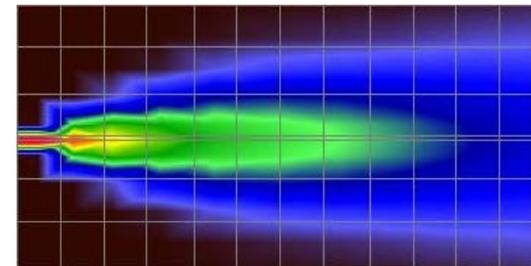
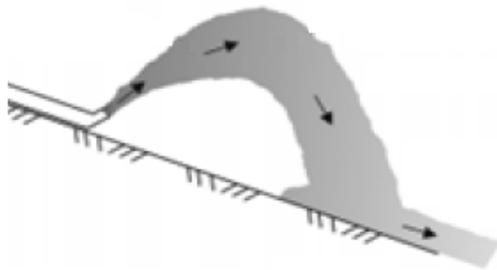


DEFENSA DEL PROYECTO PARA OPTAR AL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL OCÉANICO

ESTUDIO NUMÉRICO DEL COMPORTAMIENTO DE LA SALMUERA DESCARGADA AL MAR MEDIANTE EMISARIOS SUBMARINOS

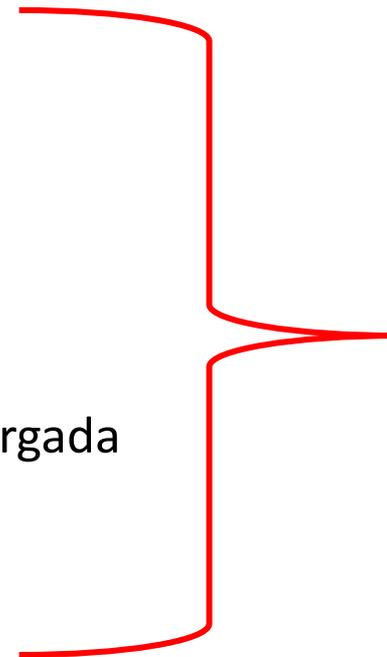


PABLO ANTONIO FEDERICI HERNÁNDEZ

mayo 2017

CONTENIDOS

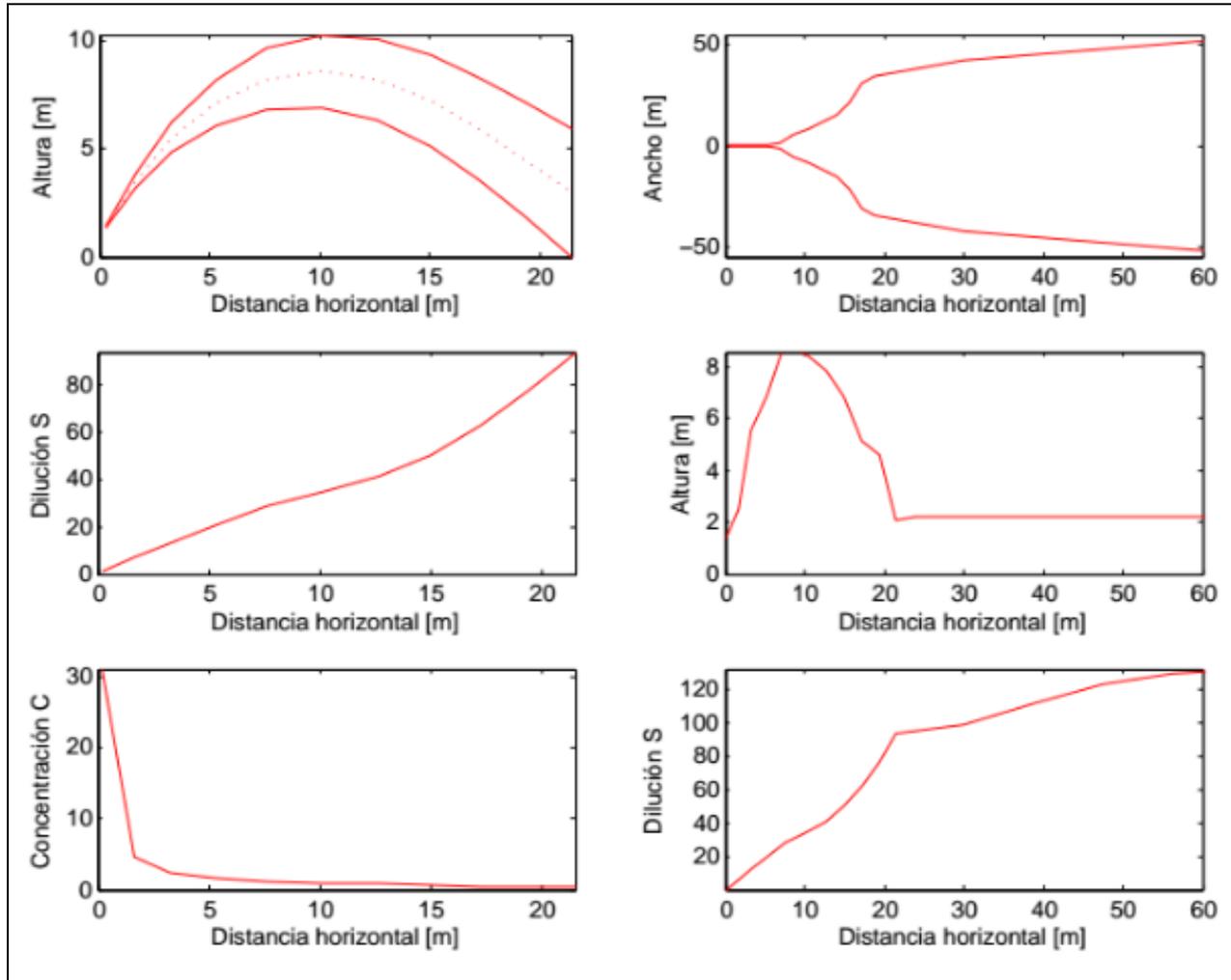
1. Introducción
2. Objetivos
3. Planta desalinizadora
4. Salmuera
5. Emisario submarino
6. Dilución
7. Normativa ambiental
8. Comportamiento de la salmuera descargada
9. Simulación de la salmuera descargada
 - Caracterización teórica del fenómeno
 - Modelación numérica CORMIX
10. Resultados
 - Caracterización teórica del fenómeno
 - Modelación numérica CORMIX
 - Análisis de sensibilidad
11. Ejemplo de aplicación
12. Conclusiones



**FUNDAMENTO
TEÓRICO**

INTRODUCCIÓN

Imagen 1: Resultados de una modelación numérica, CORMIX1



Fuente: Elaboración propia

INTRODUCCIÓN

Imagen 2: Alcance de la salmuera descargada



Fuente: Elaboración propia

INTRODUCCIÓN

Imagen 3: Alcance de la salmuera descargada, caso real



Fuente: ECOAGUA, 2011

INTRODUCCIÓN

- Zonas de insuficiencia hídrica
- Producción de agua
- Minimizar el potencial impacto ambiental
- Limitaciones del proyecto

OBJETIVOS

simular tanto en el campo cercano como lejano, el comportamiento de la salmuera descargada al mar mediante emisarios submarinos y definir los parámetros y variables importantes que permitan reducir el potencial impacto ambiental que representan las descargas de salmuera en el medio ambiente marino.

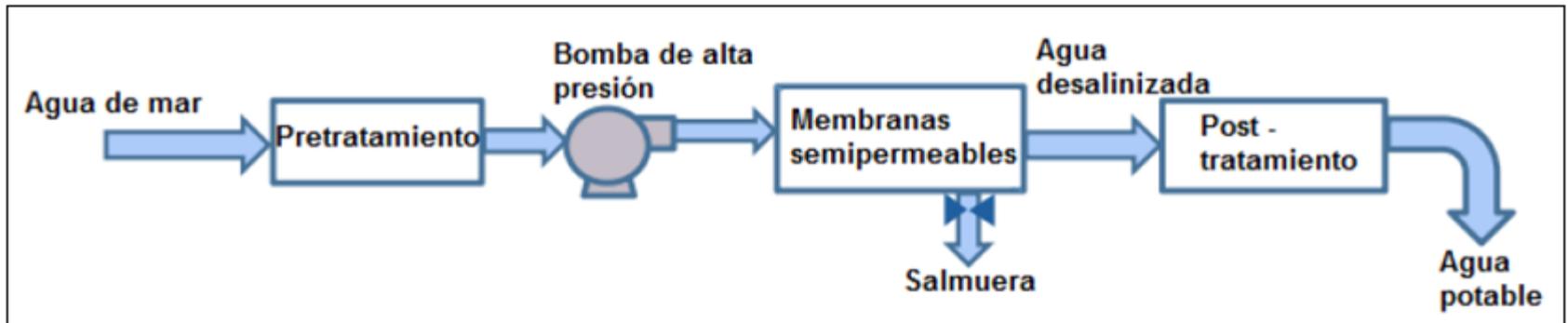
- Caracterización teórica
- Modelación numérica
- Análisis de sensibilidad
- Ejemplo de aplicación

PLANTA DESALINIZADORA

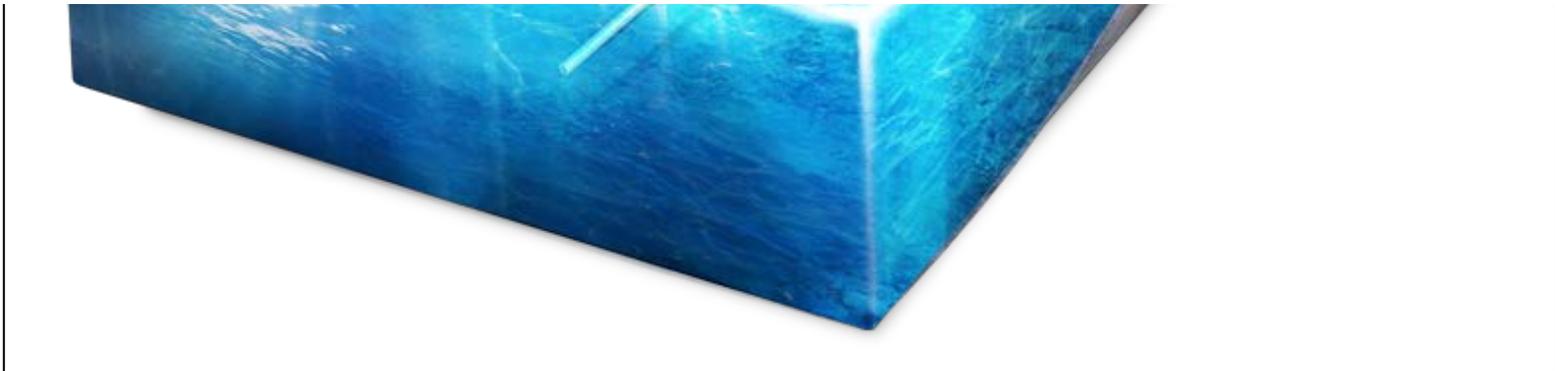
Imagen 4: Ejemplo de una planta desalinizadora ubicada en la costa



Imagen 5: Alcance de la salmuera descargada



Fuente: Elaboración propia



Fuente: LOS CARDONES, 2015

SALMUERA

Imagen 5: Clasificación de cuerpos de agua según su salinidad

SALINIDAD (g/L)	Tipo de agua
0 - 0.5	agua dulce
0.5 - 30	agua salobre
30 - 50	agua de mar
50 - 150	salmuera
> 150	hipersalina

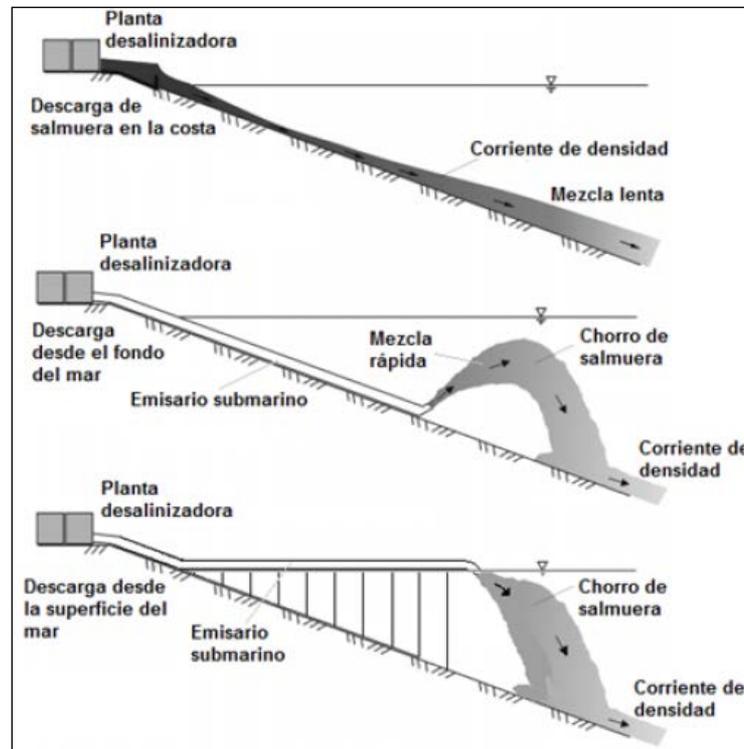
Fuente: Fuentes et al., 2002

- Anoxia en el fondo marino
- Modificación de las condiciones de luz
- Afección a especies marinas
- Afección al fondo del mar

EMISARIOS SUBMARINOS

- Condiciones ambientales
- Características de la salmuera descargada
- Criterios económicos

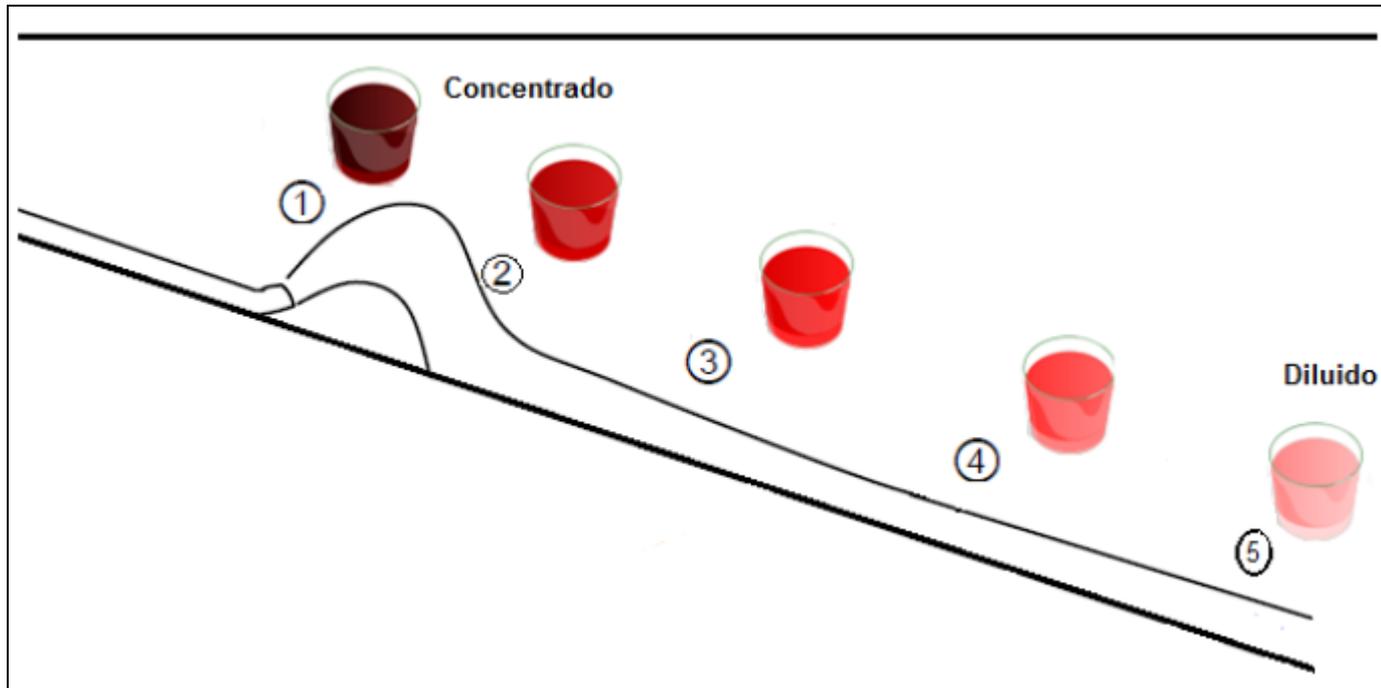
Imagen 7: Diferentes descargas de salmuera en el medio ambiente marino



Fuente: Elaboración propia

DILUCIÓN

Imagen 8: Ejemplo de dilución y concentración



Fuente: Elaboración propia

Ec. 1

$$S = \frac{C_0 - C_A}{C - C_A} = \frac{P_0 - P_A}{P - P_A}$$

Ec. 2

$$C \equiv \frac{m_{agente}}{m_{agua}} \equiv \frac{V_{agente}}{V_{agua}}$$

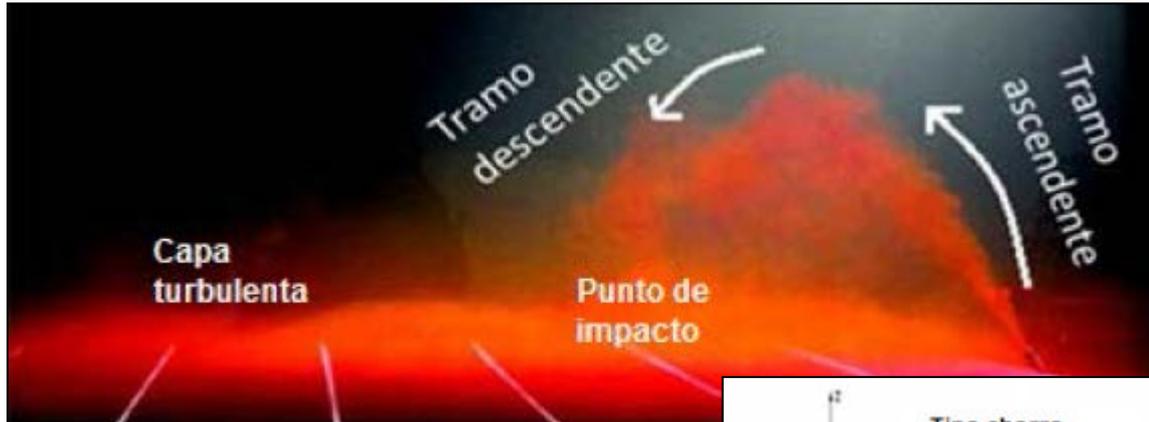
NORMATIVA AMBIENTAL

- i. Constitución Política de la República
- ii. Ley N°2222/1978
- iii. Ley N°19300/2010
- iv. Ley N°20417/2010
- v. D.S. N°90/2000
- vi. D.S. N°40/2013
- vii. D.F.L. N° 340/1992
 - ZPL
 - Directrices para la evaluación ambiental

CONTAMINANTE	UNIDAD	LIMITE MÁXIMO PERMITIDO	
		Dentro ZPL	Fuera ZPL
Aceites y grasas	mg/L	20	350
Aluminio	mg/L	1	10
Arsénico	mg/L	0.2	0.5
Cadmio	mg/L	0.02	0.5
Cianuro	mg/L	0.5	1
Cobre	mg/L	1	3
Coliformes fecales o termotolerantes	NMP/100 ml	1000-70	x
Índice de fenol	mg/L	0.5	1
Cromo hexavalente	mg/L	0.2	0.5
Cromo total	mg/L	2.5	10
DBO5	mg O2/L	60	100
Estaño	mg/L	0.5	1
Fluoruro	mg/L	1.5	6
Fósforo	mg/L	5	10
Hidrocarburos totales	mg/L	10	20
Hidrocarburos volátiles	mg/L	1	2
Hierro disuelto	mg/L	10	15
Manganeso	mg/L	2	4
Mercurio	mg/L	0.005	0.02
Molibdeno	mg/L	0.1	0.5
Niquel	mg/L	2	4
Nitrógeno total Kjeldahl	mg/L	50	x
PH	unidad	6,0 - 9,0	5,5 - 9,0
Plomo	mg/L	0.2	1
SAAM	mg/L	10	15
Selenio	mg/L	0.01	0.03
Sólidos sedimentables	m1/1/h	5	50
Sólidos suspendidos totales	mg/L	100	700
Sulfuros	mg/L	1	2
Zinc	mg/L	5	10
Temperatura	°C	30	x

COMPORTAMIENTO DE LA SALMUERA DESCARGADA

Imagen 9: Ejemplo de una descarga de salmuera



regiones en el comportamiento

Fuente: Elaboración propia

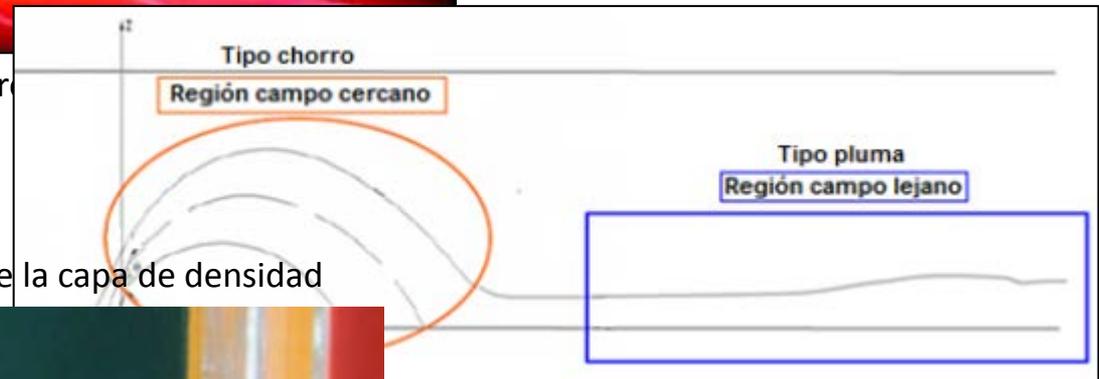


Imagen 11: Comienzo y expansión de la capa de densidad

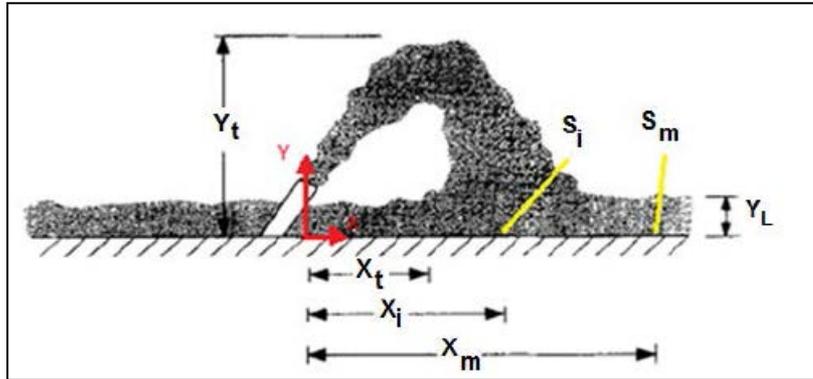


Fuente: Losada y Palomar, 2008

Fuente: Pérez et al., 2015

CARACTERIZACIÓN TEÓRICA

Imagen 12: Ejemplo de una descarga de salmuera



Fuente: Roberts et al., 1997

Tabla 2: Expresiones para caracterización

VARIABLE	TIPOLOGÍA	ECUACIÓN NORMALIZADA	COEFICIENTE
Altura máxima alcanzada por el chorro	Ec. 6	$Y_t = DFC_1$	$C_1 = 2,2$
Distancia horizontal de la altura máxima	Ec. 7	$X_t = Y_t/tg\alpha$	-
Distancia donde impacta el chorro con el fondo	Ec. 8	$X_i = DFC_2$	$C_2 = 2,4$
Dilución en el punto de impacto	Ec. 9	$S_i = FC_3$	$C_3 = 1,6 \pm 12\%$
Dilución al final del campo cercano	Ec. 10	$S_m = FC_4$	$C_4 = 2,6 \pm 15\%$
Longitud de la capa hipersalina	Ec. 11	$X_m = DFC_5$	$C_5 = 9,0$
Espesor de la capa hipersalina	Ec. 12	$Y_L = DFC_6$	$C_6 = 0,7$

Fuente: Roberts et al., 1997

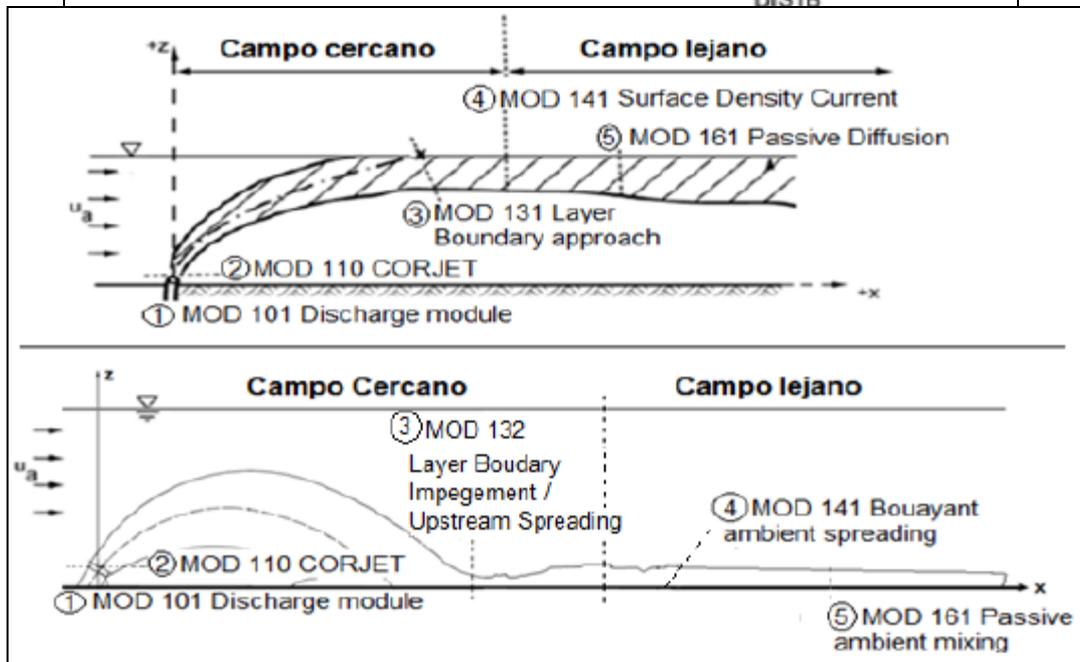
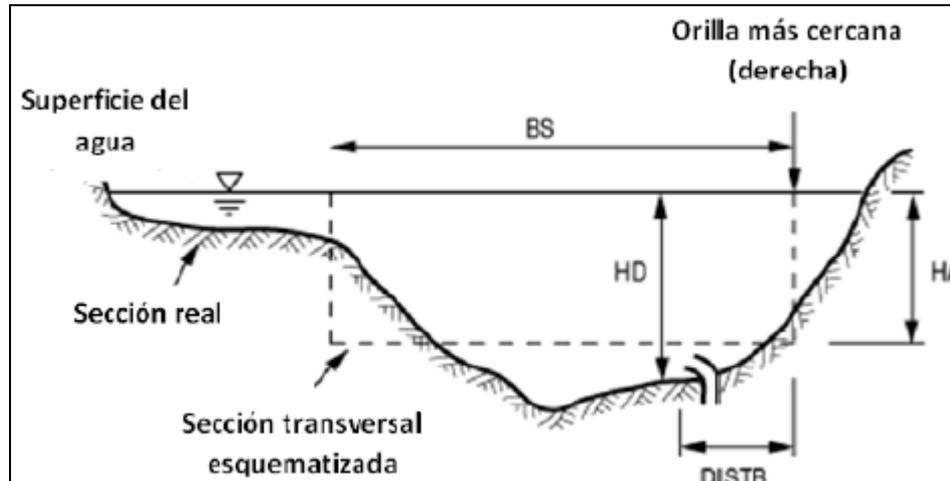
CORMIX

Tabla 3: Modelos y subsistemas de CORMIX

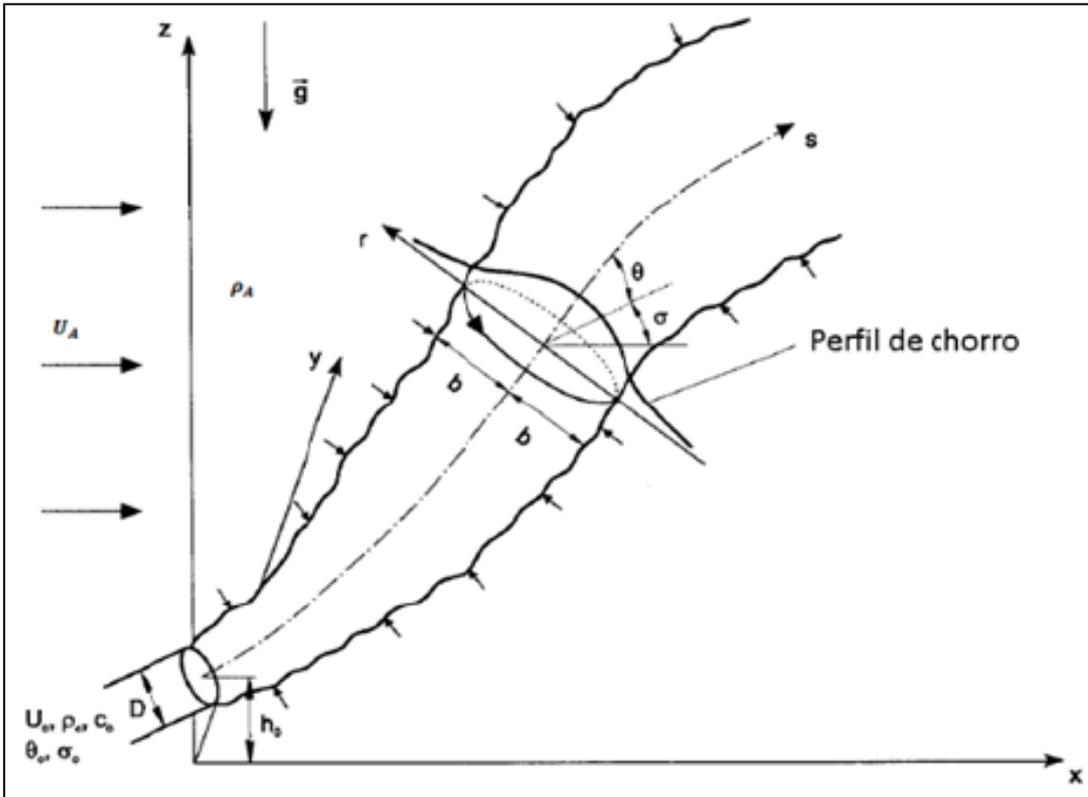
<i>Campo cercano y lejano</i>	Modelos basados en el análisis dimensional (Escala de longitud)	CORMIX 1	Subsistema de CORMIX. Vertido sumergido, mediante chorro individual, con emisario submarino apoyado en el fondo y cercano a la superficie (D-CORMIX) Flujos de flotabilidad positiva, negativa o neutra.
		CORMIX 2	Subsistema de CORMIX. Vertido sumergido, mediante tramo difusor de chorros múltiples, con emisario submarino apoyado en el fondo. Flujos de flotabilidad positiva, negativa o neutra.
		CORMIX 3	Subsistema de CORMIX. Vertidos directos superficiales Flujo de flotabilidad positiva, en general. Opción de flujos de flotabilidad negativa (D-CORMIX).
		D-CORMIX	Subsistema de CORMIX. Vertido emergido y sumergido cercano a la superficie del medio receptor—mediante CORMIX1 (flujos invertidos) Vertidos directos superficiales desde la línea de costa—mediante CORMIX3 (flujos invertidos). Flujos de flotabilidad negativa
	Modelos basados en la integración numérica de ecuaciones	CORJET	Módulo de CORMIX. Vertido sumergido mediante chorro individual o chorros múltiples, con emisario cercano al fondo. Flujos de flotabilidad positiva, negativa o neutra Modelo euleriano tridimensional.

Fuente: Doneker y Jirka, 2007

CORMIX

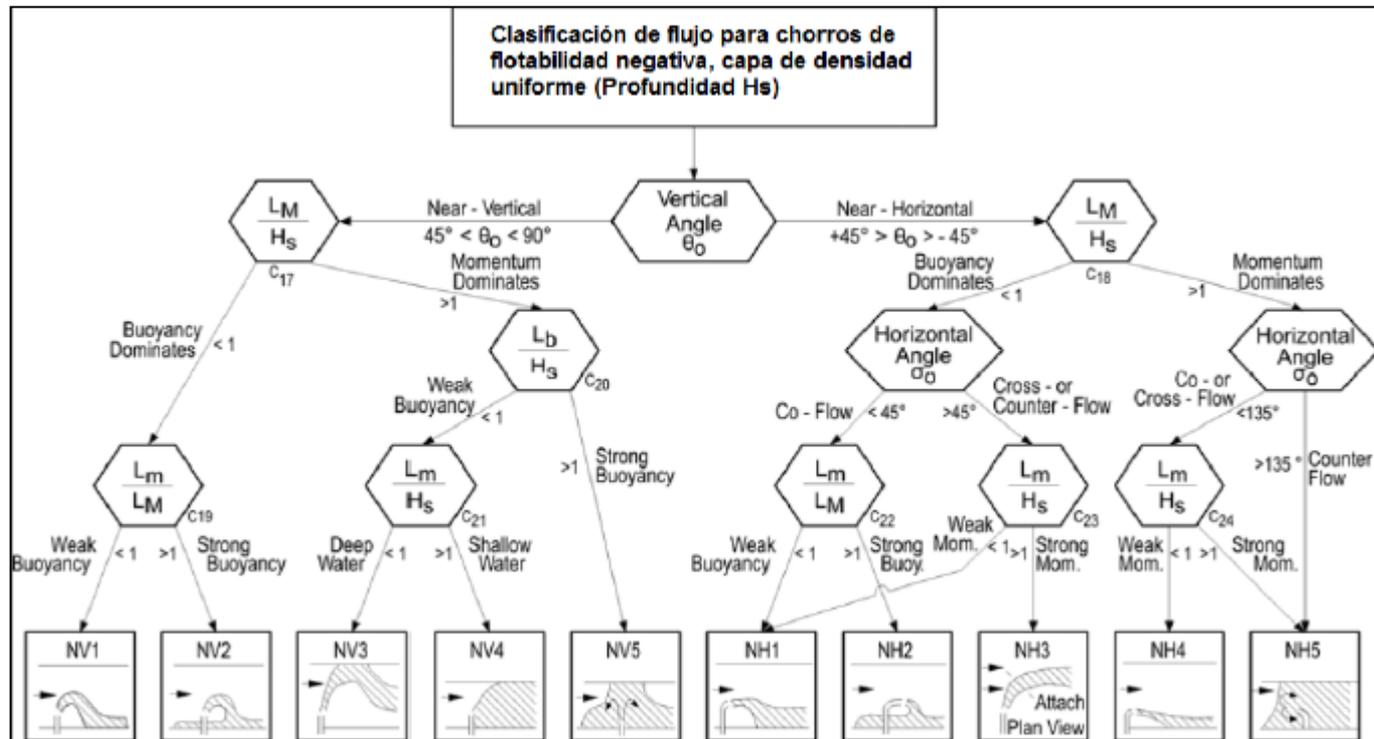
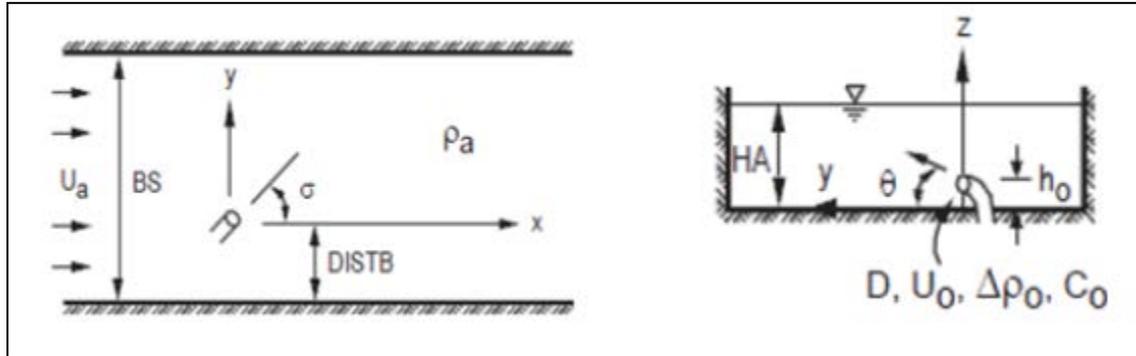


CORJET

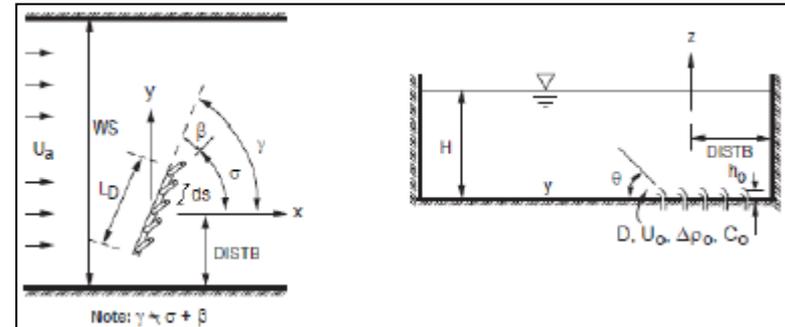
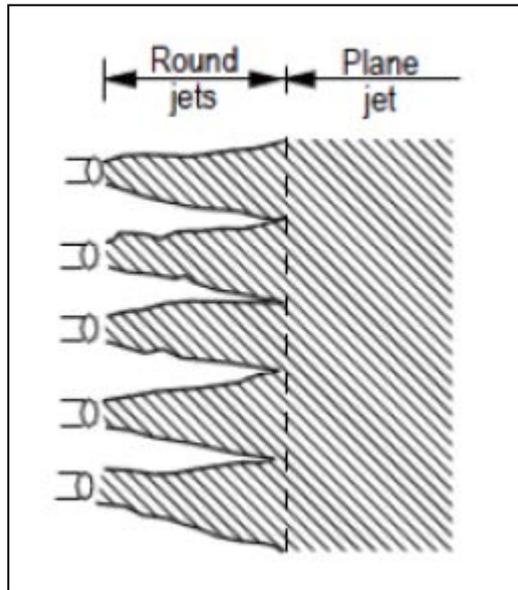


- Fuerza de intrusión actuando en la dirección del eje x
- Fuerza de flotabilidad actuando en la dirección del eje z
- Fuerza de arrastre actuando perpendicular al chorro

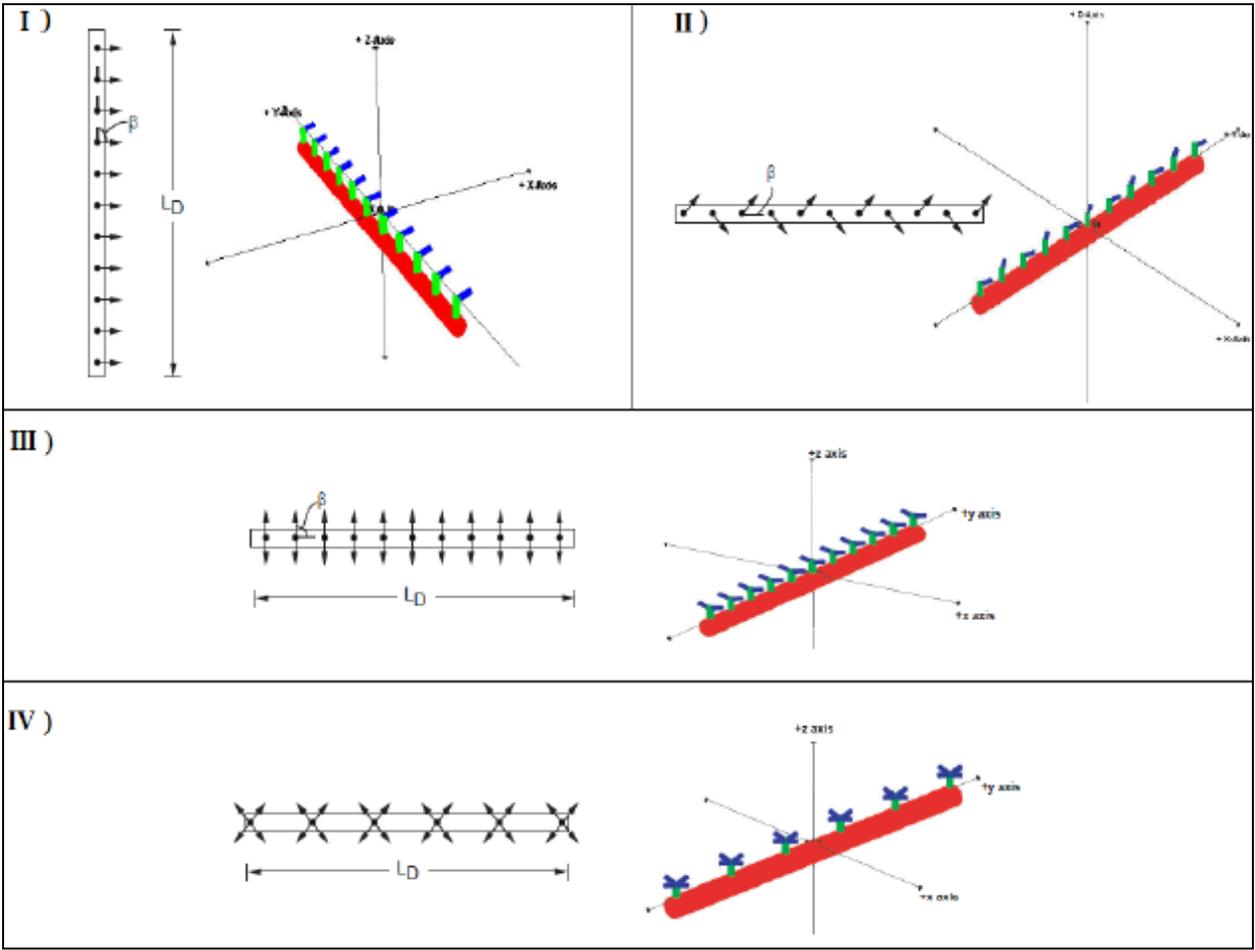
CORMIX1



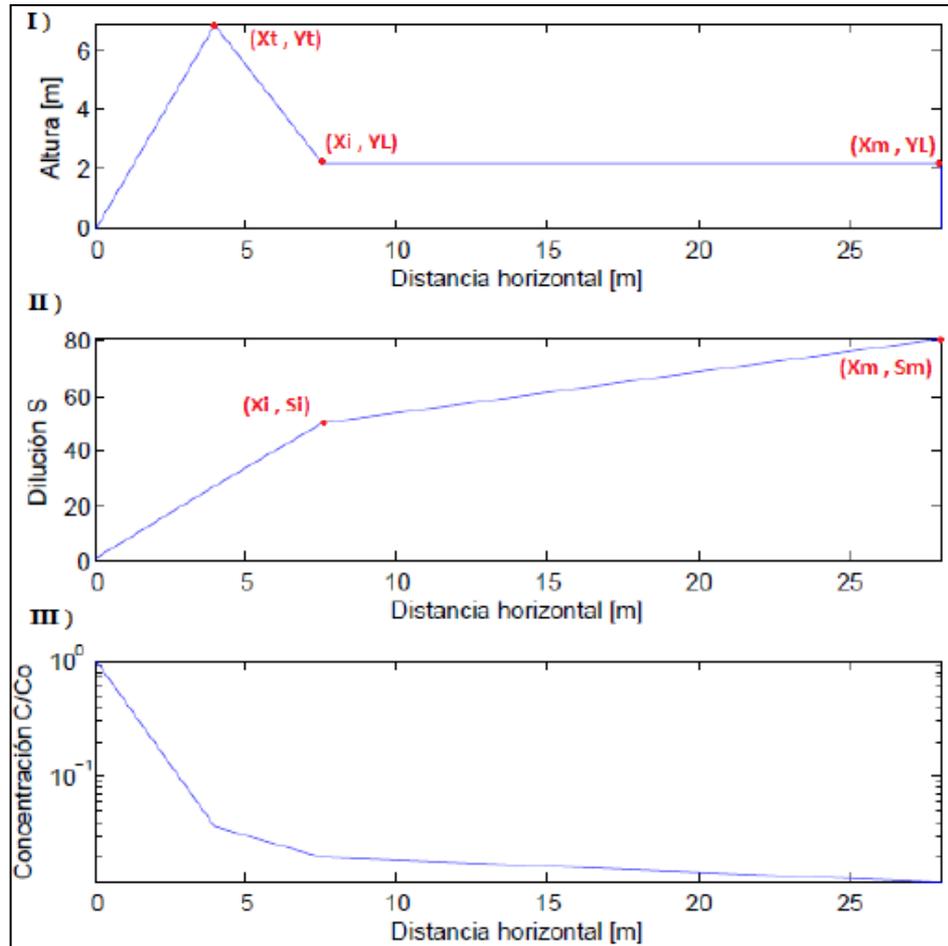
CORMIX2



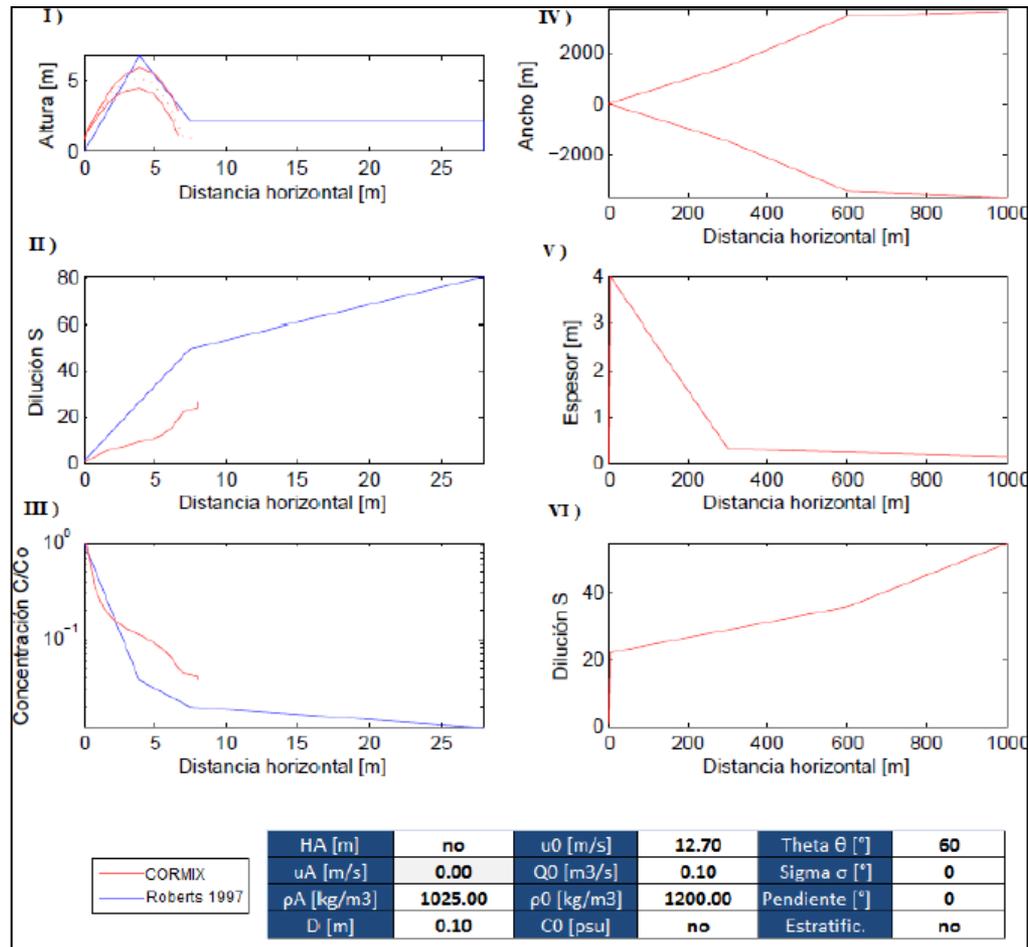
CORMIX2



RESULTADOS



RESULTADOS



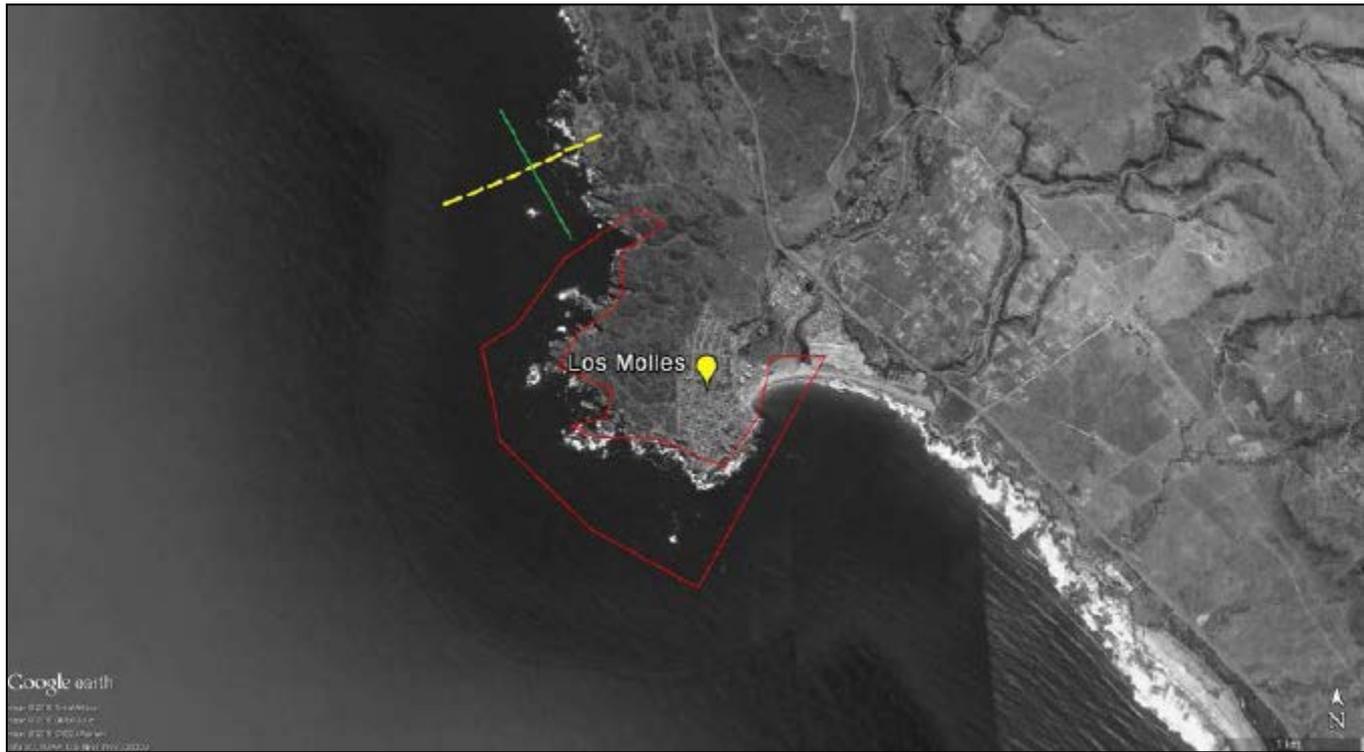
RESULTADOS

Variable modificada	Valor modificado	Parámetros de cálculo		Resultados CORMIX			% de variabilidad		
		U0 [m/s]	F	Yt [m]	Xi [m]	Sm	Yt	Xi	Sm
UA [m/s]	0.01	6.36	20.58	12.30	18.30	-	12	-21	-
UA [m/s]	0.05	6.36	20.58	11.95	19.24	30.91	9	-17	-15
UA [m/s]	0.10	6.36	20.58	11.48	21.03	32.66	4	-9	-10
UA [m/s]	0.15	6.36	20.58	11.00	23.18	36.16	0	0	0
UA [m/s]	0.20	6.36	20.58	10.50	25.40	42.25	-5	10	17
θ [°]	20	6.36	20.58	3.57	18.21	18.10	-68	-21	-50
θ [°]	40	6.36	20.58	7.35	24.07	29.10	-33	4	-20
θ [°]	50	6.36	20.58	9.50	24.31	33.20	-14	5	-8
θ [°]	60	6.36	20.58	11.00	23.18	36.10	0	0	0
θ [°]	80	6.36	20.58	13.82	17.09	36.70	26	-26	1
D [m]	0.20	25.46	116.00	27.00	72.37	234.00	145	212	547
D [m]	0.30	11.31	42.50	15.83	37.05	77.70	44	60	115
D [m]	0.40	6.36	20.58	11.00	23.18	36.10	0	0	0
D [m]	0.50	4.07	11.78	8.37	16.07	20.02	-24	-31	-45
ρ_0 [kg/m3]	1040	6.36	26.57	13.30	32.25	52.50	21	39	45
ρ_0 [kg/m3]	1050	6.36	20.58	11.00	23.18	36.10	0	0	0
ρ_0 [kg/m3]	1060	6.36	17.39	9.69	18.75	28.50	-12	-19	-21
ρ_0 [kg/m3]	1110	6.36	11.08	7.23	12.04	17.09	-34	-48	-53
σ [°]	0	6.36	20.58	11.00	23.18	36.10	0	0	0
σ [°]	90	6.36	20.58	11.88	10.59	33.90	8	-54	-6
σ [°]	180	6.36	20.58	11.47	-7.42	22.30	4	-132	-38
σ [°]	270	6.36	20.58	11.88	10.59	33.90	8	-54	-6
Estrat.	No	6.36	20.58	11.00	23.18	36.10	0	0	0
Estrat.	Tipo A	6.36	20.58	10.97	21.98	24.66	0	-5	-32
Estrat.	Tipo B	6.36	20.58	11.98	26.70	33.61	9	15	-7
Estrat.	Tipo C	6.36	20.58	11.56	24.43	26.77	5	5	-26
α [°]	0	6.36	20.58	11.00	23.18	36.10	0	0	0
α [°]	2.86	6.36	20.58	11.00	23.18	38.50	0	0	6
α [°]	5.71	6.36	20.58	11.00	23.18	38.10	0	0	5
α [°]	11.30	6.36	20.58	11.00	23.18	38.30	0	0	6

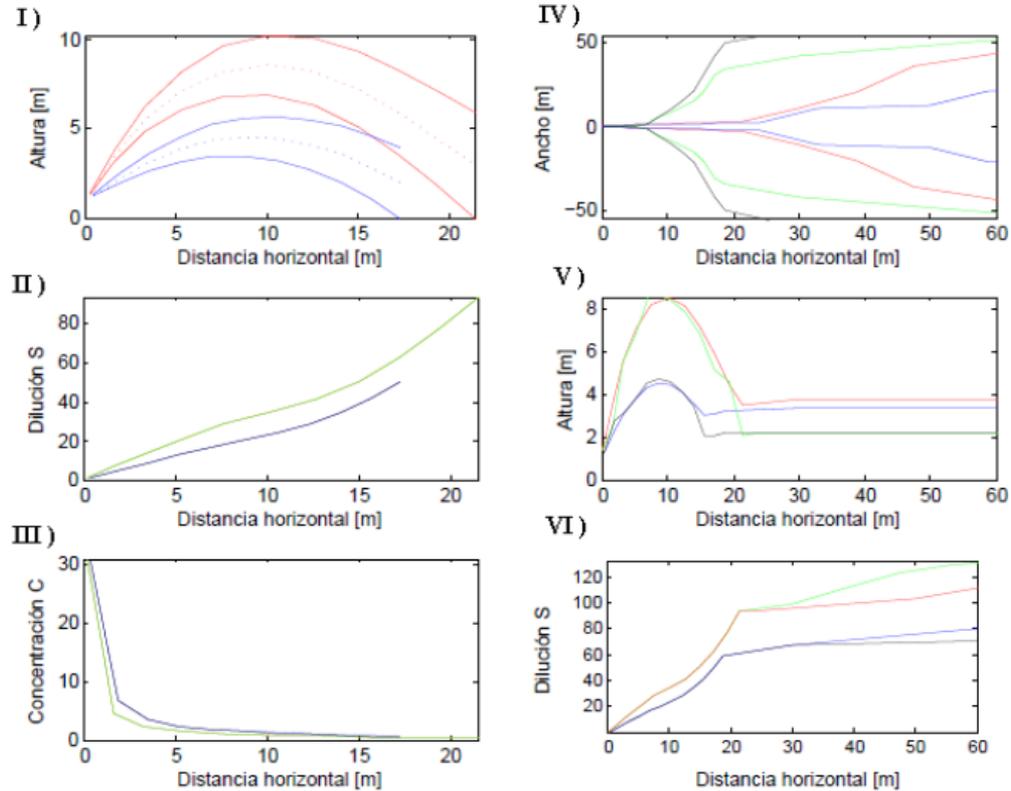
RESULTADOS

Variable modificada	Valor modificado	Parámetros de cálculo		Resultados CORMIX			% de variabilidad		
		U0	F	Yt [m]	Xi [m]	Sm	Yt	Xi	Sm
UA [m/s]	0.01	9.05	47.8	10.59	15.93	-	20	-35	-
UA [m/s]	0.10	9.05	47.8	9.47	20.96	73.5	7	-14	-21
UA [m/s]	0.15	9.05	47.8	8.81	24.34	92.9	0	0	0
UA [m/s]	0.20	9.05	47.8	8.17	27.83	108.9	-7	14	17
UA [m/s]	0.30	9.05	47.8	7.28	34.71	130.4	-17	43	40
θ [°]	20	9.05	47.8	3.08	17.69	40.5	-65	-27	-56
θ [°]	40	9.05	47.8	6.07	23.39	69.8	-31	-4	-25
θ [°]	60	9.05	47.8	8.81	24.34	92.9	0	0	0
θ [°]	80	9.05	47.8	11.78	18.7	103.7	34	-23	12
D [m]	0.09	25.15	117.4	16.58	57.29	361.7	88	135	289
D [m]	0.10	20.37	131.7	14.52	47.93	273.0	65	97	194
D [m]	0.15	9.05	47.8	8.81	24.34	92.9	0	0	0
D [m]	0.20	5.09	23.3	6.27	15.18	43.7	-29	-38	-53
D [m]	0.25	3.29	13.3	4.91	10.55	24.7	-44	-57	-73
σ [°]	0	9.05	47.8	8.81	24.34	92.9	0	0	0
σ [°]	90	9.05	47.8	10.16	13.06	98.6	15	-46	6
σ [°]	180	-	-	-	-	-	-	-	-
σ [°]	270	9.05	47.8	10.16	13.06	98.6	15	-46	6
N [un]	1	9.05	47.8	11.00	23.18	36.1	25	-5	-61
N [un]	3	9.05	47.8	10.14	26.00	74.6	15	7	-20
N [un]	4	9.05	47.8	9.39	25.12	84.8	7	3	-9
N [un]	5	9.05	47.8	8.81	24.34	92.9	0	0	0
N [un]	6	9.05	47.8	8.37	23.77	100.2	-5	-2	8
N [un]	7	9.05	47.8	8.04	23.18	107.6	-9	-5	16
Config. Boq.	A	9.05	47.8	8.81	24.34	92.9	0	0	0
Config. Boq.	B	9.05	47.8	10.77	16.24	84.8	22	-33	-9
Config. Boq.	C	9.05	47.8	10.18	26.15	75.3	16	7	-19
Config. Boq.	D	9.05	47.8	10.18	26.15	75.3	16	7	-19
Config. Boq.	E	9.05	47.8	12.49	15.89	65.1	42	-35	-30

EJEMPLO DE APLICACIÓN



EJEMPLO DE APLICACIÓN



— fondo plano: 25 [m]
— fondo plano: 8 [m]
— con pendiente: 25 [m]
— con pendiente: 8 [m]

HA [m]	8 ; 25	u0 [m/s]	9.09 ; 11.22	Theta θ [°]	35 ; 60
uA [m/s]	0.10	Q0 [m3/s]	0.50	Gamma γ [°]	90
ρA [kg/m3]	1022	ρ0 [kg/m3]	1048.50	Sigma σ [°]	0
D [m]	0.09 ; 0.10	C0 [psu]	30.50	α [°]	0 ; 2.35
LD [m]	100	N [un]	7	ds [m]	16.67

EJEMPLO DE APLICACIÓN



CONCLUSIONES

- Comparación de resultados
- Descripción teórica
- Modelación numérica CORMIX
- Análisis de sensibilidad
- Descargas más eficientes
- Comportamiento de la salmuera descargada
- Parámetros y variables importantes
- Normativa ambiental

Gracias por su atención