



**“Seminario Desalinización y Gestión Sostenible”**

# **SIMULACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE SALMUERA EN EL MEDIO MARINO**

**Dr. Javier R. Quispe**

**Director del Laboratorio de Tecnologías de Membrana  
Investigador Asociado del Centro de Recursos Hídricos CEITSAZA  
Jefe de Carrera de Ingeniería Civil Ambiental**

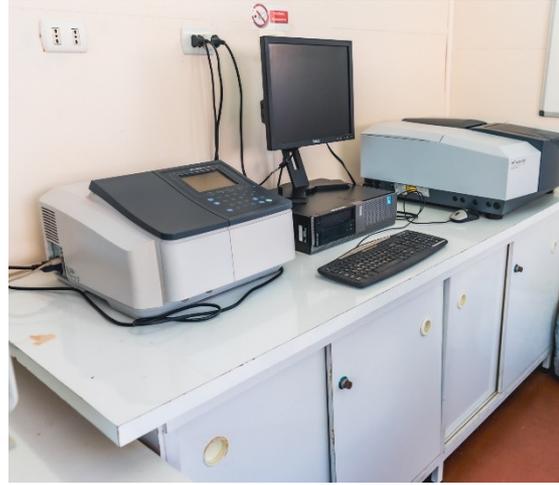
Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería y Cs. Geológicas,  
Universidad Católica del Norte, Antofagasta, Chile.

Tel: +56 55 2355987, [jquispe@ucn.cl](mailto:jquispe@ucn.cl)

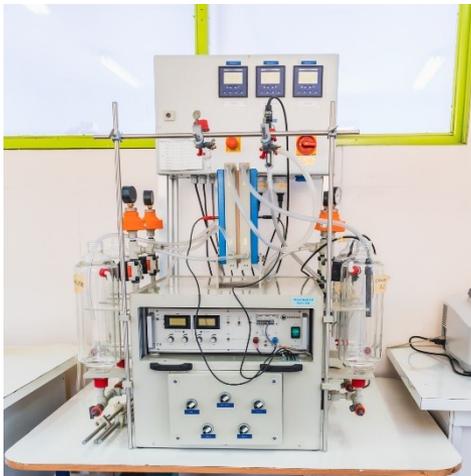
Antofagasta, 25 de Octubre de 2022

# Acerca del Lab. de Tecnologías de Membranas

Laboratorio Analítico para Caracterización de Aguas y Ensuciamiento de Membranas

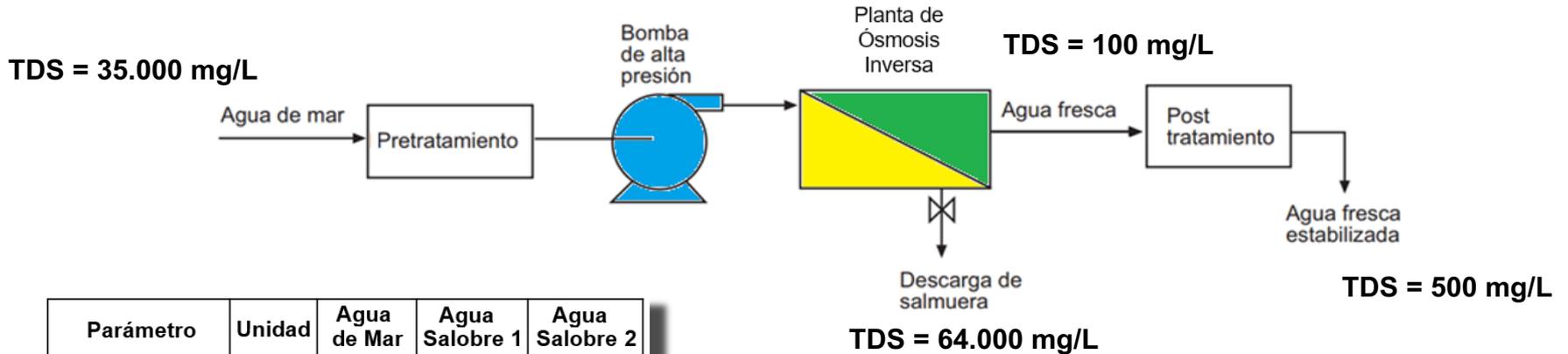


Plantas Piloto (MF/NF/UF/RO/ED)



# Introducción

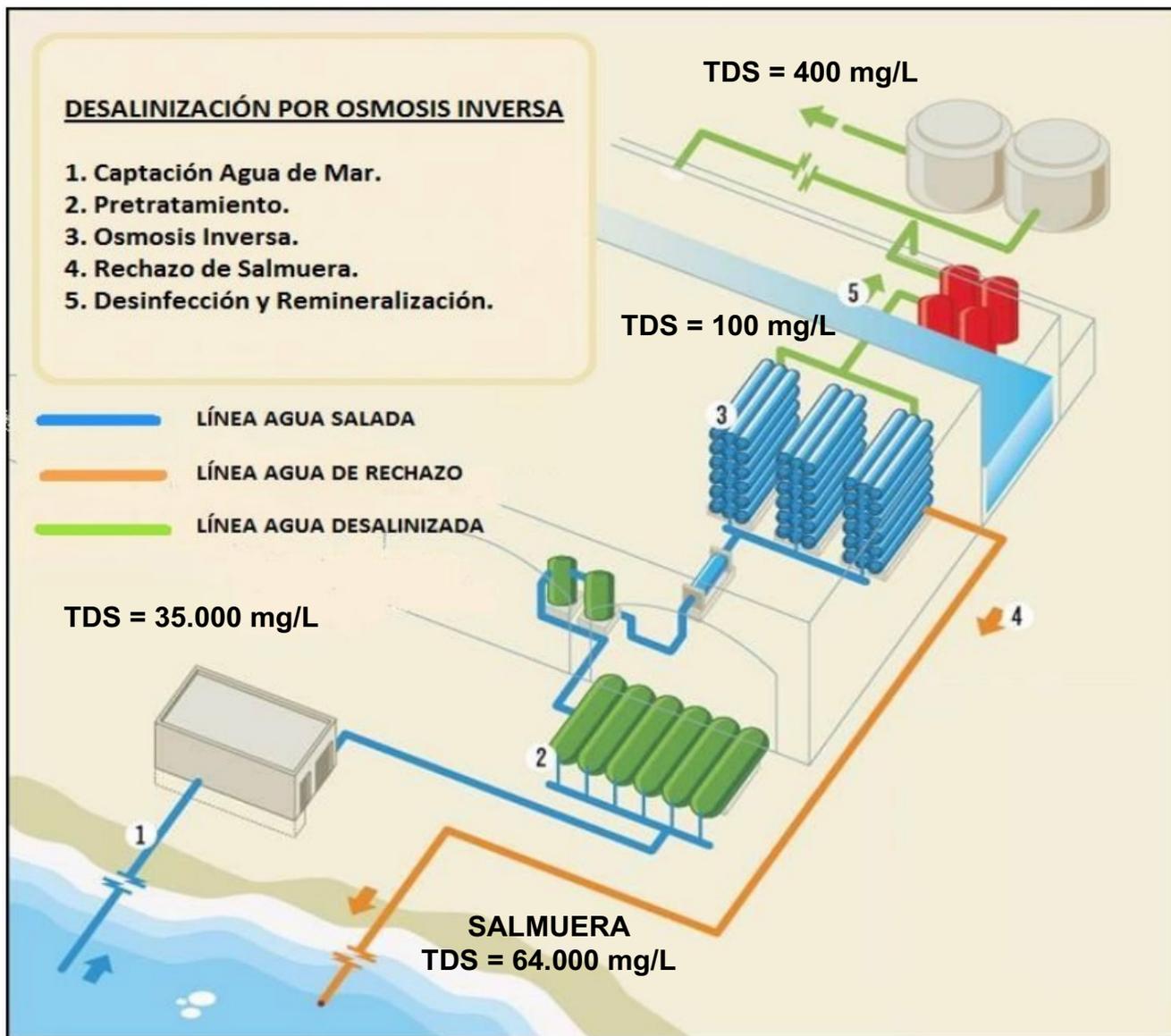
## Salmuera de Ósmosis Inversa



Parámetro	Unidad	Agua de Mar	Agua Salobre 1	Agua Salobre 2
Aluminio	mg/L	0,264	0,023	0,056
Arsénico	mg/L	0,002	0,695	1,46
Boro	mg/L	3,78	29,4	11,3
Calcio	mg/L	321	127	396
Cloruros	mg/L	19.369	698	2399
Cobre	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005
Cromo	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005
Hierro	mg/L	0,024	<0,002	0,141
Litio	mg/L	0,155		8,33
Magnesio	mg/L	1570	56	89,5
Nitratos	mg/L	455	0,2	1,88
Potasio	mg/L	816	71,1	179
Sílice	mg/L		107	49
Sodio	mg/L	13.381	513	1733
Sulfatos	mg/L	2947	225	814
Sólidos disueltos totales	mg/L	35.340	2.632	8.020



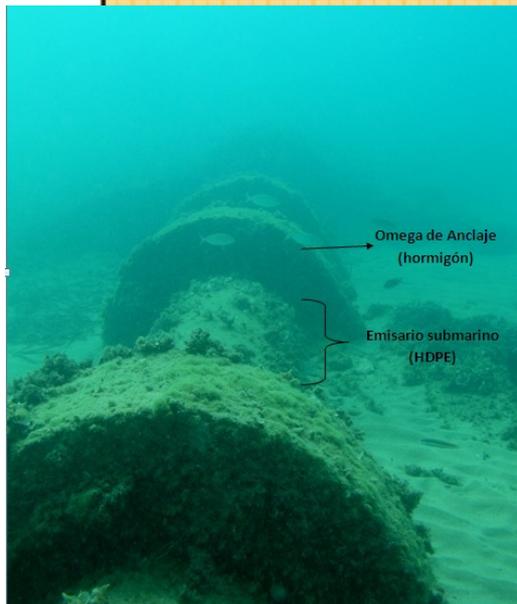
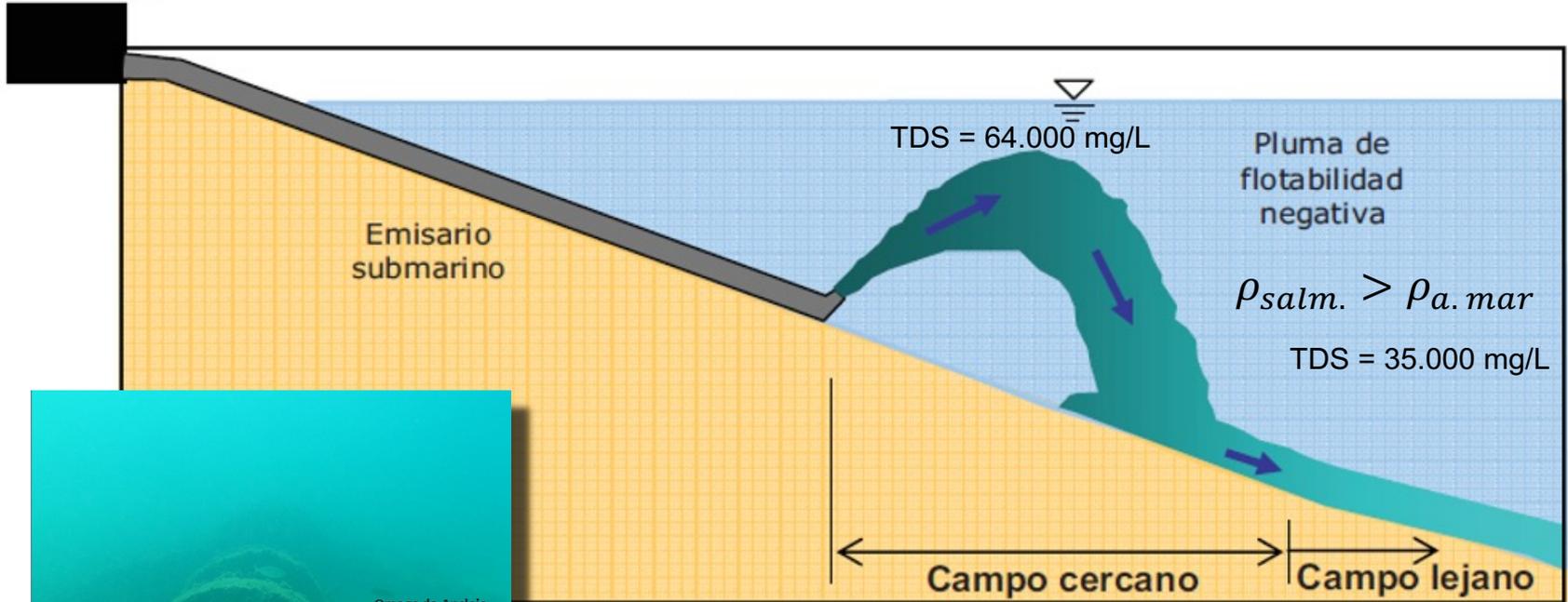
# Introducción (Cont.)



# Introducción (cont.)

## Descarga de Salmuera de Ósmosis Inversa

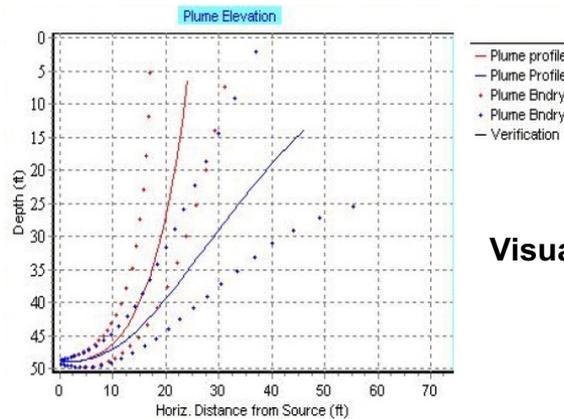
Planta desalinizadora



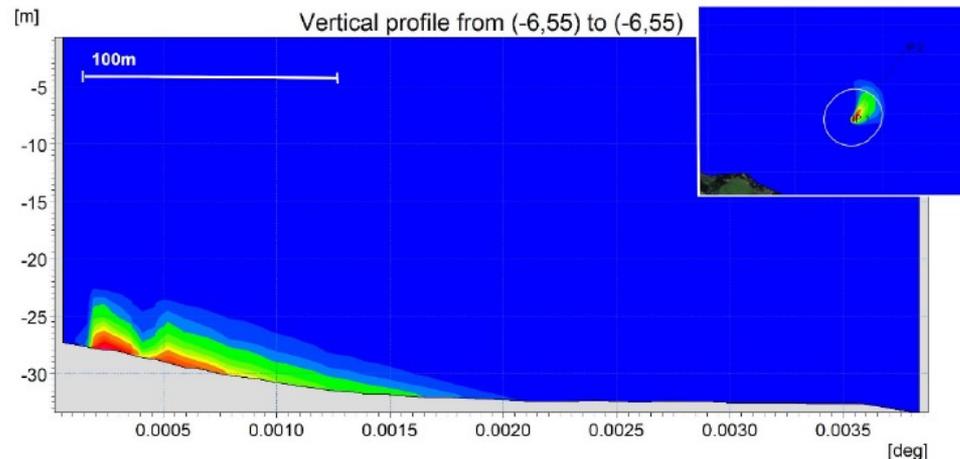
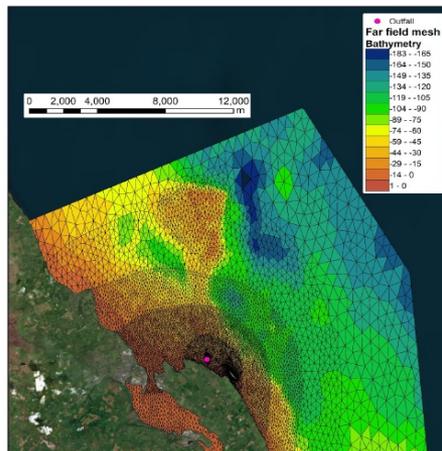
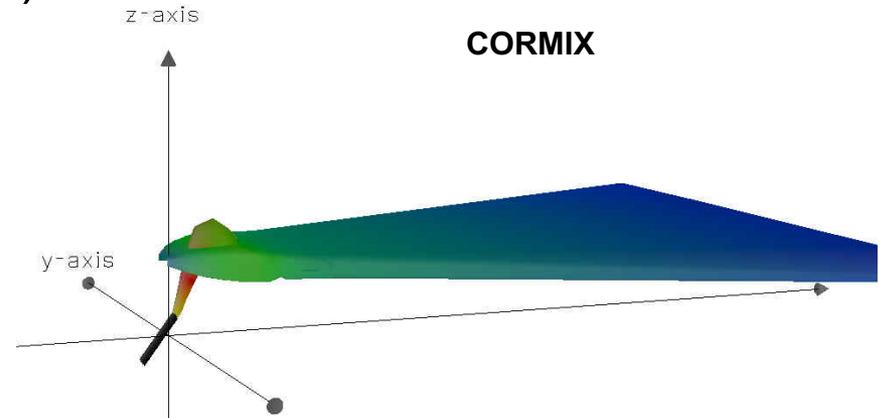
La principal característica de la salmuera es su exceso de salinidad con respecto al agua de mar, por consiguiente de mayor densidad, lo que lleva a su hundimiento y desplazamiento sobre el lecho marino.

# Modelos Matemáticos de Dispersión

- Visual Plumes (US EPA)
- CORMIX (Cornell Mixing Zone Expert System, US EPA)
- MIKE 3 Flexible Mesh Flow Model (DHI Denmark)
- Computation Fluid Dynamics (CFD)



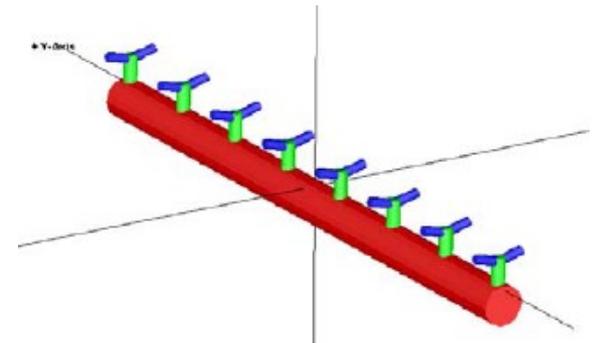
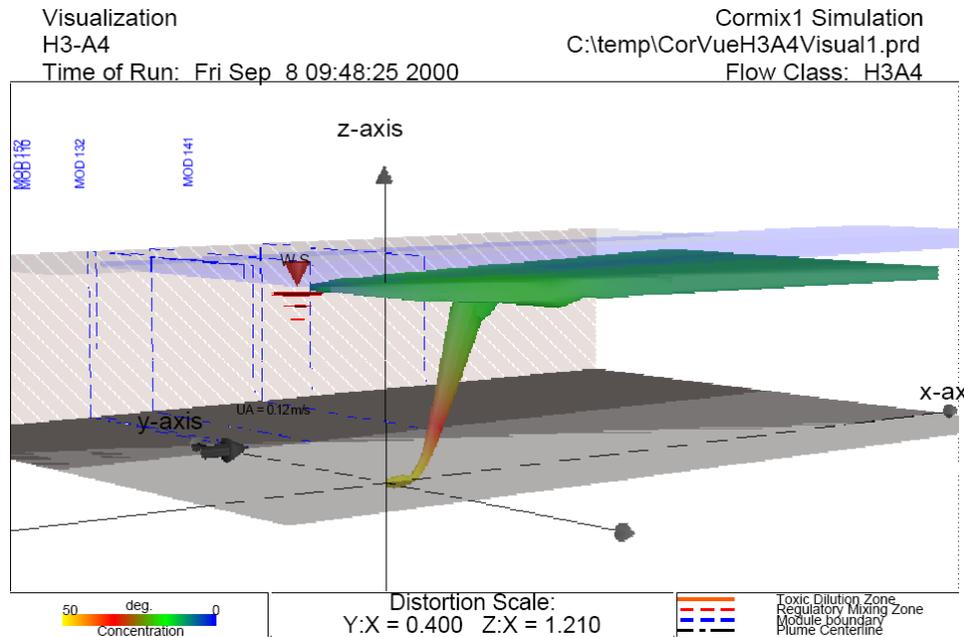
**Visual Plumes**



**MIKE 3 FM (Tipo CFD)**

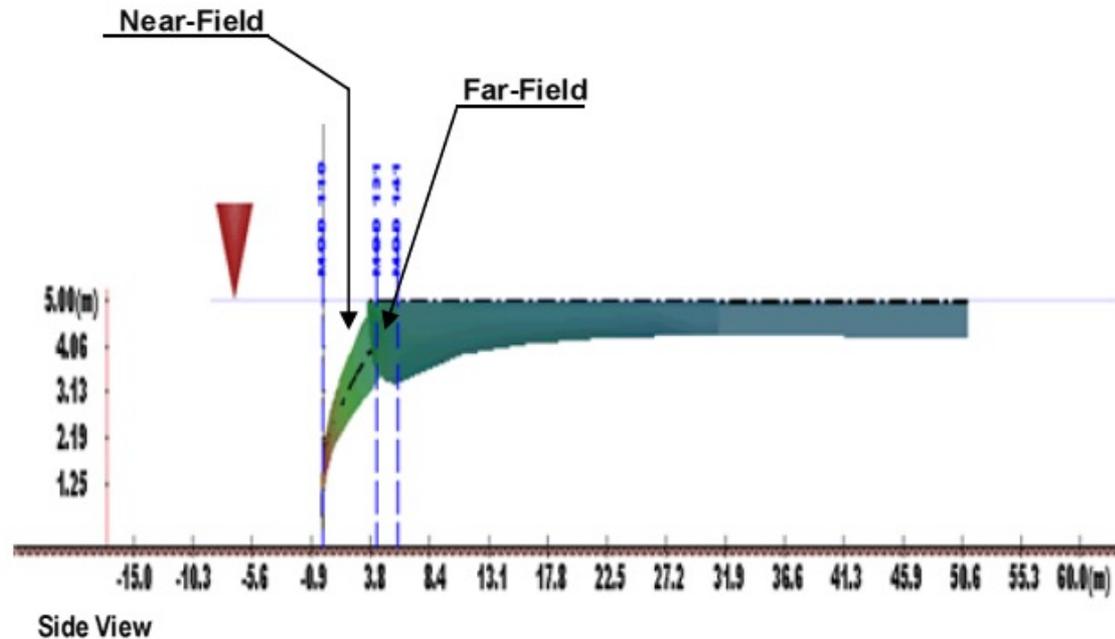
# Modelo de Dispersión CORMIX

- CORMIX, modelo para zona de mezcla, es utilizado para modelar la pluma contaminante en el zona cercana al efluente. Es un modelo que utiliza parámetros del régimen de flujo y las características de diseño del emisor para predecir la evolución de la pluma del efluente.
- CORMIX puede simular una variedad configuraciones de difusores incluyendo arreglos individuales y múltiples.



# Modelo de Dispersión CORMIX

## Condiciones de mezcla en CORMIX



### Mezcla de Campo Cercano (Near-Field)

- Próximo a la fuente
- Región de mezcla de flujo flotante
  - Escala de tiempo: Seg. a minutos
  - Escala de longitud: 1 – 100 m.
- Mezcla dominado por características de la fuente

### Mezcla de Campo Lejano (Far-Field)

- Mezcla dominada por la condición ambiental
  - Escala de Tiempo: Min. a horas
  - Escala Espacial: 100 – 1000 m.

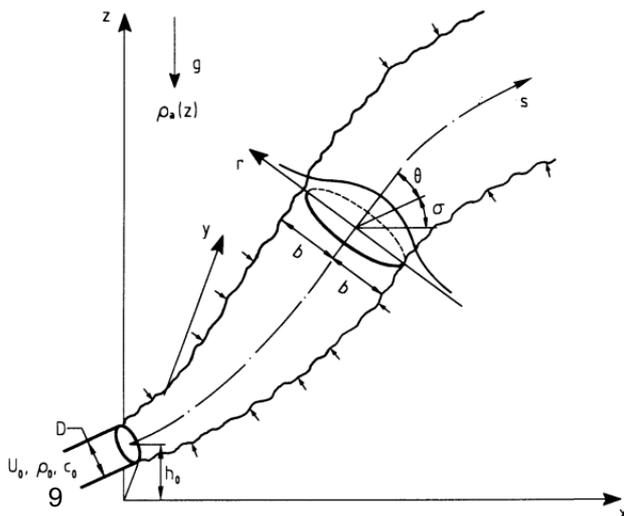
# Modelo de Dispersión CORMIX

## Ecuaciones Fundamentales para la Dispersión de Contaminantes

**Dispersión = Difusión + Advección**

$$\begin{array}{l}
 \text{Conservación Momentum: } \rho \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \rho(\nabla \vec{u})\vec{u} = -\nabla P + \mu \nabla^2 \vec{u} \\
 \text{Conservación masa: } \nabla \cdot \vec{u} = 0 \\
 \text{Transporte: } \frac{\partial c}{\partial t} + \vec{u} \cdot (\nabla c) = -kc + D \nabla^2 c
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} \\ \\ \end{array}} \right\} \text{Navier-Sokes}$$

## Ecuaciones del Modelo CORMIX

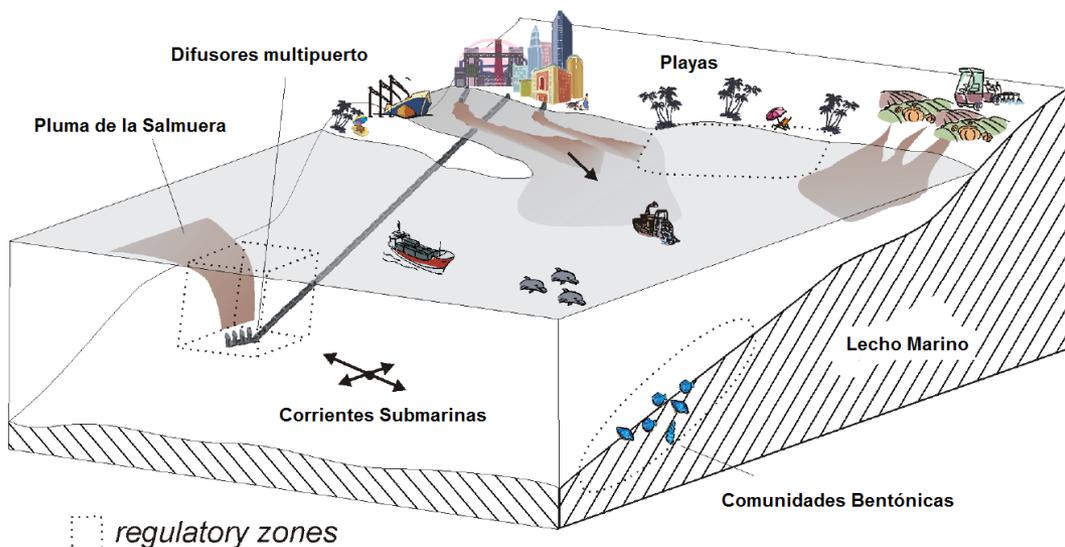


$$U_0 \frac{\partial c}{\partial x} - D_0 \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} = \frac{Q}{h_0} \delta(x) [\delta(y - \alpha h_0) + \delta(y + \alpha h_0)]$$

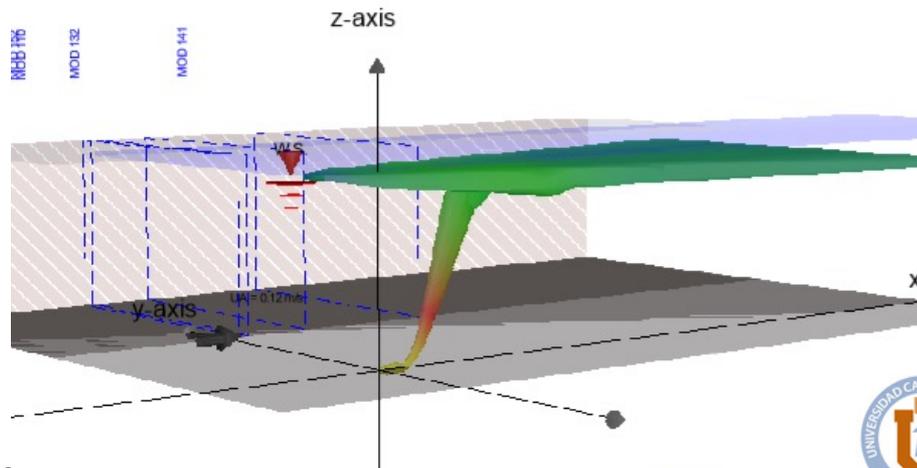
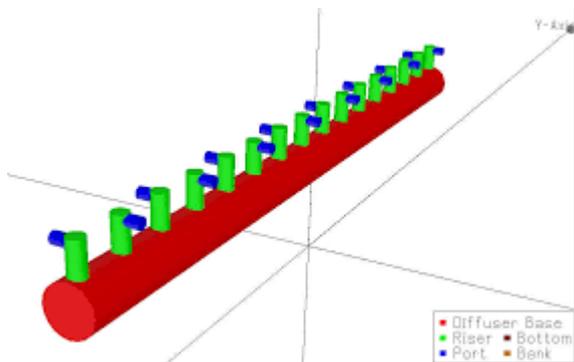
$$c_{1*} = \frac{1}{2h_*^2 \sqrt{\pi x_*}} \left[ \exp\left(-\frac{(y_* - \alpha_1)^2}{4h_* x_*}\right) + a \exp\left(-\frac{(y_* + \alpha_1)^2}{4h_* x_*}\right) \right]$$

# Modelo de Dispersión CORMIX

## Datos de Entrada para el Modelo Dispersión CORMIX



Información Necesaria para la simulación CORMIX	
Naturales	Temperatura de descarga Velocidad de corriente marina
De proceso	Concentración de descarga Caudal de salida
Estructural	Longitud de emisario Numero de difusores Angulo de difusores Orientación del ángulo de descarga

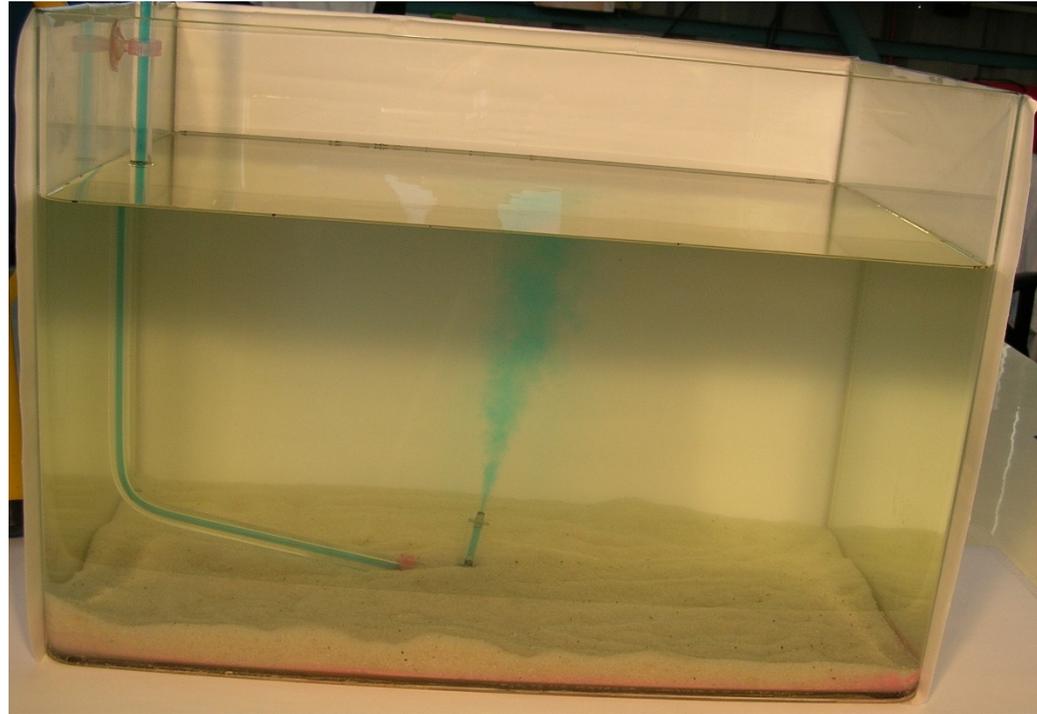


# Resultados Simulación Experimental

Salmuera (64 PSU) + Azul Metileno



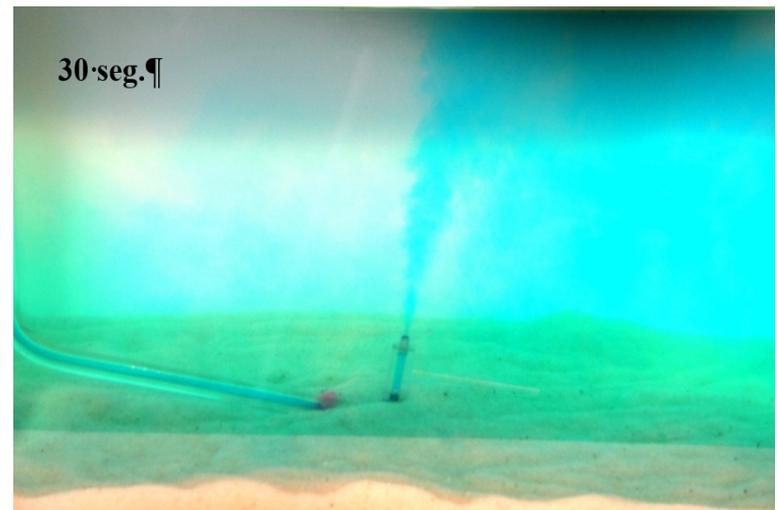
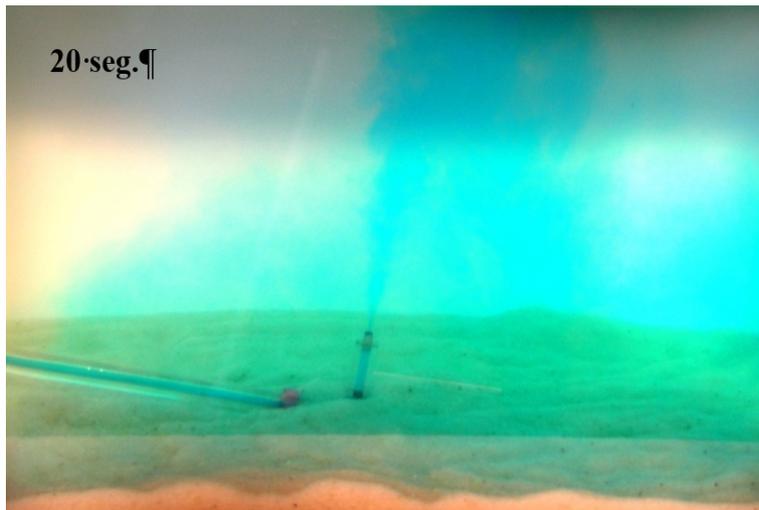
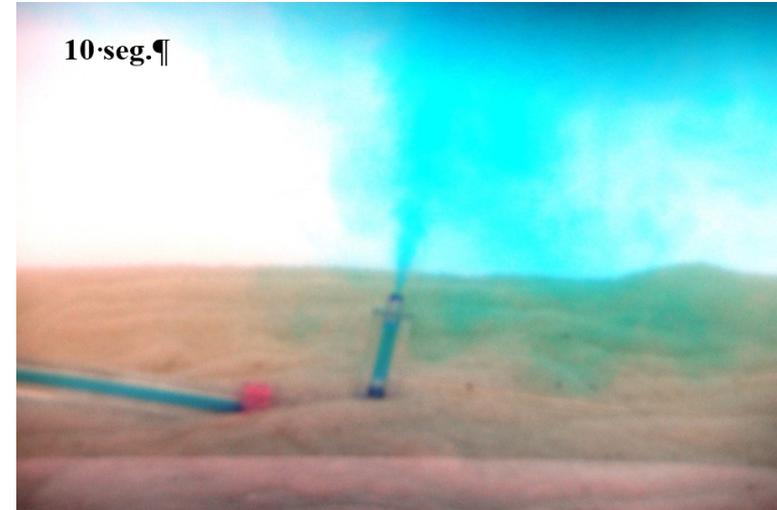
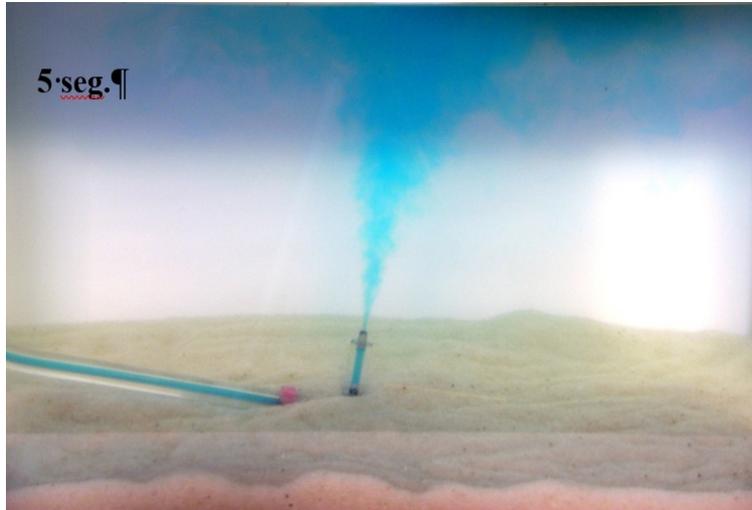
Bomba Peristáltica



Agua de Mar (34,7 PSU)

PSU (Unidades prácticas de salinidad) = g/L

# Resultados Simulación Experimental



La salmuera (64 PSU) muestra una dilución rápida

Dr. Javier R. Quispe UCN - Chile

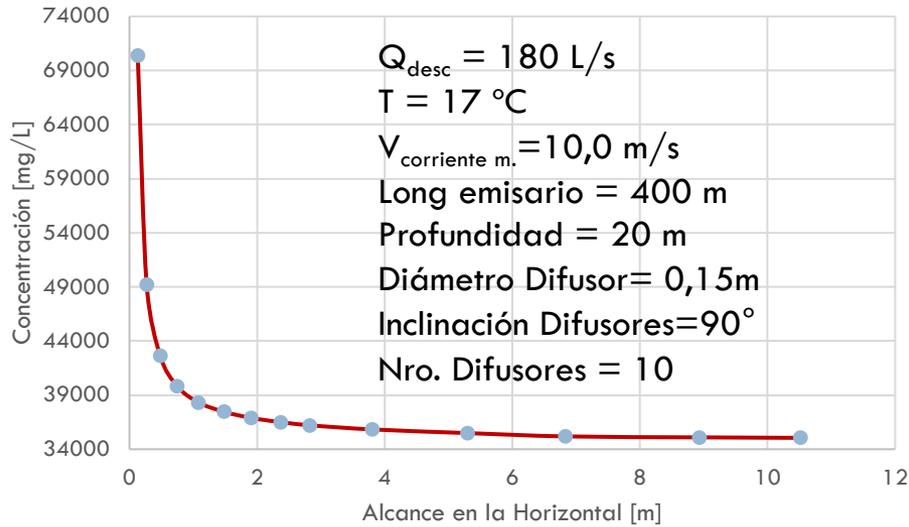
# Resultados Simulación Experimental



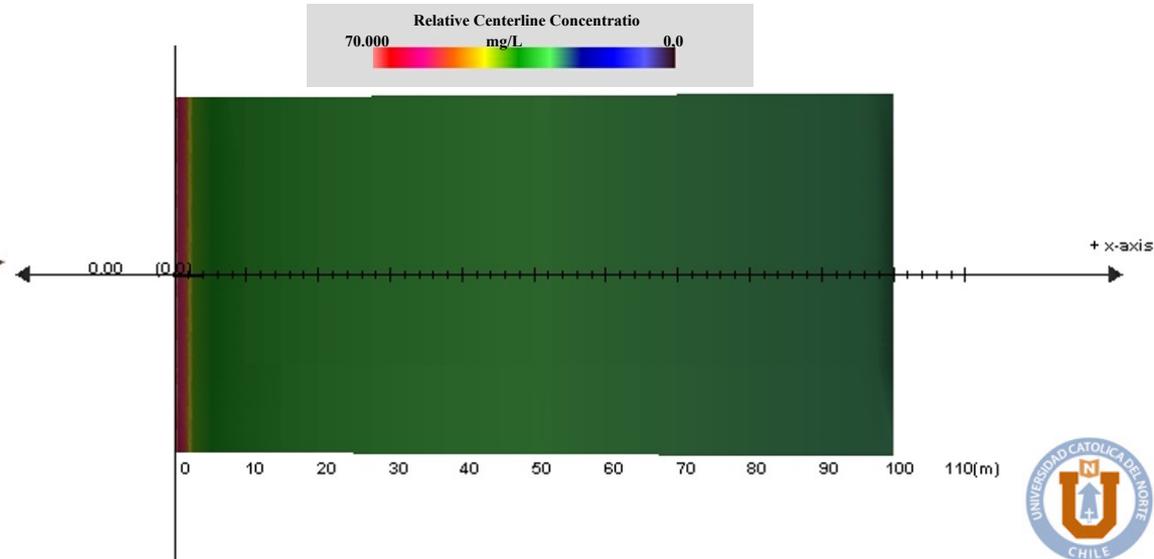
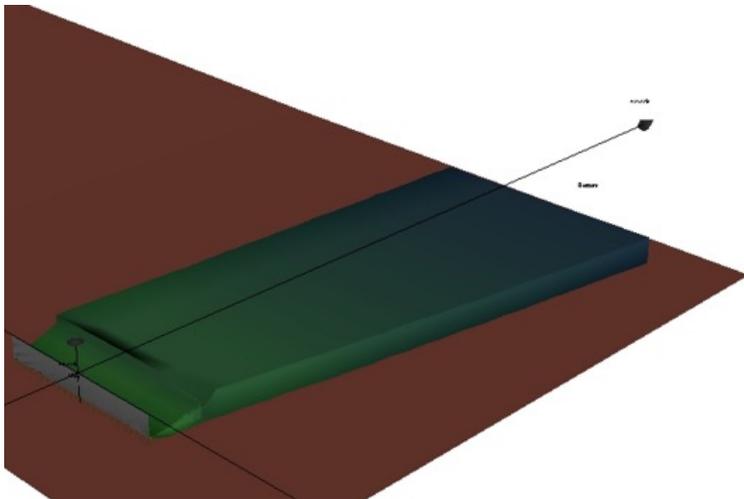
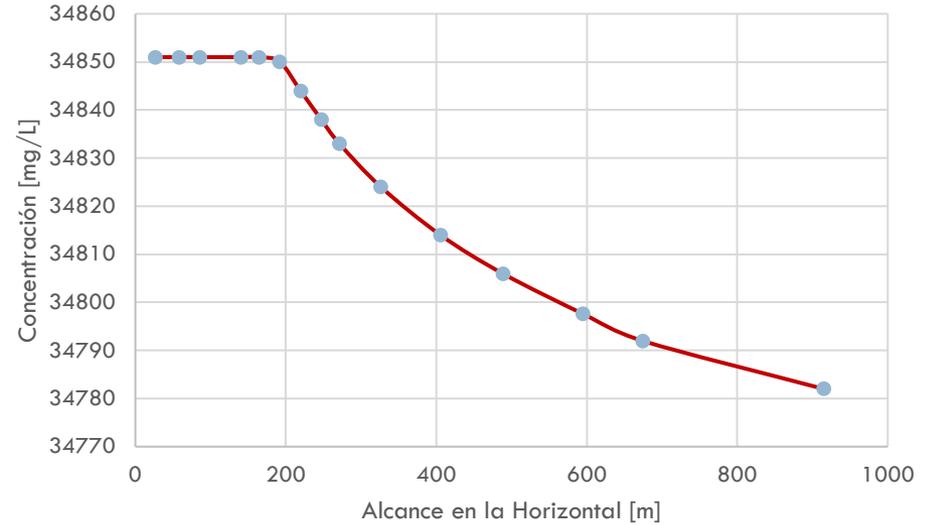
Video sobre la Descarga de Salmuera

# Resultados Simulaciones CORMIX

## Alcance Salinidad Campo Cercano

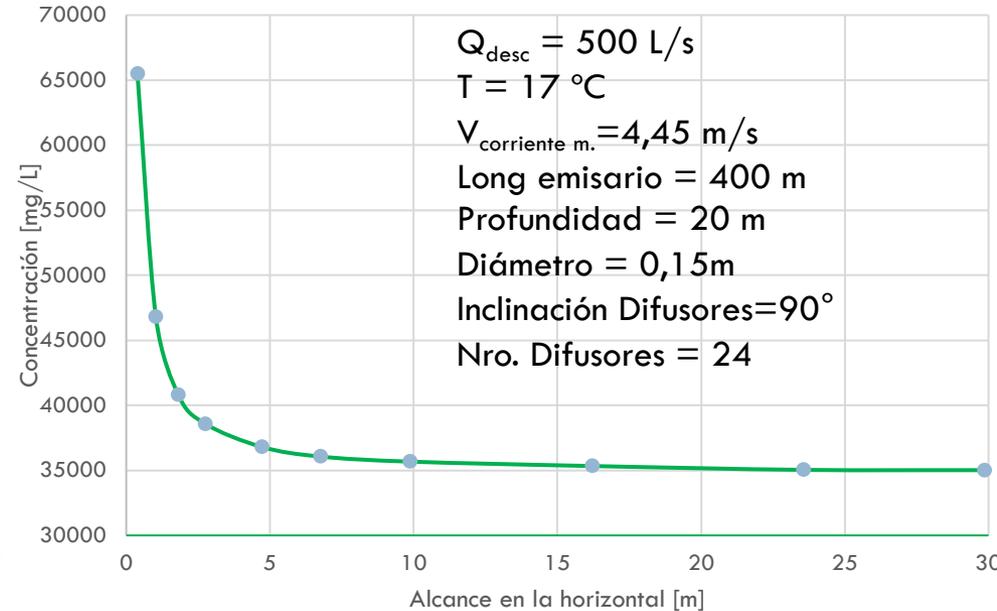
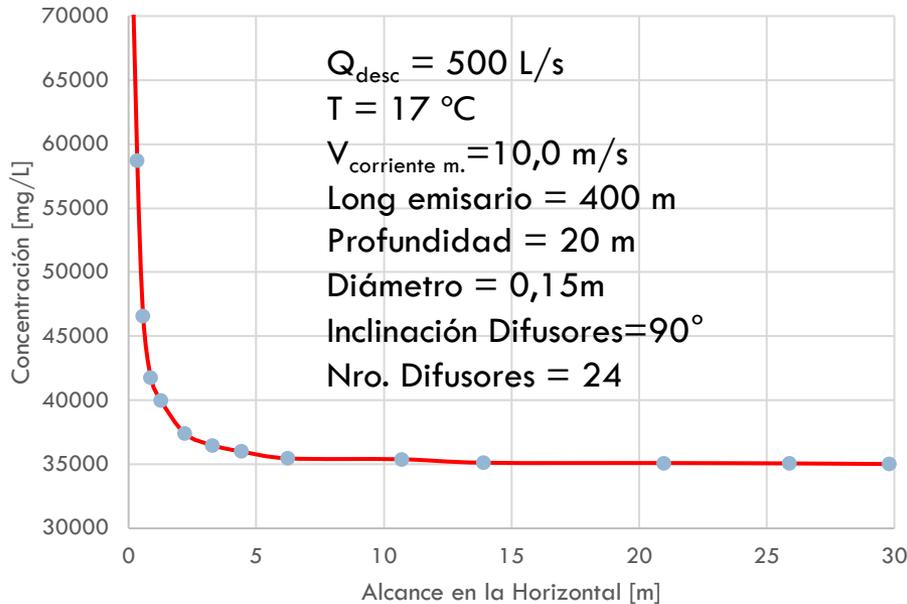


## Salinidad Fondo Marino - Campo Cercano

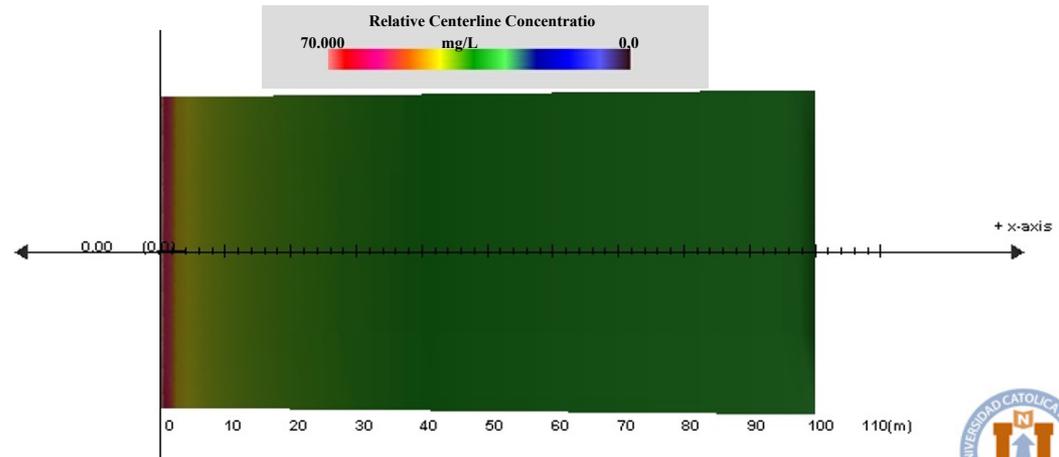
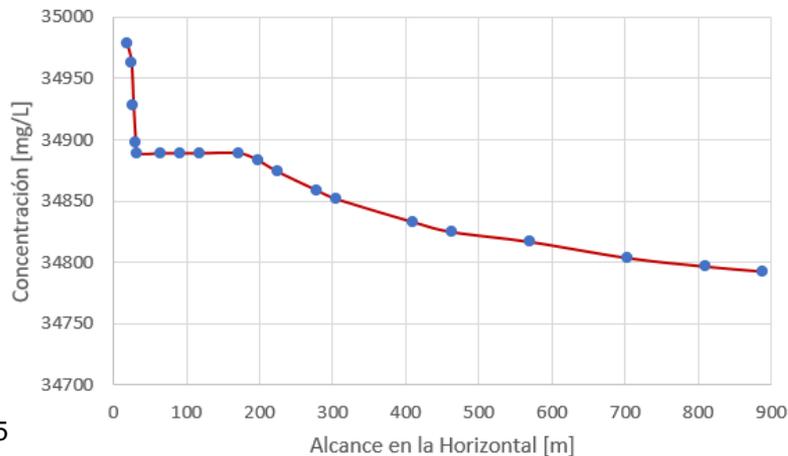


# Resultados Simulaciones CORMIX

## Alcance Salinidad Campo Cercano



## Salinidad Fondo Marino - Campo Cercano

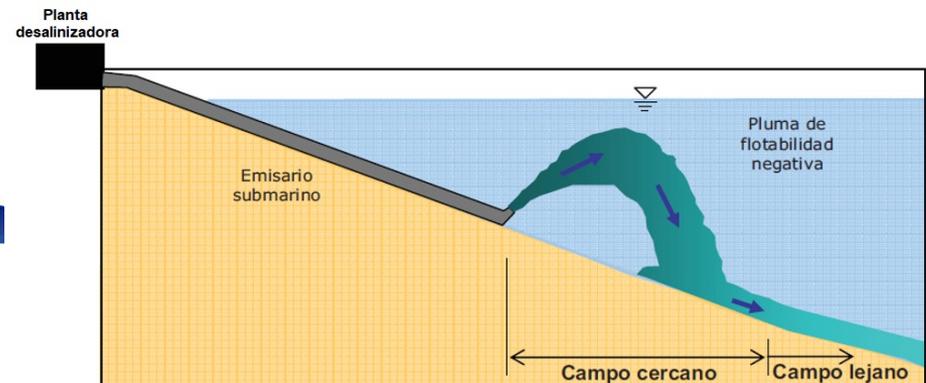
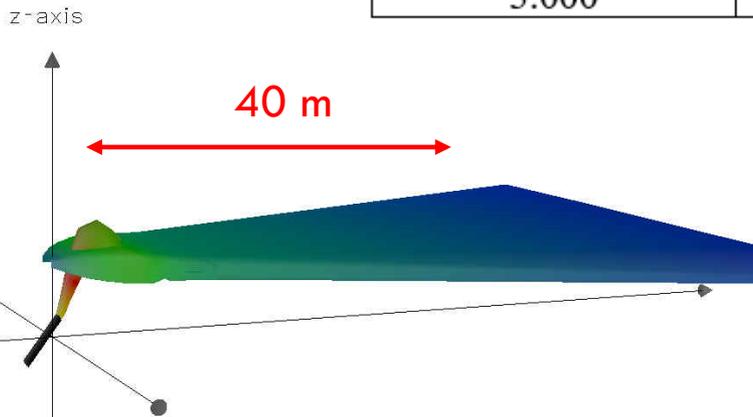


# Resultados Simulaciones CORMIX

## Efecto del Caudal de Descarga sobre la Salinidad del Medio Marino

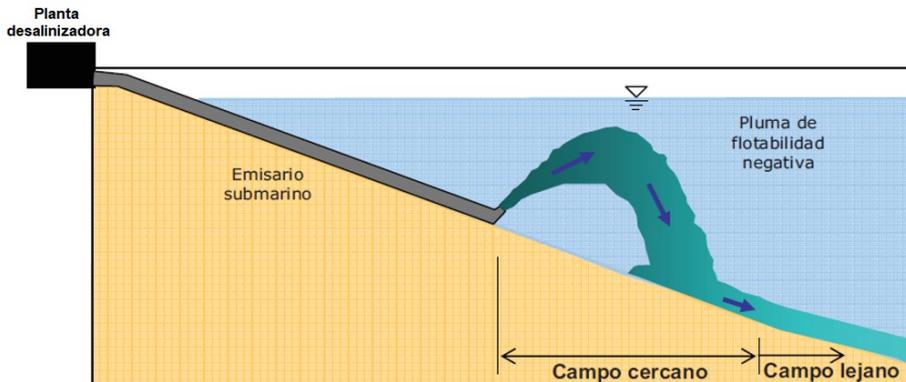
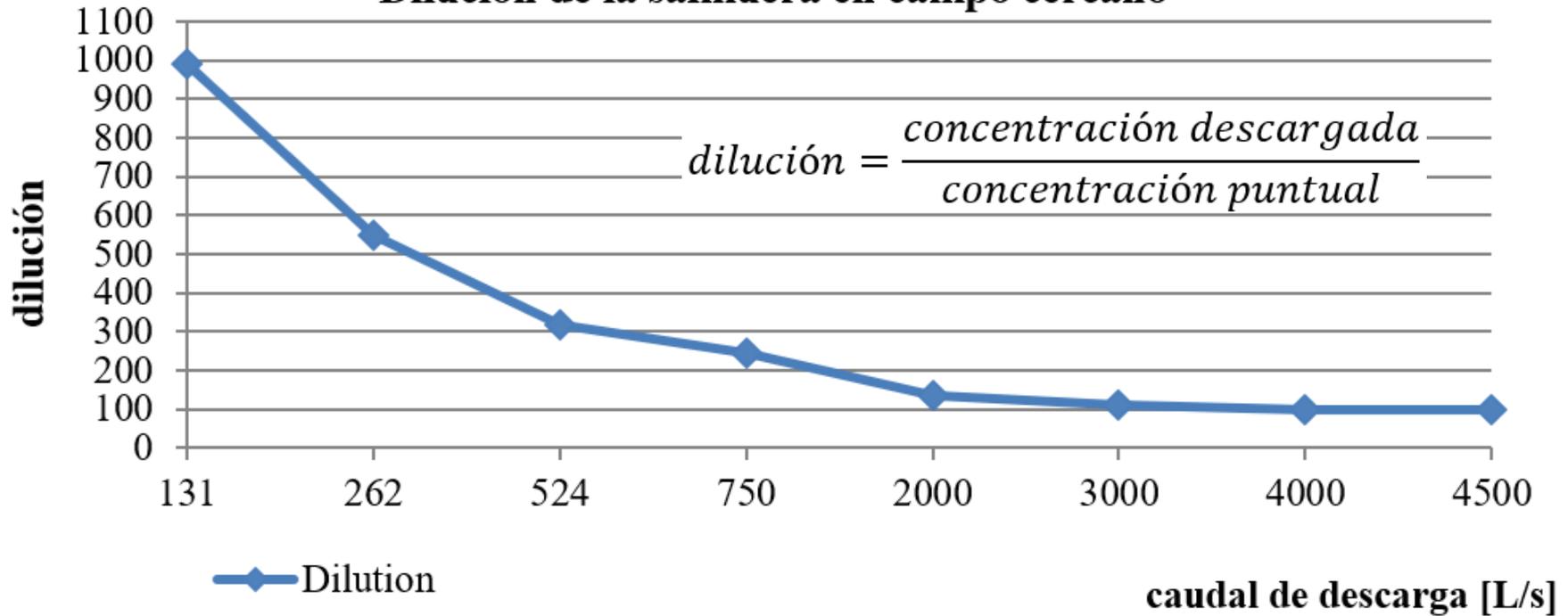
Concentración Salmuera Descarga 80 PSU  
Velocidad Corriente Marina 4,45 m/s  
Longitud Emisario 400 m  
Profundidad Emisario 20 m

Caudal de descarga [L/s]	Salinidad [PSU] a 40 m de la descarga salmuera
131	34,791
262	34,845
524	34,953
750	35,028
2.000	35,296
3.000	35,428



# Resultados Simulaciones CORMIX

## Dilución de la salmuera en campo cercano



“A menor caudal de descarga mayor capacidad de dilución del medio marino”

# Conclusiones

- Las simulaciones experimentales de la descarga de salmuera en una porción de medio marino permiten visualizar el comportamiento de la “pluma” de dispersión, donde se pudo verificar la rápida dilución (segundos) de la salmuera.
- Los resultados de las simulaciones con CORMIX muestran que el efecto de la salinidad de la descarga de salmuera en el medio marino se circunscribe en un radio acotado (20 a 30 m), dependiendo del caudal de descarga y la velocidad de la corriente marina (4 a 15 m/s), para caudales de 180 L/s y 500 L/s.
- De los resultados de CORMIX se puede inferir que para alcanzar una buena dilución de la salmuera se debe considerar la longitud y ubicación del emisario, número de difusores, diámetro difusor, inclinación, velocidad de la corriente marina para minimizar el radio de impacto de la salmuera sobre el medio marino.



# Universidad Católica del Norte

Gracias por su atención!

