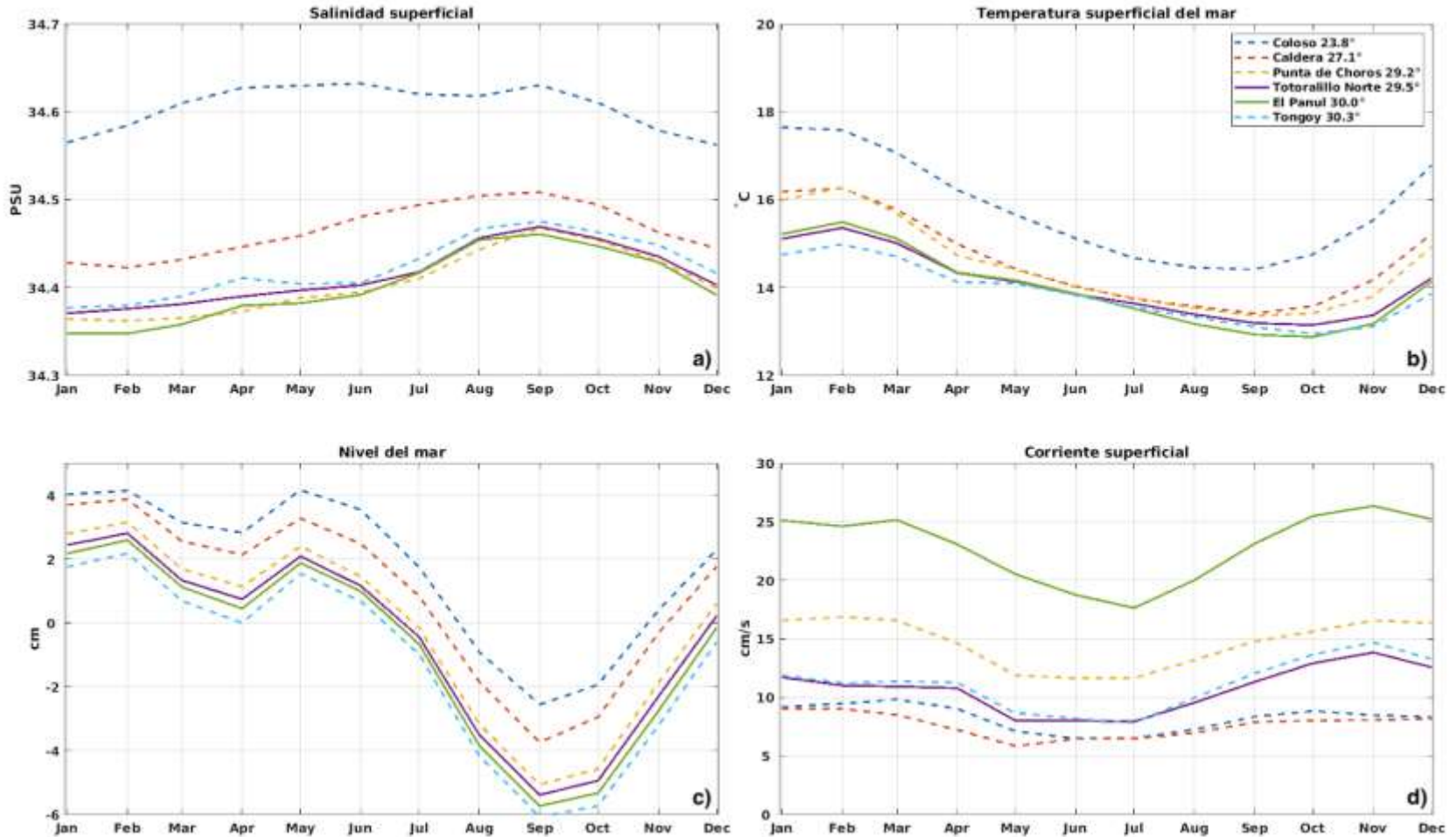
R
E
S
U
L
T
A
D
O
S

En relación al campo de salinidad podemos ver un claro gradiente de reducción desde el norte hacia el sur el cual responde a la mayor presencia de masas de agua de origen ecuatorial (más saladas y cálidas), en contraposición al sur donde el aporte de aguas es principalmente de origen antártico (menos saladas y frías). La surgencia costera imponen un gradiente zonal de salinidad con mayor concentración a lo largo de la costa en comparación con el océano abierto. Por otra parte, la salinidad exhibe una estacionalidad moderada con un máximo en invierno y primavera



Modelación regional: Variabilidad estacional localidades costeras

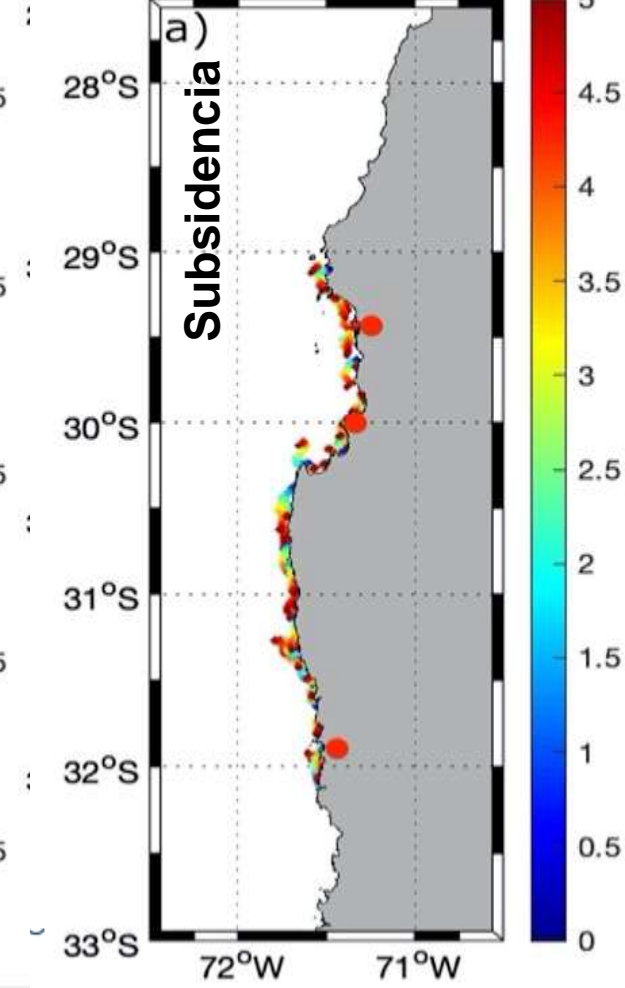
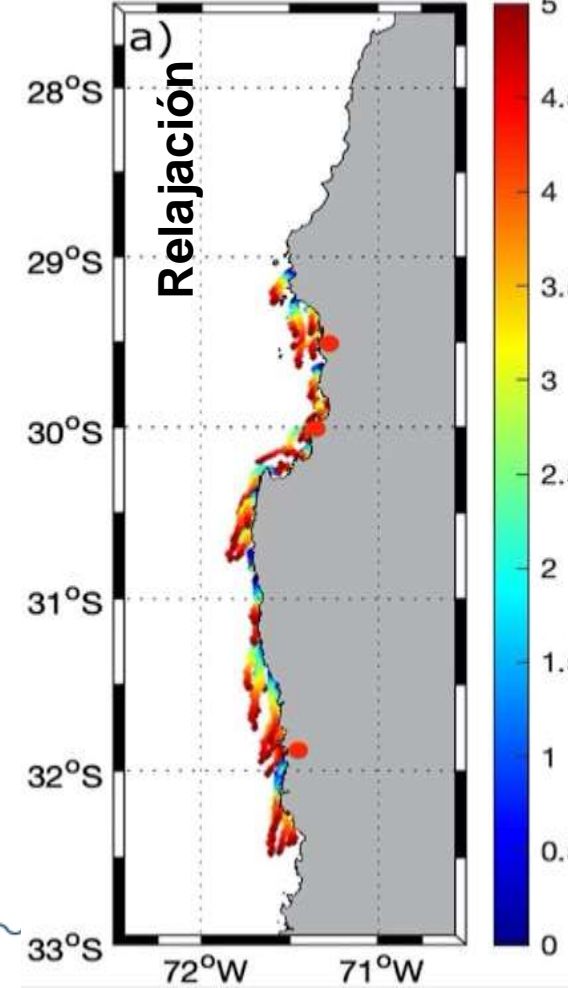
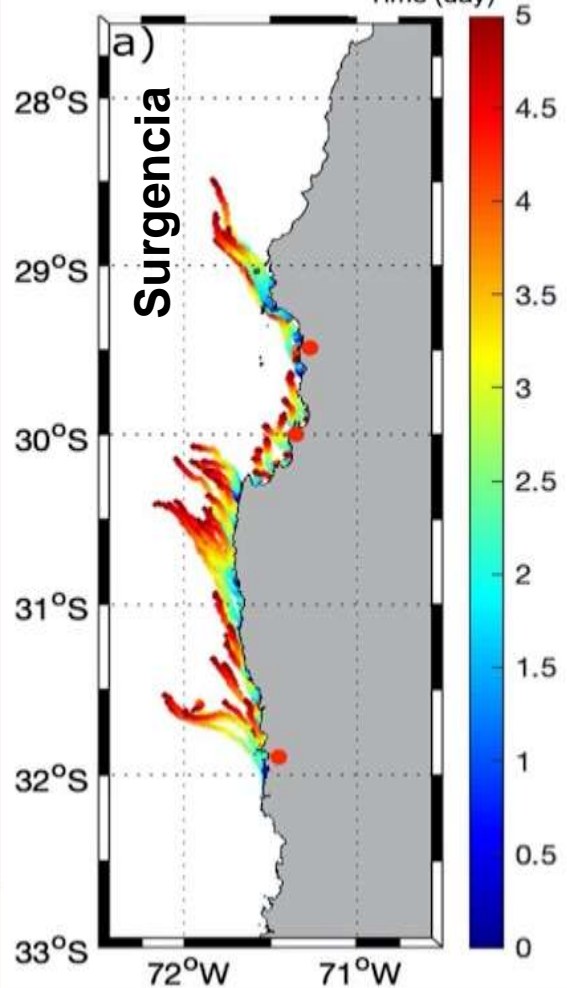
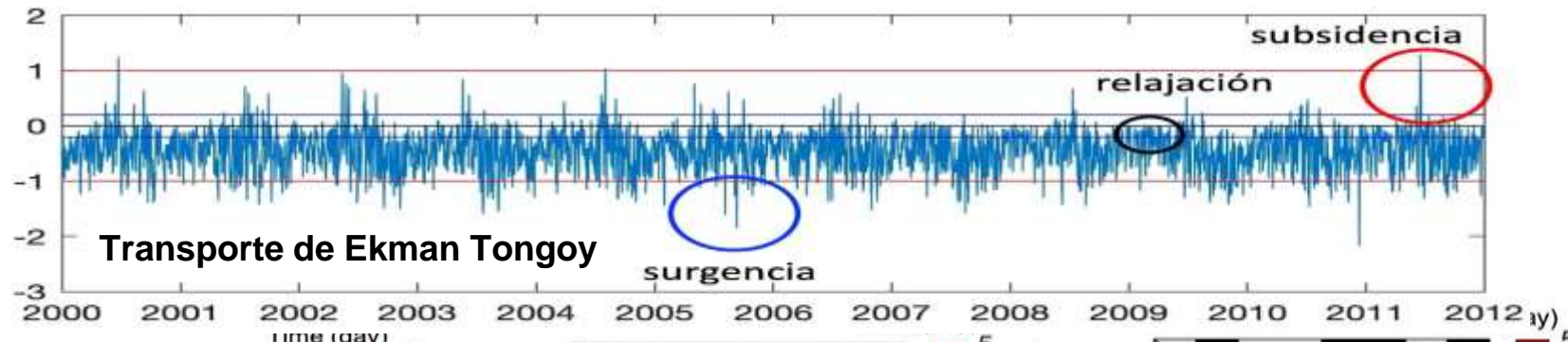
Climatología mensual del periodo 1958-2008 de: **a)** salinidad superficial, **b)** temperatura superficial del mar, **c)** nivel del mar y **d)** magnitud de la corriente en superficie para las localidades costeras de Coloso y Caldera en las regiones de Antofagasta y Atacama, junto con las localidades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



El ciclo anual de temperatura y nivel del mar es máximo en verano, reflejando el ciclo solar de calentamiento radiativo y expansión térmica de la columna de agua. Por otra parte, los mínimos de temperatura y nivel del mar se acoplan al forzamiento del viento el cual se intensifica en primavera

Modelación regional: Patrones de dispersión

R
E
S
U
L
T
A
D
O
S

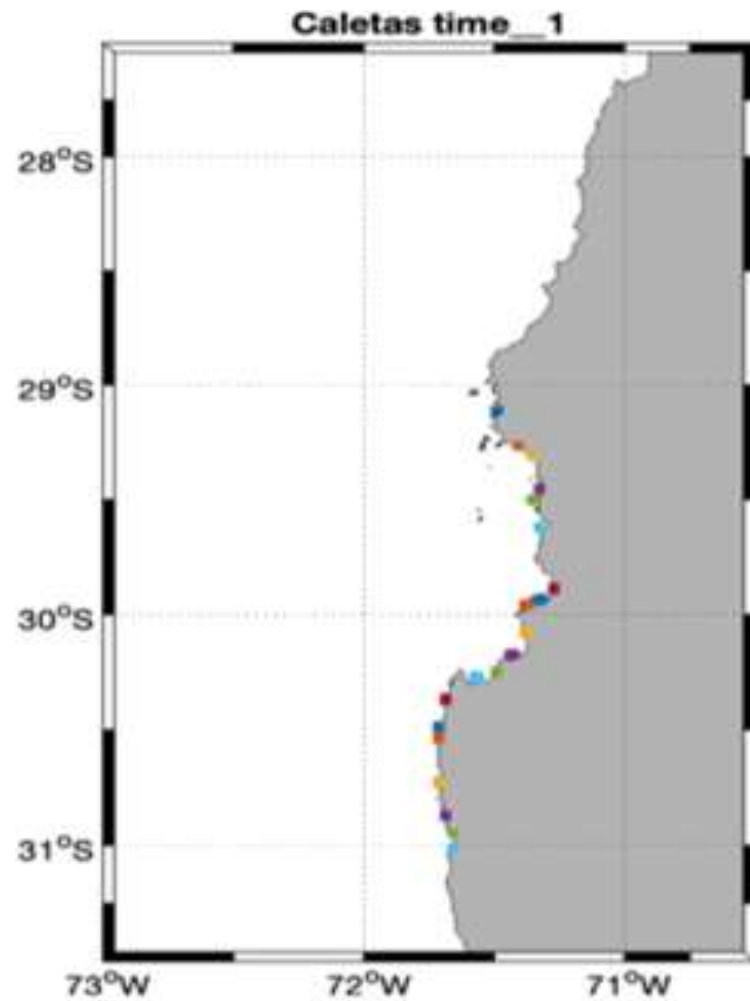
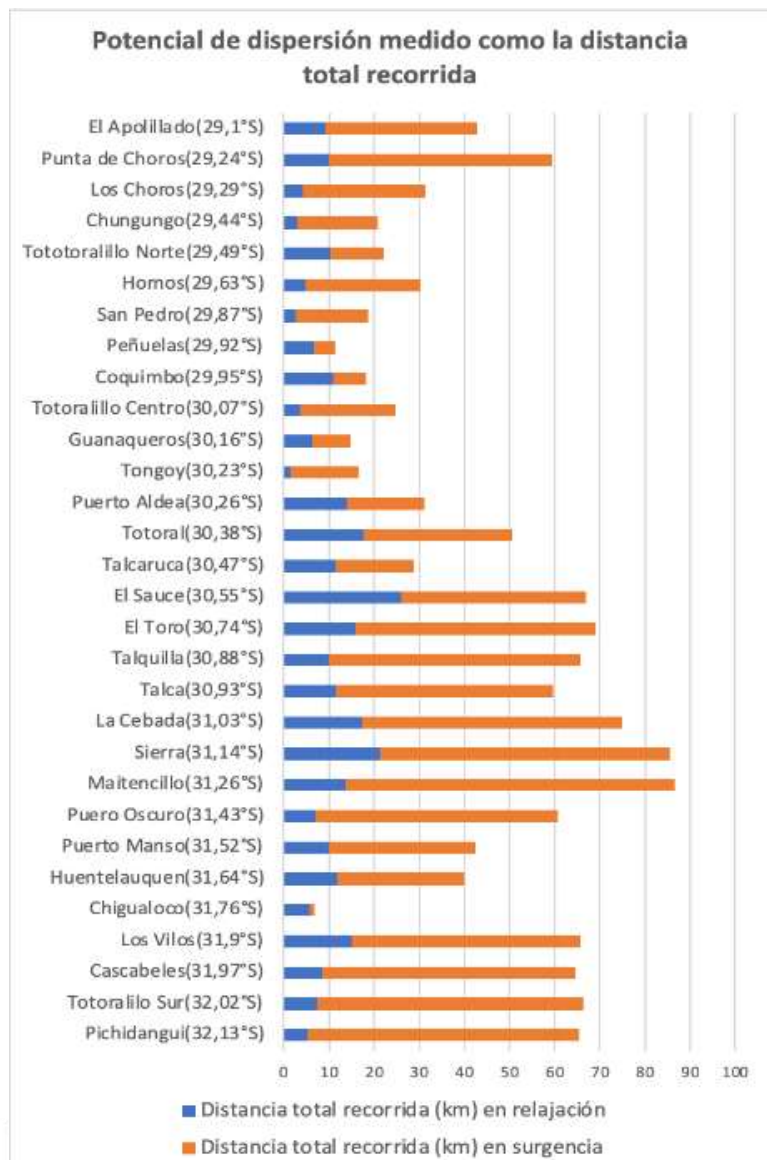




Potencial de dispersión en escenarios de surgencia y relajación.

Simulación de la dispersión de partículas desde localidades costeras de la región de Coquimbo

R
E
S
U
L
T
A
D
O
S





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

R
E
S
U
L
T
A
D
O
S

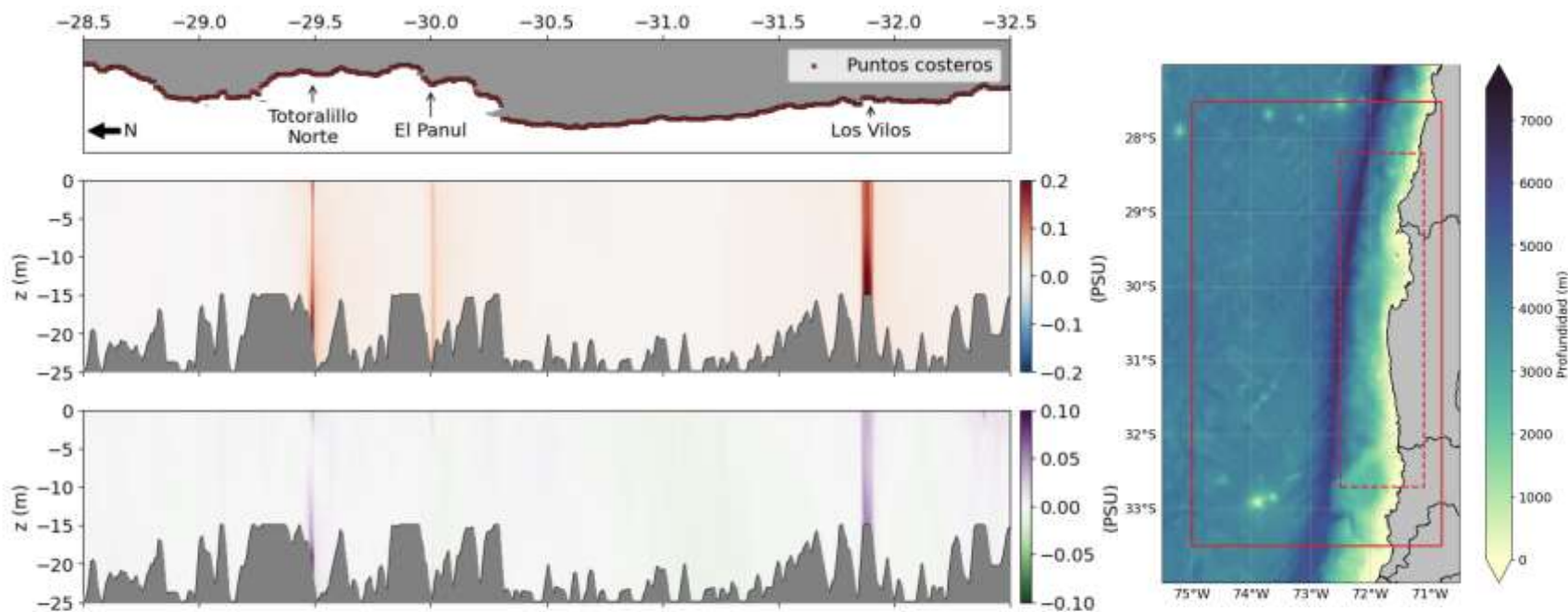


Figura 17. El panel superior ilustra la ubicación de los puntos de descarga de salmuera incorporados en la simulación DSAL1 en las localidades costeras de Totoralillo Norte (29.49°S), El Panul (30.01°S) y los Vilos (31.88°S). Los paneles intermedio e inferior ilustran el promedio y la desviación estándar de la diferencia en salinidad entre las simulaciones DSAL1 con puntos de descarga de salmuera activos e inactivos.

Localidad	Latitud (°S)	Longitud (°W)	Caudal (m3/s)	Salinidad (PSU)
Totoralillo Norte	29.490	71.334	1.333	75
El Panul	30.012	71.417	1.333	75
Los Vilos	31.886	71.509	1.333	75

Tabla 4. Parámetros de las descargas simuladas en el modelo de DSAL1





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

R
E
S
U
L
T
A
D
O
S

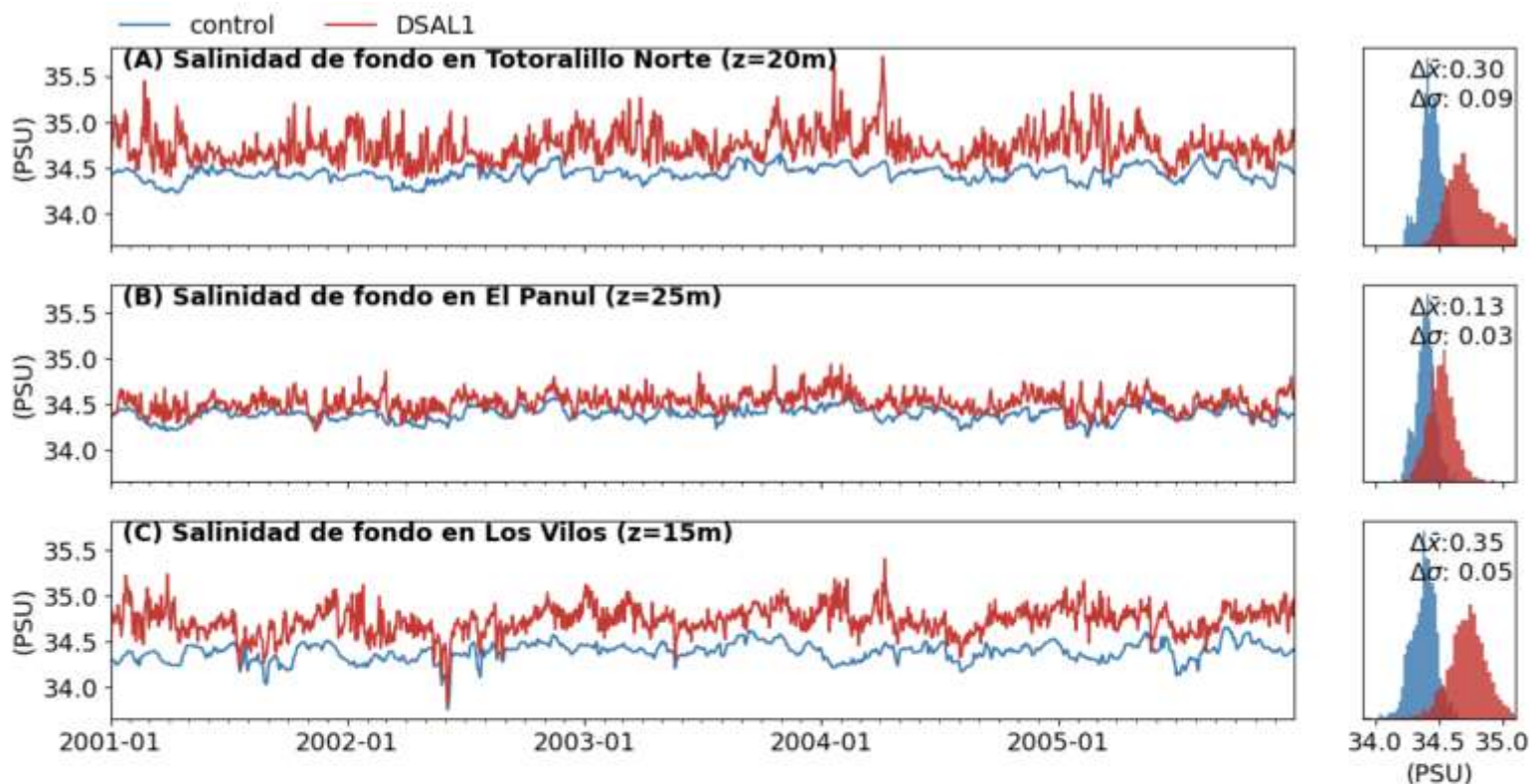


Figura 15. Evolución diaria de la salinidad de fondo en las localidades costeras de Totalillo Norte (29.49°S), El Panul (30.01°S) y los Vilos (31.88°S) para las simulación DSAL1 con presencia (línea roja) y ausencia (línea azul) de flujos de descarga continua de salmuera (1333 L/s) durante el periodo 2001-2004. Los paneles de la derecha ilustran la distribución de la salinidad de fondo por cada localidad costera, se utiliza color en rojo para la simulación con plumas salinas activas y azul en el caso de la simulación de control que no considera la presencia de puntos con descarga de salmuera.





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

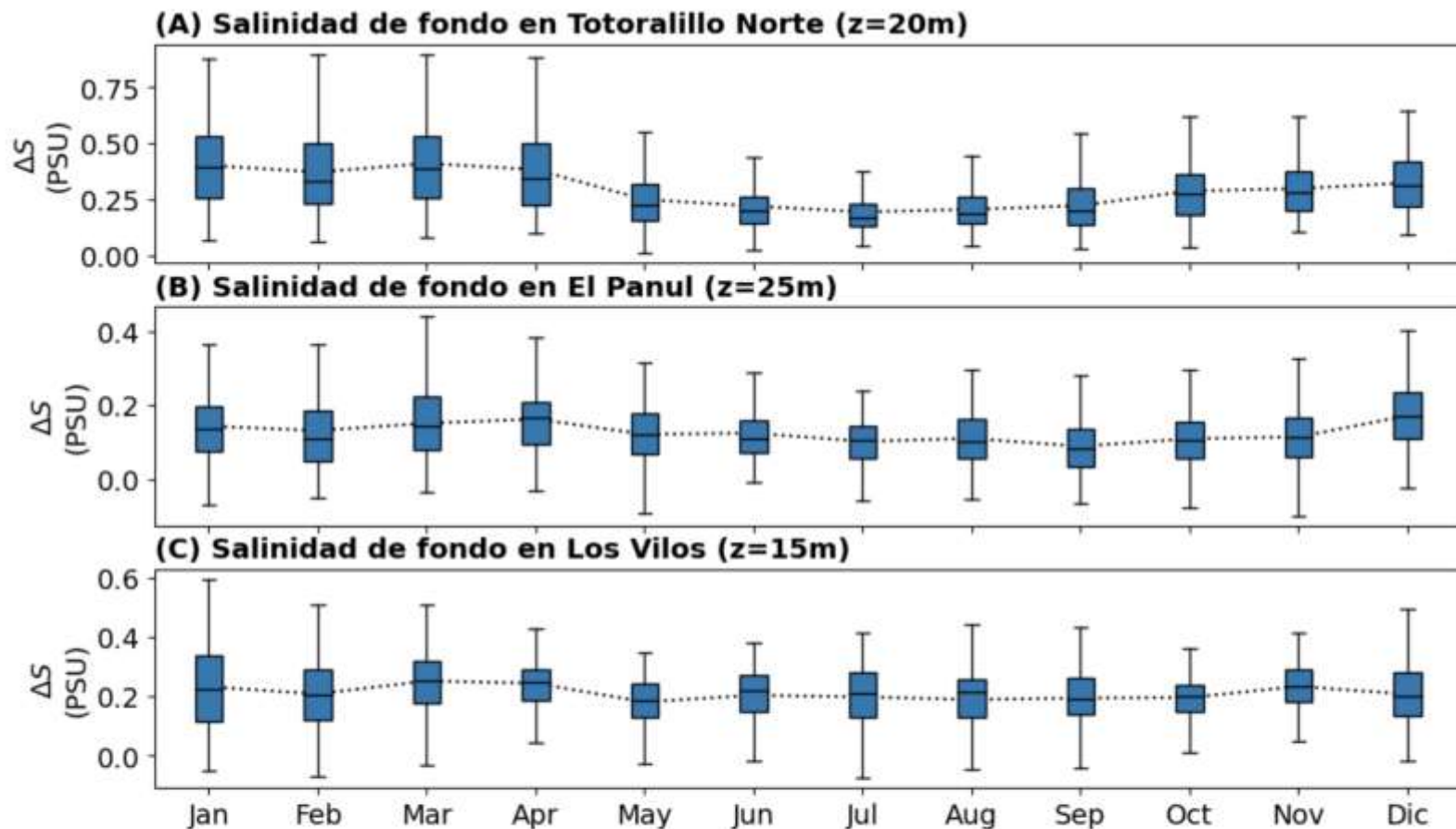


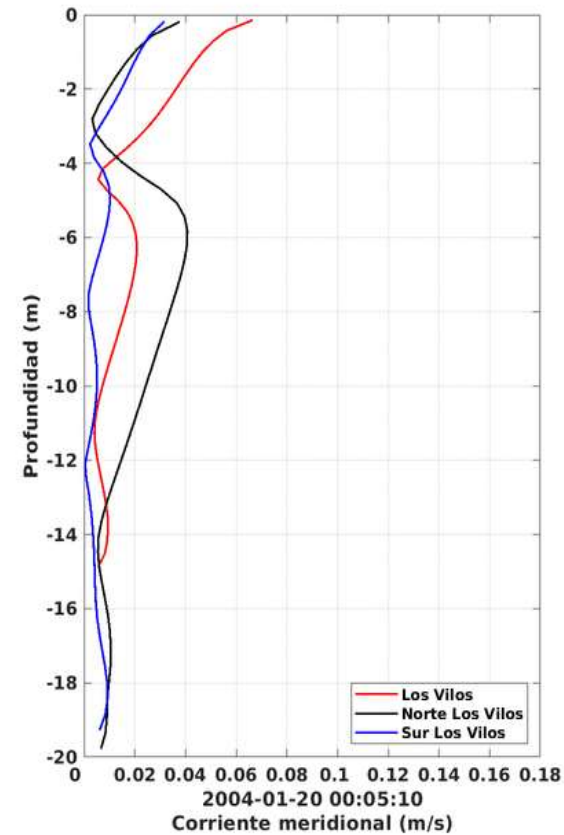
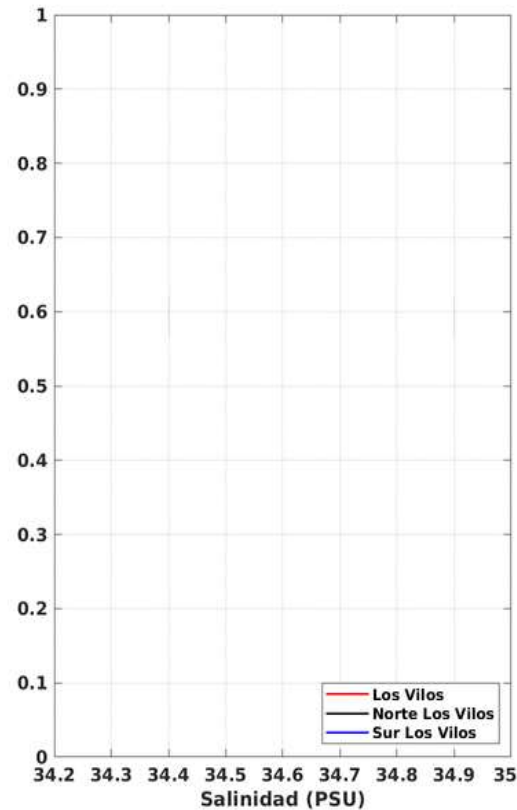
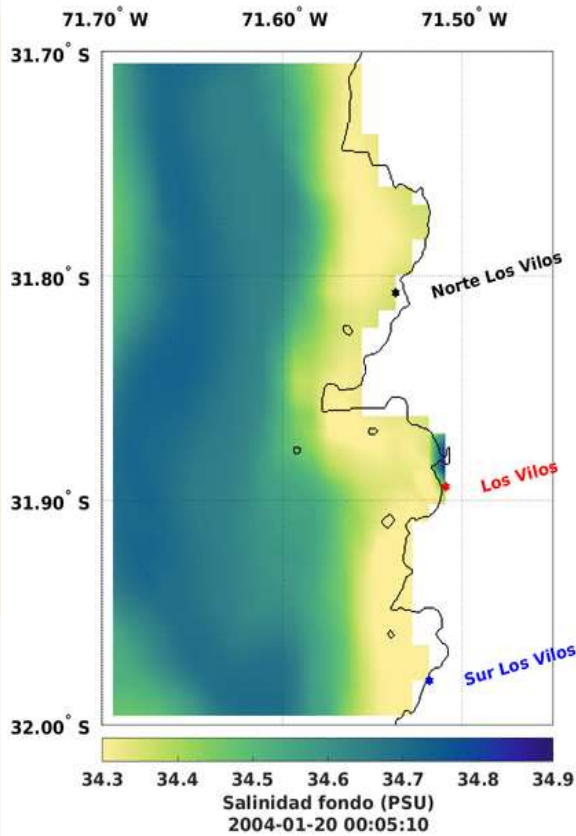
Figura 16. Climatología mensual de las diferencias en salinidad para las localidades costeras de Totoralillo Norte (29.49°S), El Panul (30.01°S) y los Vilos (31.88°S) para las simulaciones DSAL1 con descarga continua de salmuera (1333 L/s a 75 PSU) durante el periodo 2001-2005





Evaluación de descargas de salmuera en Los Vilos

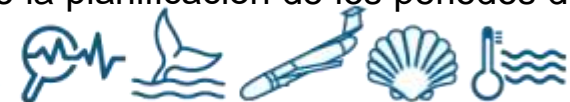
R
E
S
U
L
T
A
D
O
S

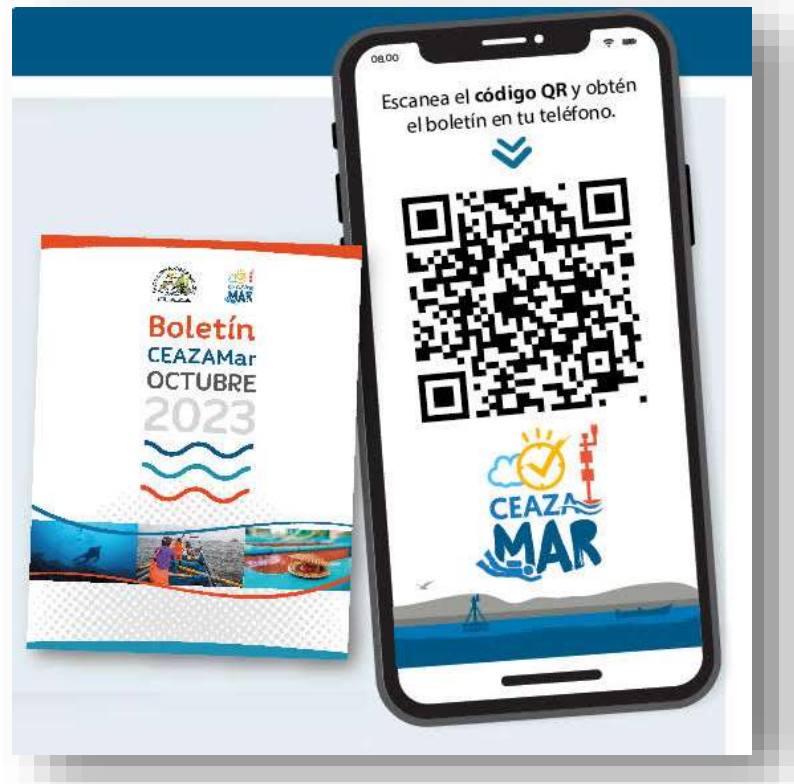


Las anomalías de salinidad incrementan en 0.3 PSU la salinidad en el área de la descarga involucrando un área de $\sim 9 \text{ km}^2$. En profundidad vemos variaciones de salinidad en toda la columna de agua que responden claramente a las fluctuaciones de la corriente y las condiciones de estratificación de la columna. Este comportamiento coincide con lo observado en estudios de monitoreo de descargas donde se observa anomalías salinas en el campo lejano de la descarga que afecta no solo el fondo marino sino también la superficie dependiendo de la circulación y estratificación de la columna de agua.

Conclusiones principales

- Las corrientes superficiales y su potencial de dispersión muestran una fuerte relación con el viento. La surgencia y su fase de relajación, incrementan o reducen el potencial de dispersión 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.
- Las corrientes y dispersión indican que existen porciones de la costa de la región de Coquimbo con menor capacidad de dilución, 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 simulaciones en localidades costeras con proyectos propuestos (El Panul y Totoralillo Norte) o que ya cuentan plantas desalinizadoras de envergadura industrial (Los Vilos) funcionando, indican un cambio 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 solo en escenarios de baja circulación, como relajación de surgencia o subsidencia (proceso opuesto a la surgencia).
- 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 Totoralillo 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.





¡Muchas gracias por su atención!

- Proyecto ANID (FSEQ210017)
- ANID Plan de Acción Climática CLAP
- FONDECYT iniciación #11190999 Orlando Astudillo



Fondecyt
Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico

