



CÁLCULO DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA PLUMA DE DESCARGA DE UNA DESALADORA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL OCEÁNICA

PAULA TATÁN MONTECINO
ENERO 2023

TABLA DE CONTENIDO

01

INTRODUCCIÓN

- Objetivos
- Alcances y limitaciones

02

METODOLOGÍA

- Configuración del modelo
- Terminología
- Análisis a realizar

03

RESULTADOS

- Campo Cercano
- Campo Lejano

04

CONCLUSIONES

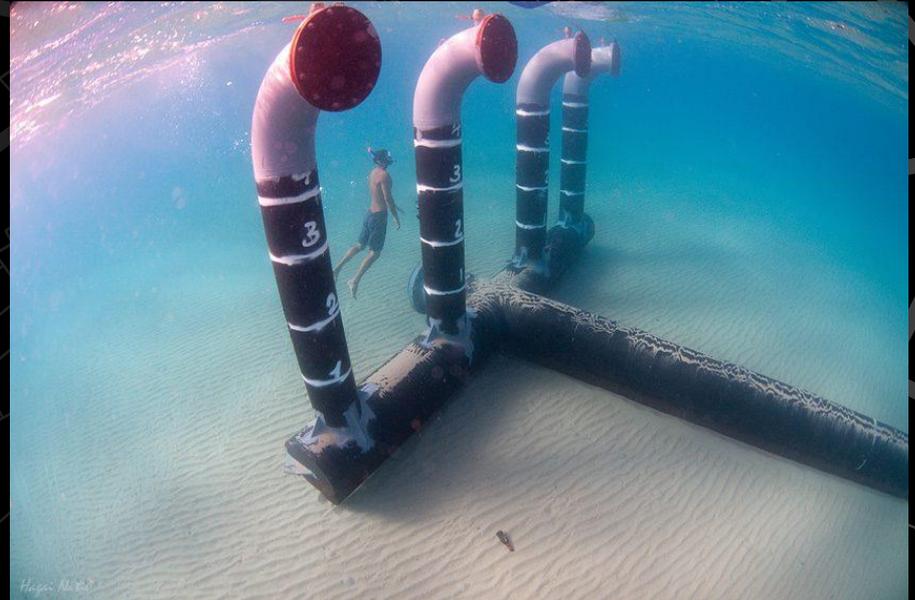


INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

GENERALIDADES

- Impactos ambientales asociados a la descarga de salmuera.
- Estudio mediante un modelo numérico comercial



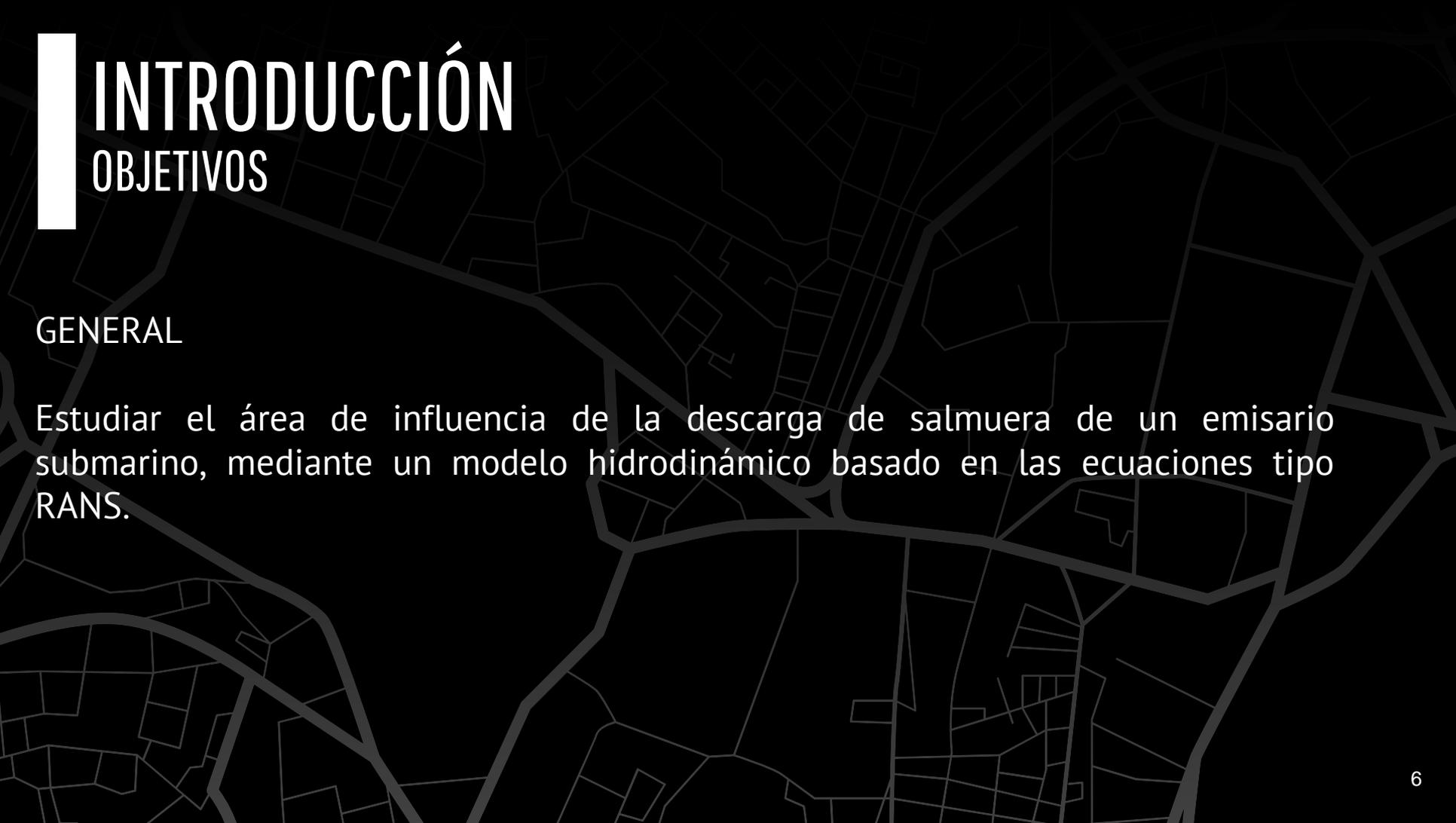
INTRODUCCIÓN

GENERALIDADES



Fuente: DHI, 2020

Estudiar, mediante un modelo numérico comercial, el proceso de mezcla de la salmuera descargada al mar mediante emisarios submarinos.



INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

GENERAL

Estudiar el área de influencia de la descarga de salmuera de un emisario submarino, mediante un modelo hidrodinámico basado en las ecuaciones tipo RANS.

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

ESPECÍFICOS:

- Implementar un modelo de geometría simple y condiciones ambientales controladas.
- Efectuar un análisis de sensibilidad de las variables que rigen el proceso de mezcla en campo cercano y lejano.
- Comparar los resultados con los modelos empíricos implementados por Federici (2017).
- Evaluar el área de influencia de una descarga de salmuera en el modelo de geometría simple.
- Generar recomendaciones al SEIA para evaluar proyectos de modelación mediante MIKE 3 Flow Model.



INTRODUCCIÓN

ALCANCES Y LIMITACIONES

- No se hará un análisis exhaustivo de las ecuaciones de gobierno de cada modelo.

- Los parámetros que no se encuentren mencionados en esta memoria han sido configurado según las recomendaciones del manual de MIKE, cuyos valores vienen por defecto.

- Solo será considerada la corriente como condición ambientales



METODOLOGÍA



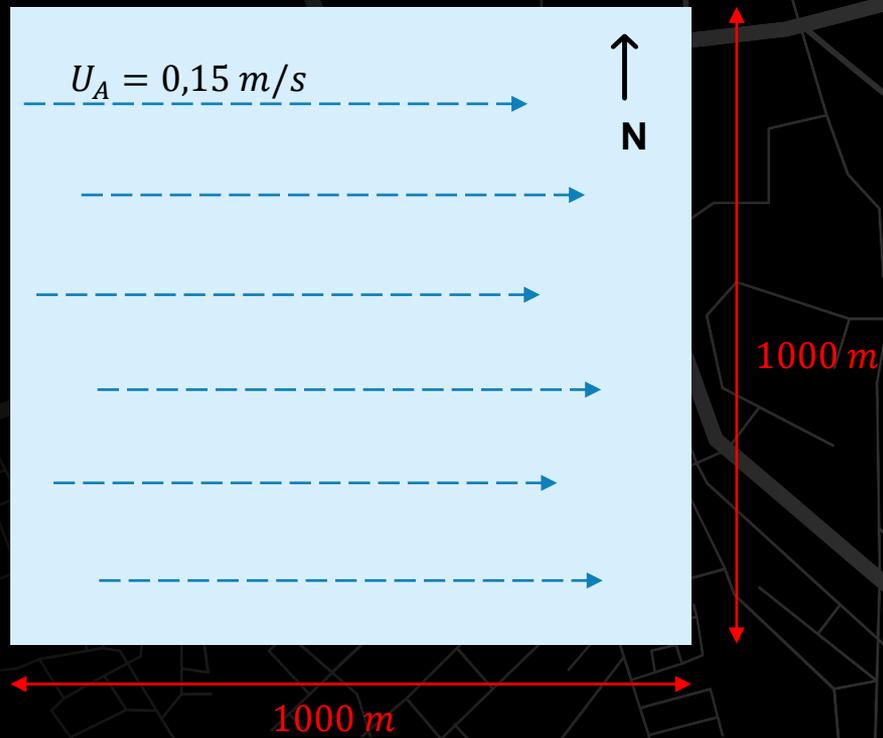
METODOLOGÍA

CONFIGURACIÓN DEL MODELO

- Para la modelación de plumas salinas se deben ingresar datos de entrada:
 - Salinidad
 - Velocidad de la corriente
 - Características de difusor

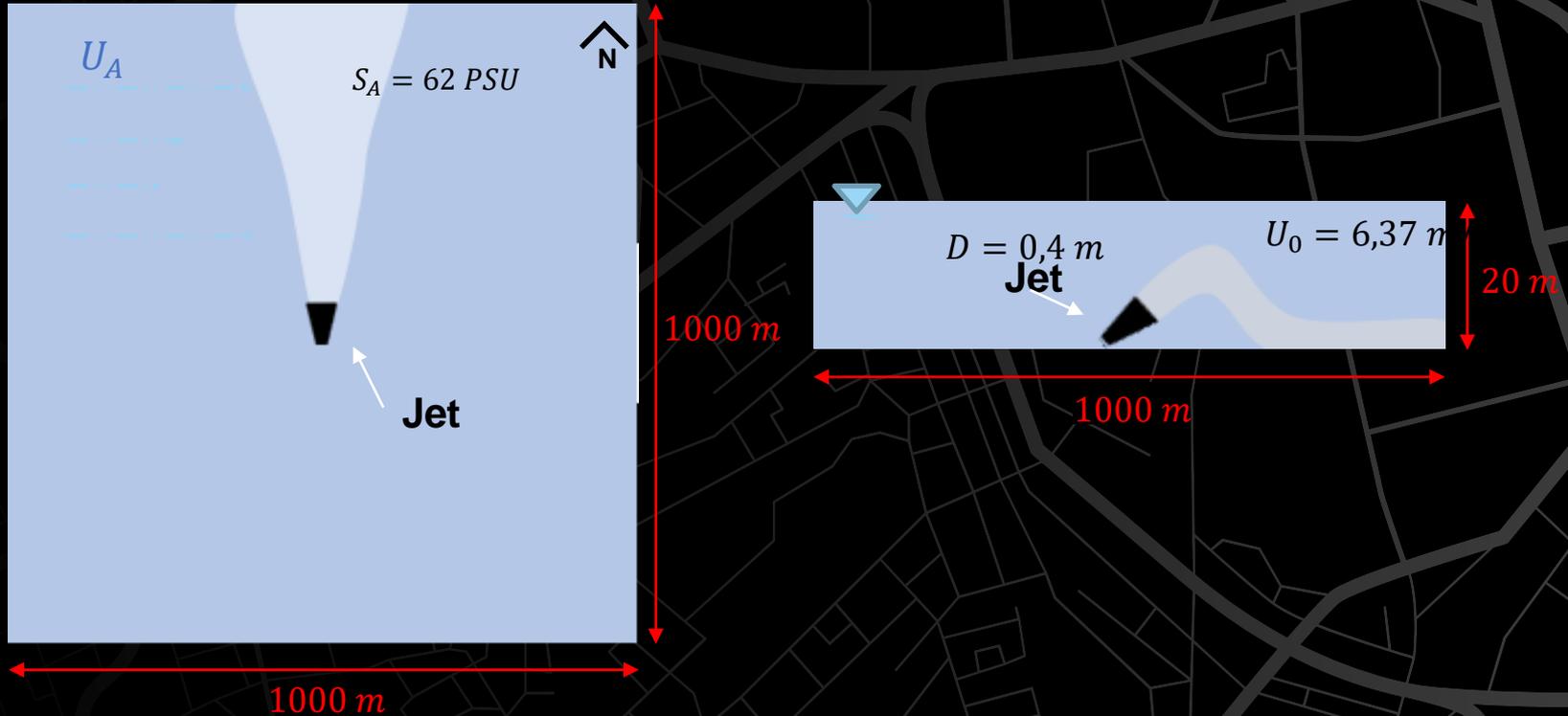
METODOLOGÍA

CONFIGURACIÓN DEL MODELO | CONDICIONES DEL MEDIO



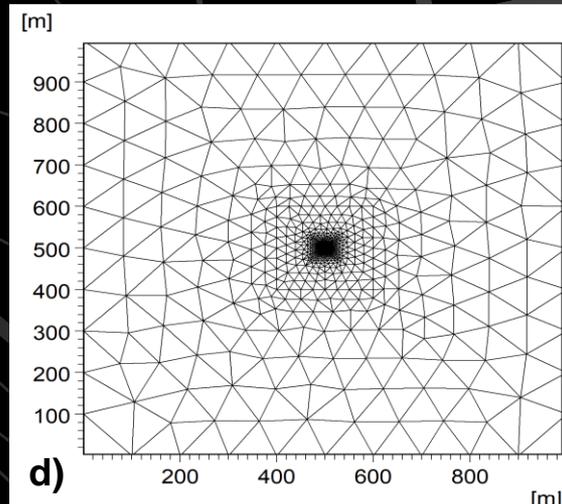
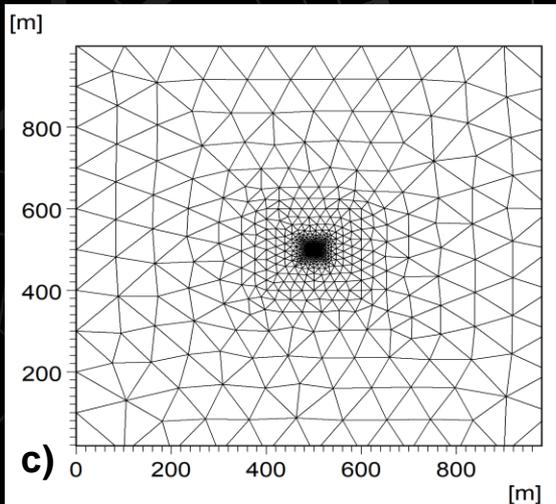
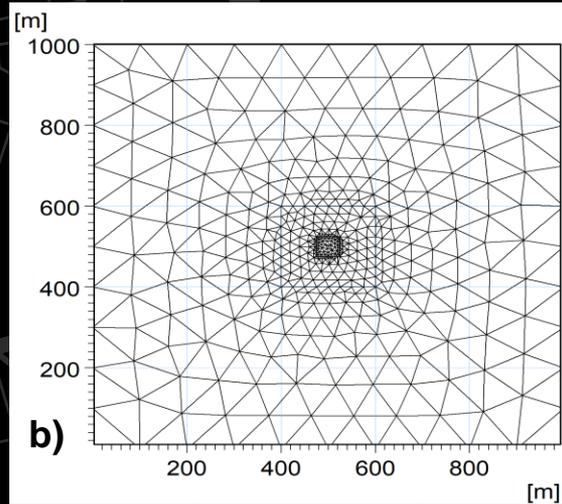
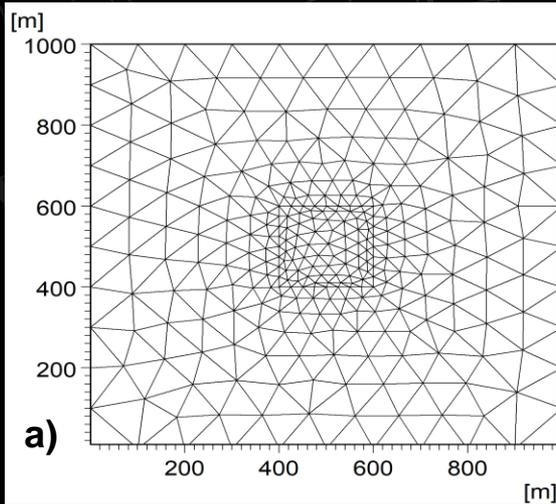
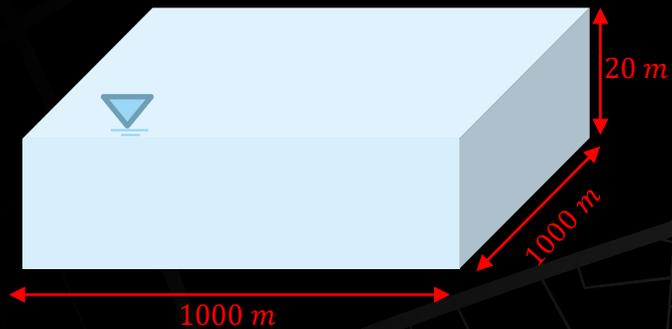
METODOLOGÍA

CONFIGURACIÓN DEL MODELO | CONDICIONES DE LA DESCARGA



METODOLOGÍA

DISCRETIZACIÓN ESPACIAL



METODOLOGÍA

DISCRETIZACIÓN TEMPORAL

CONDICIÓN DE COURANT

$$CFL = (\sqrt{gh} + |u|) \frac{\Delta t}{\Delta x} + (\sqrt{gh} + |v|) \frac{\Delta t}{\Delta y}$$

METODOLOGÍA

DISCRETIZACIÓN TEMPORAL

CONDICIÓN DE COURANT

$$CFL = (\sqrt{gh} + |u|) \frac{\Delta t}{\Delta x} + (\sqrt{gh} + |v|) \frac{\Delta t}{\Delta y}$$

Gravedad

Profundidad

Intervalo espacial

Velocidad en x

Velocidad en y

Intervalo espacial



METODOLOGÍA

DISCRETIZACIÓN TEMPORAL

CONDICIÓN DE COURANT

$$CFL = 0,56 \leq 0,8$$

METODOLOGÍA

CASOS A SIMULAR

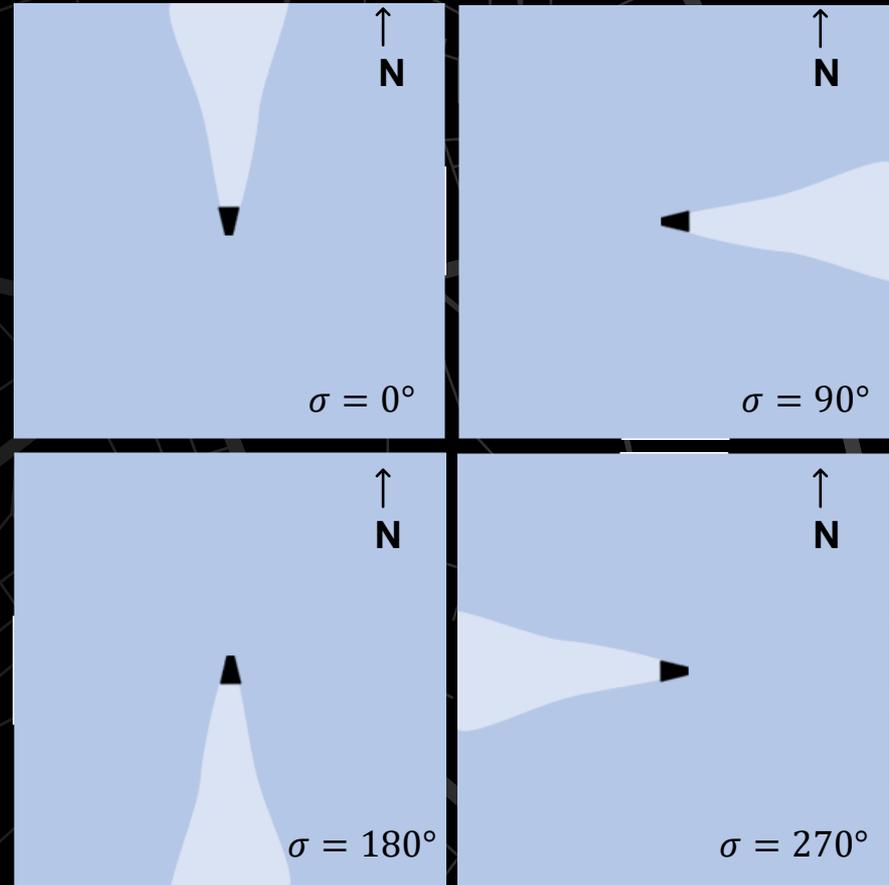
1. Velocidad de la corriente
2. Ángulo de inclinación del chorro
3. Velocidad del chorro
4. Salinidad del chorro
5. Orientación del chorro

Caso	D m	U _o m/s	Q _o m3/s	S _o psu	U _A m/s	S _A psu	σ	θ	
1	0,4	6,37	0,8	62	0,01	32,5	0	60	Velocidad corriente
2	0,4	6,37	0,8	62	0,05	32,5	0	60	
3	0,4	6,37	0,8	62	0,1	32,5	0	60	
4	0,4	6,37	0,8	62	0,15	32,5	0	60	
5	0,4	6,37	0,8	62	0,2	32,5	0	60	
6	0,4	6,37	0,8	62	0,15	32,5	0	20	Inclinación del chorro
7	0,4	6,37	0,8	62	0,15	32,5	0	40	
8	0,4	6,37	0,8	62	0,15	32,5	0	50	
9	0,4	6,37	0,8	62	0,15	32,5	0	60	
10	0,4	6,37	0,8	62	0,15	32,5	0	80	
11	0,2	25,46	0,8	62	0,15	32,5	0	60	Velocidad descarga
12	0,3	11,32	0,8	62	0,15	32,5	0	60	
13	0,4	6,37	0,8	62	0,15	32,5	0	60	
14	0,5	4,07	0,8	62	0,15	32,5	0	60	
15	0,4	6,37	0,8	49	0,15	32,5	0	60	Salinidad descarga
16	0,4	6,37	0,8	62	0,15	32,5	0	60	
17	0,4	6,37	0,8	74	0,15	32,5	0	60	
18	0,4	6,37	0,8	126	0,15	32,5	0	60	
19	0,4	6,37	0,8	62	0,15	32,5	0	60	Dirección del chorro
20	0,4	6,37	0,8	62	0,15	32,5	90	60	
21	0,4	6,37	0,8	62	0,15	32,5	180	60	
22	0,4	6,37	0,8	62	0,15	32,5	270	60	

METODOLOGÍA

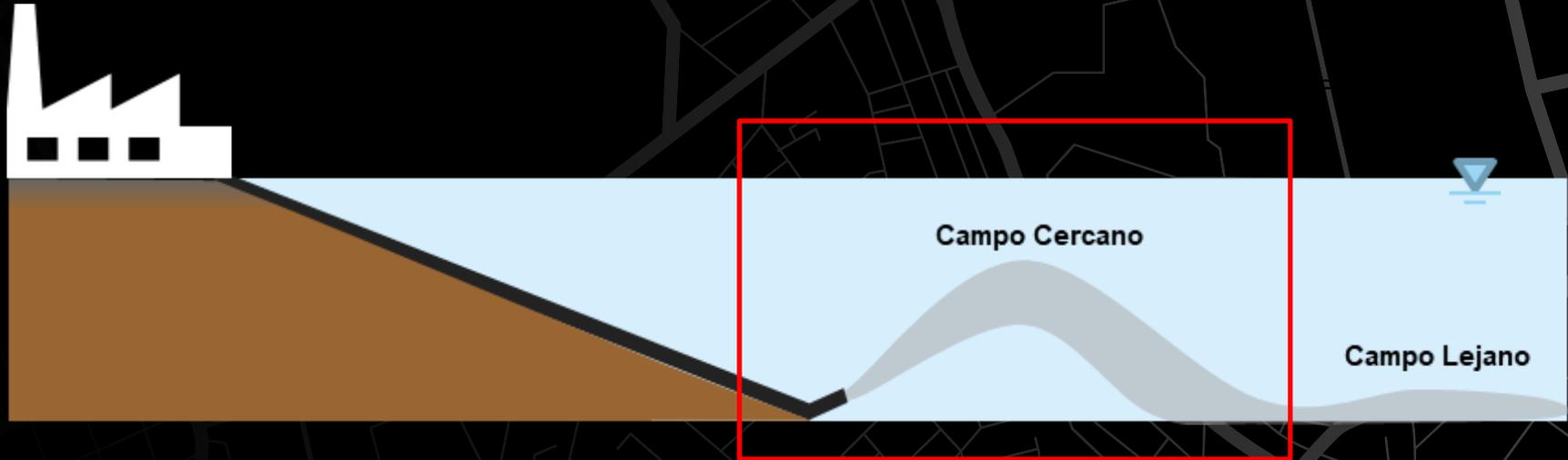
CASOS A SIMULAR

1. Velocidad de la corriente
2. Ángulo de inclinación del chorro
3. Velocidad del chorro
4. Salinidad del chorro
5. **Orientación del chorro**



METODOLOGÍA

ANÁLISIS COMPARATIVO | CAMPO CERCAÑO



METODOLOGÍA

ANÁLISIS COMPARATIVO | CAMPO CERCANO

Parámetros a comparar:

- Alcance máximo horizontal
- Dilución

Caso N°	X m	Dilución
1	18,3	
2	19,24	30,91
3	21,03	32,66
4	23,18	36,16
5	25,4	42,25
6	18,21	18,1
7	24,07	29,1
8	24,31	33,2
9	23,18	36,1
10	17,09	36,7
11	72,37	234
12	37,05	77,7
13	23,18	36,1
14	16,07	20,02
15	32,25	52,5
16	23,18	36,1
17	18,75	28,5
18	12,04	17,09
19	23,18	36,1
20	10,59	33,9
21		
22	10,59	33,9

METODOLOGÍA

ANÁLISIS COMPARATIVO | CAMPO CERCANO

Parámetros a comparar:

- Alcance máximo horizontal
- Dilución

“el impulso de descarga se opone a la dirección de la corriente del medio receptor, esto conduce a complicados patrones de recirculación y acumulación de concentración en el campo cercano. Esta situación es difícil analizar y también constituye a un diseño inestable”.

Caso N°	X m	Dilución
1	18,3	
2	19,24	30,91
3	21,03	32,66
4	23,18	36,16
5	25,4	42,25
6	18,21	18,1
7	24,07	29,1
8	24,31	33,2
9	23,18	36,1
10	17,09	36,7
11	72,37	234
12	37,05	77,7
13	23,18	36,1
14	16,07	20,02
15	32,25	52,5
16	23,18	36,1
17	18,75	28,5
18	12,04	17,09
19	23,18	36,1
20	10,59	33,9
21		
22	10,59	33,9

METODOLOGÍA

ANÁLISIS COMPARATIVO | CAMPO CERCANO

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON

$$r = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$$

Desviación Estándar de x → ← Corvarianza ← Desviación Estándar de y

METODOLOGÍA

ANÁLISIS COMPARATIVO | CAMPO LEJANO

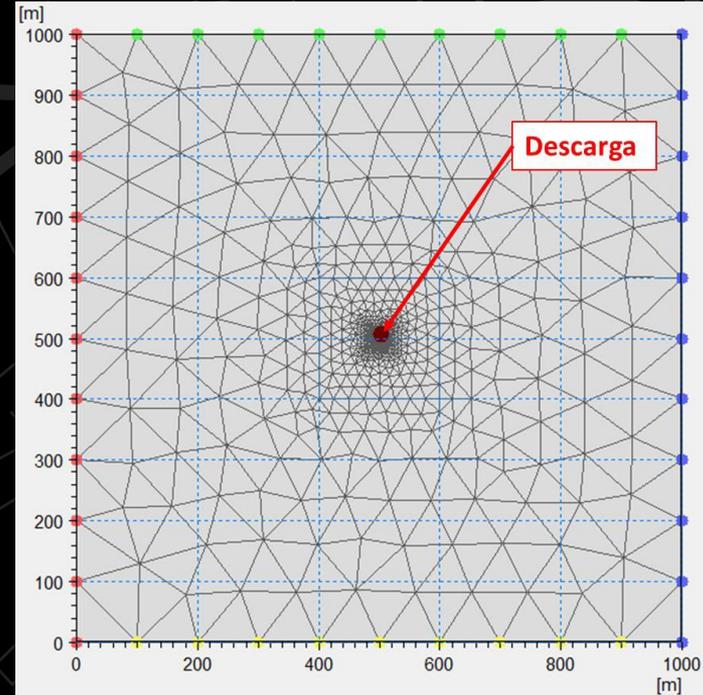


METODOLOGÍA

ANÁLISIS COMPARATIVO | CAMPO LEJANO

Coordenadas de la descarga

$x: 503,83 \text{ m}$
 $y: 507,19 \text{ m}$
 $z: -19,5 \text{ m}$

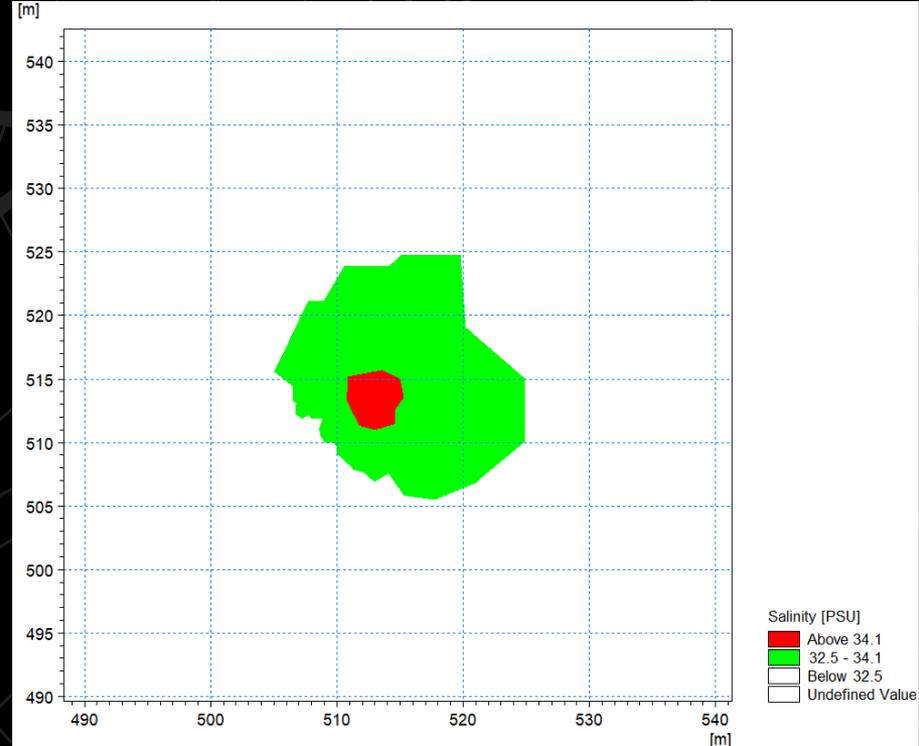


METODOLOGÍA

ANÁLISIS COMPARATIVO | CAMPO LEJANO

Área de influencia

“el lugar geométrico, visto en planta, donde se exceden límites máximos admisibles de variables como la salinidad en la columna de agua” (Winckler 2021)



METODOLOGÍA

ANÁLISIS COMPARATIVO | CAMPO LEJANO

Coordenadas de la descarga

$x: 503,83 \text{ m}$

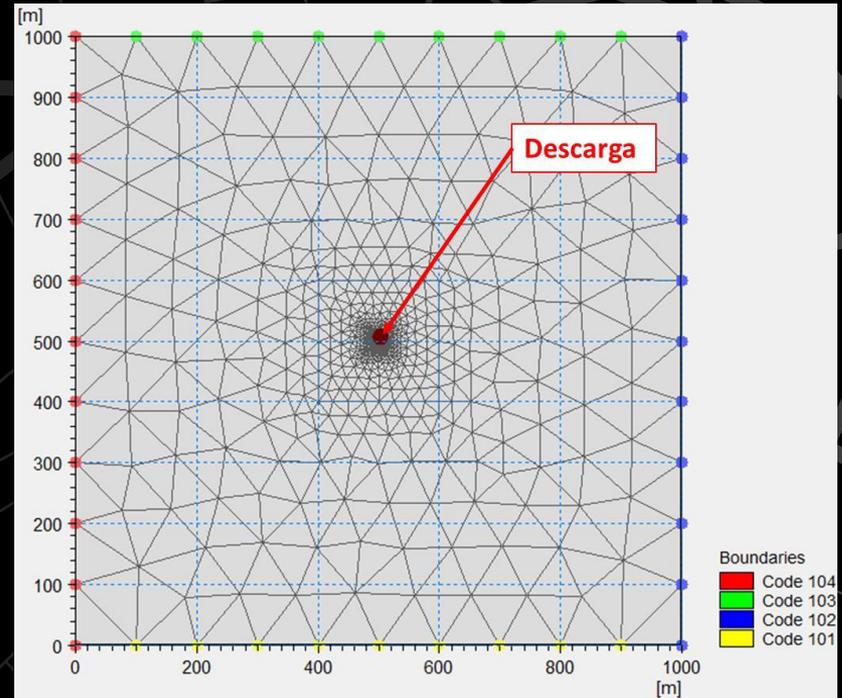
$y: 507,19 \text{ m}$

$z: -19,5 \text{ m}$

NORMATIVA AUSTRALIANA

5% exceso de salinidad

Límite admisible = 34,125 PSU





RESULTADOS

RESULTADOS

CAMPO CERCAÑO | MIKE

VELOCIDAD DEL MEDIO:

- Menor distancia alcanzada
- Dilución presenta variaciones mayores

INCLINACIÓN DEL CHORRO:

- Mayor distancia alcanzada
- Dilución aumenta a medida que se incrementa la inclinación

Caso N°	X m	Dilución	Variación con respecto al caso base	
			X m	Dilución
1	16,83	15,39	27%	48%
2	18,11	17,95	22%	40%
3	20,30	22,84	12%	23%
4	23,08	29,69	0%	0%
5	26,36	37,72	14%	27%
6	15,59	9,64	32%	68%
7	20,84	20,81	10%	30%
8	22,53	26,16	2%	12%
9	23,08	29,69	0%	0%
10	19,46	29,77	16%	0%
11	69,16	205,81	200%	593%
12	35,74	65,59	55%	121%
13	23,08	29,69	0%	0%
14	16,83	16,45	27%	45%
15	33,87	49,13	47%	66%
16	23,08	29,69	0%	0%
17	18,90	22,52	18%	24%
18	12,58	12,58	45%	58%
19	23,08	29,69	0%	0%
20	15,95	26,20	31%	12%
21				
22	15,46	26,20	33%	12%

RESULTADOS

CAMPO CERCAÑO | MIKE

VELOCIDAD DE DESCARGA:

- Menor velocidad, menor distancia y dilución
- Caso N°11

SALINIDAD DEL CHORRO:

- Relación inversamente proporcional

Caso N°	X m	Dilución	Variación con respecto al caso base	
			X m	Dilución
1	16,83	15,39	27%	48%
2	18,11	17,95	22%	40%
3	20,30	22,84	12%	23%
4	23,08	29,69	0%	0%
5	26,36	37,72	14%	27%
6	15,59	9,64	32%	68%
7	20,84	20,81	10%	30%
8	22,53	26,16	2%	12%
9	23,08	29,69	0%	0%
10	19,46	29,77	16%	0%
11	69,16	205,81	200%	593%
12	35,74	65,59	55%	121%
13	23,08	29,69	0%	0%
14	16,83	16,45	27%	45%
15	33,87	49,13	47%	66%
16	23,08	29,69	0%	0%
17	18,90	22,52	18%	24%
18	12,58	12,58	45%	58%
19	23,08	29,69	0%	0%
20	15,95	26,20	31%	12%
21				
22	15,46	26,20	33%	12%

RESULTADOS

CAMPO CERCANO | MIKE

ORIENTACIÓN DE LA DESCARGA:

Mayor distancia en el caso base ($\sigma = 0^\circ$)

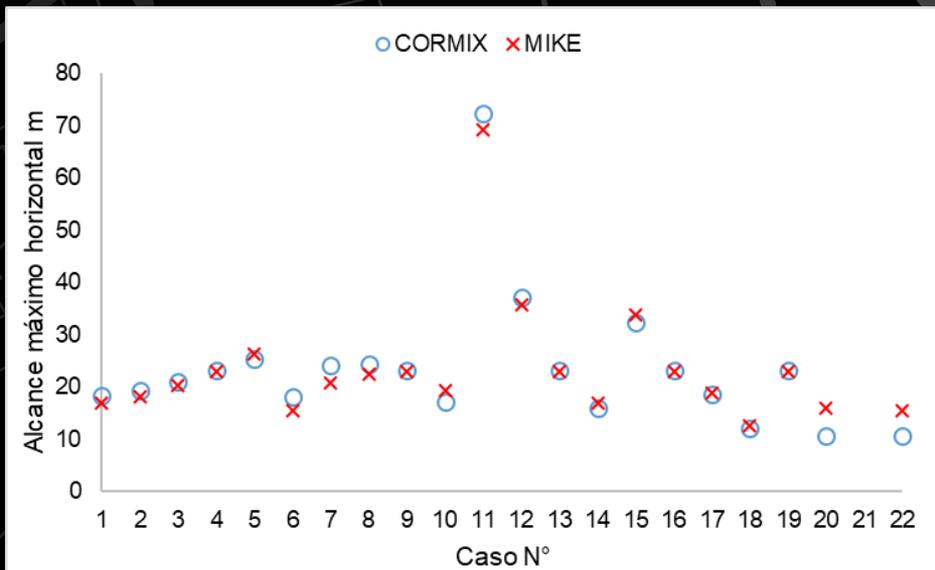
Caso N°	X m	Dilución	Variación con respecto al caso base	
			X m	Dilución
1	16,83	15,39	27%	48%
2	18,11	17,95	22%	40%
3	20,30	22,84	12%	23%
4	23,08	29,69	0%	0%
5	26,36	37,72	14%	27%
6	15,59	9,64	32%	68%
7	20,84	20,81	10%	30%
8	22,53	26,16	2%	12%
9	23,08	29,69	0%	0%
10	19,46	29,77	16%	0%
11	69,16	205,81	200%	593%
12	35,74	65,59	55%	121%
13	23,08	29,69	0%	0%
14	16,83	16,45	27%	45%
15	33,87	49,13	47%	66%
16	23,08	29,69	0%	0%
17	18,90	22,52	18%	24%
18	12,58	12,58	45%	58%
19	23,08	29,69	0%	0%
20	15,95	26,20	31%	12%
21				
22	15,46	26,20	33%	12%

RESULTADOS

CAMPO CERCAÑO | MIKE-CORMIX

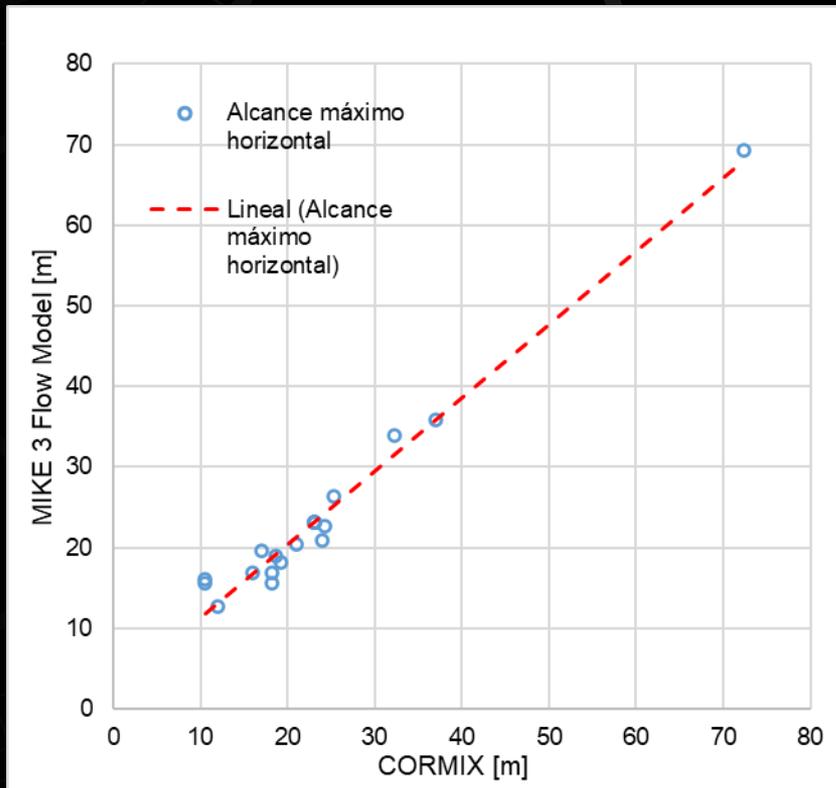
ALCANCE MÁXIMO HORIZONTAL

- Mayor alcance: Caso N°11
- Resultados de MIKE similares a CORMIX
- Las diferencias no superan el 10%
- Alcances de MIKE menor a los de CORMIX



RESULTADOS

CAMPO CERCANO | MIKE-CORMIX

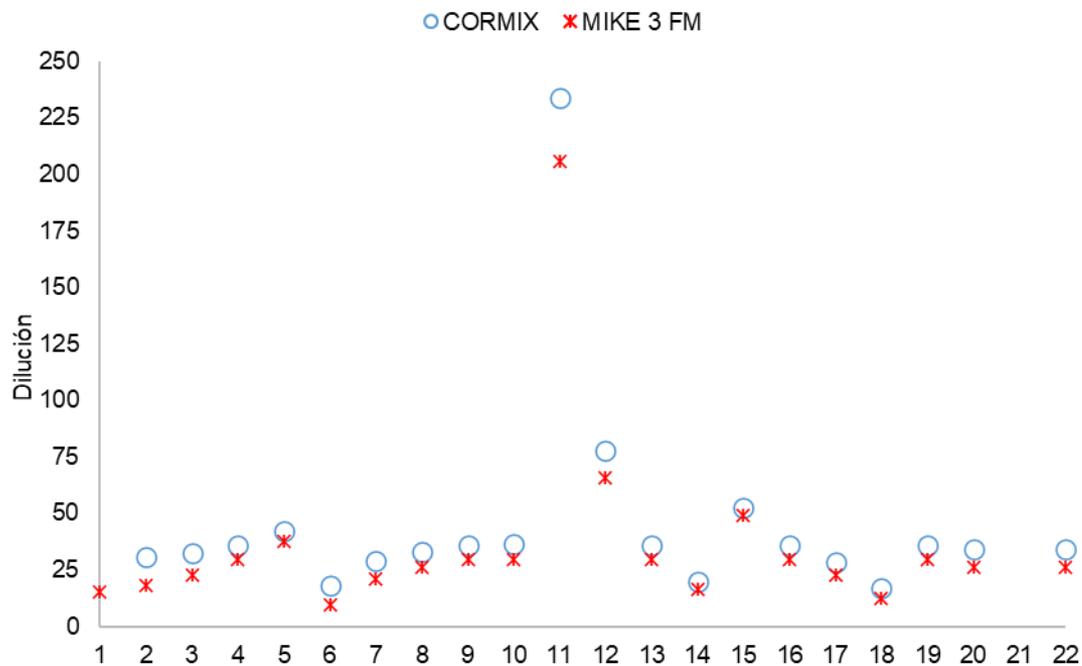


COEFICIENTE DE
CORRELACIÓN DE PEARSON

$$r = 0,987$$

RESULTADOS

CAMPO CERCANO | MIKE-CORMIX



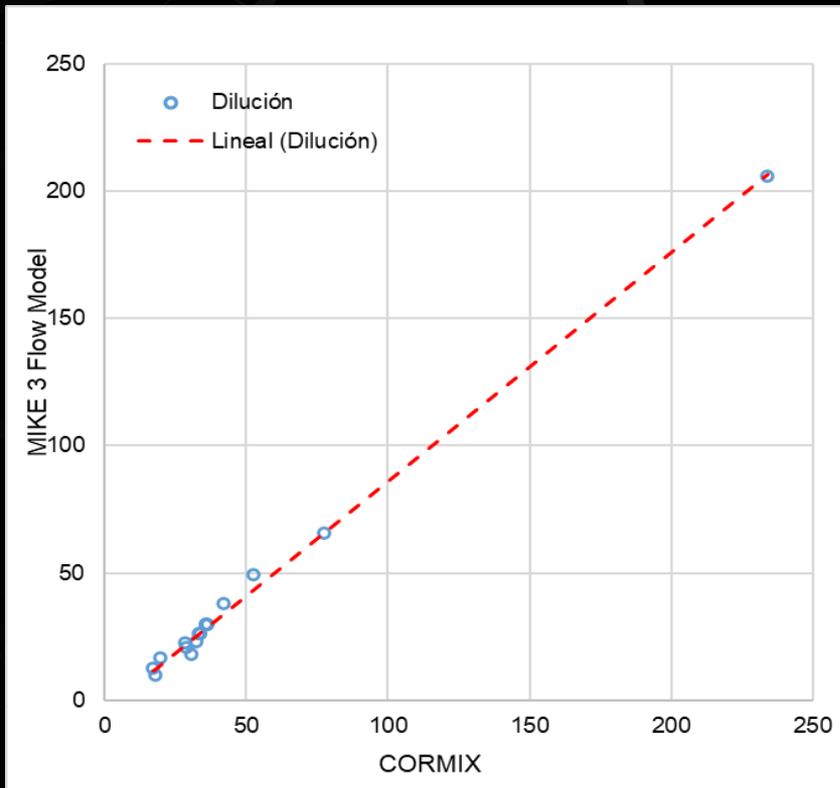
DILUCIÓN

Disminución de salinidad por volumen de agua de mar

- Máxima dilución Caso N°11
- Diluciones de MIKE < CORMIX

RESULTADOS

CAMPO CERCANO | MIKE-CORMIX



DILUCIÓN

Coeficiente de correlación de Pearson

$$r = 0,998$$



RESULTADOS

CAMPO CERCAÑO | MIKE-CORMIX

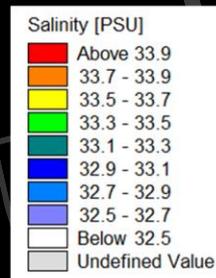
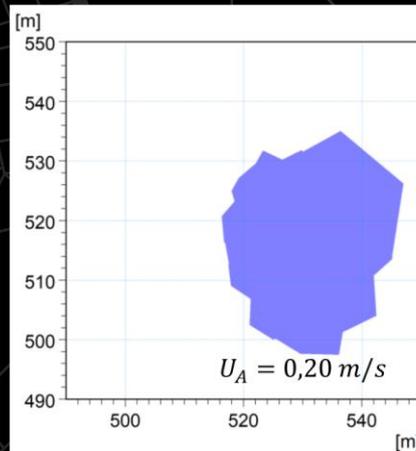
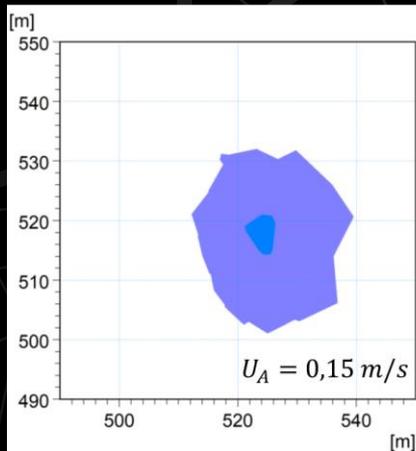
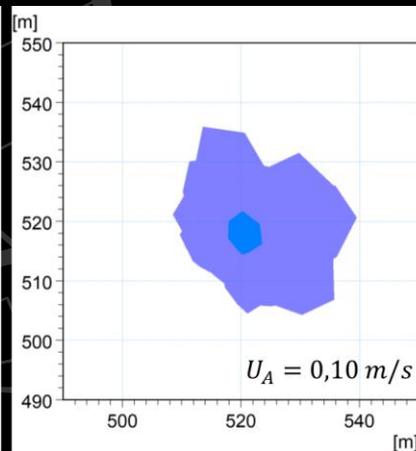
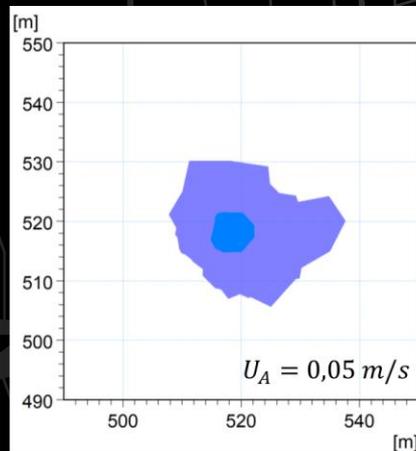
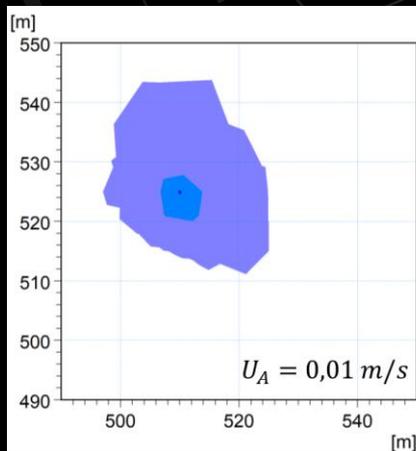
En ciertos casos la salinidad máxima admisible según la normativa utilizada se logra en la zona de campo cercano, por lo que no es posible visualizarlo gráficamente con MIKE

RESULTADOS

CAMPO LEJANO

VELOCIDAD DEL MEDIO

- Desplazamiento hacia la izquierda a medida que la velocidad aumenta.
- Área de influencia en el campo cercano.
- Parámetro de la zona de emplazamiento.

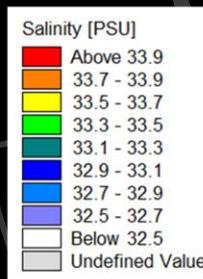
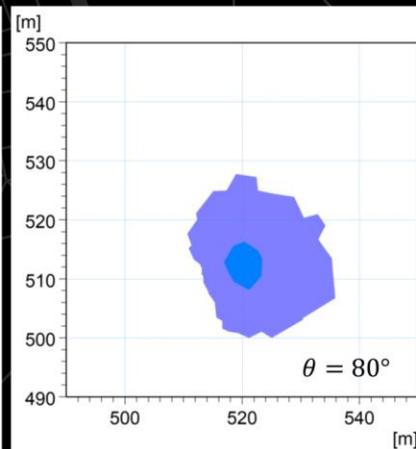
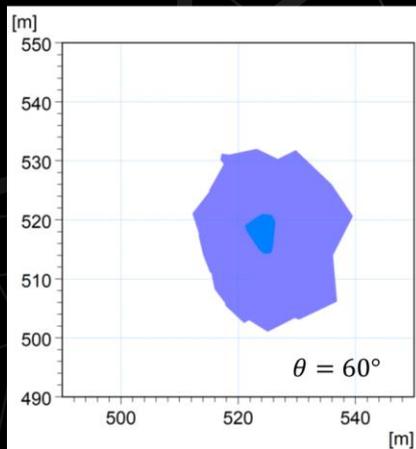
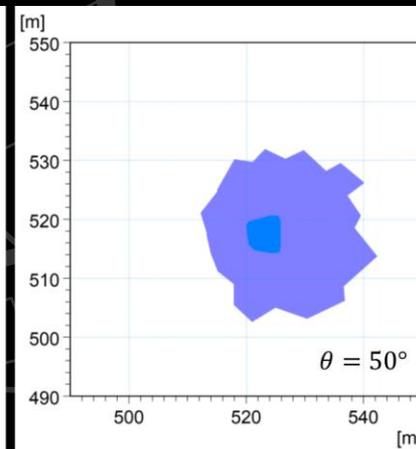
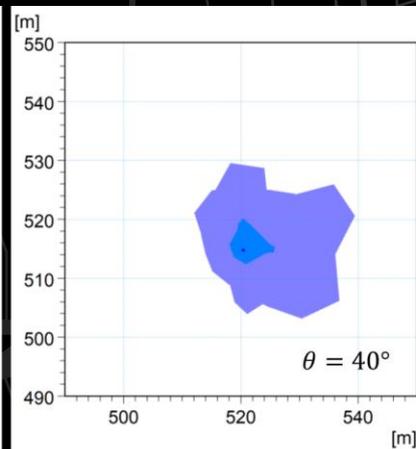
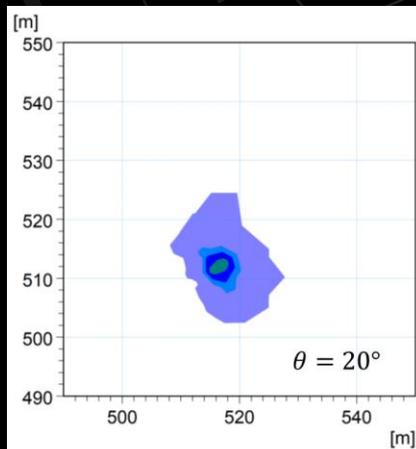


RESULTADOS CAMPO LEJANO

INCLINACIÓN DEL CHORRO

$\theta = 20$ presenta salinidades mayores

No se producen grandes desplazamientos.

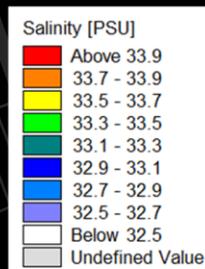
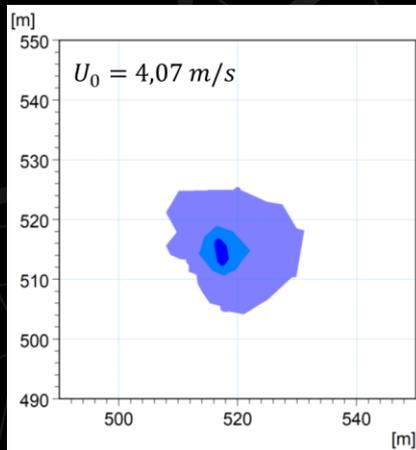
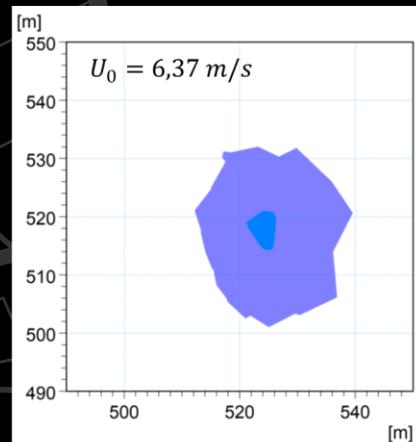
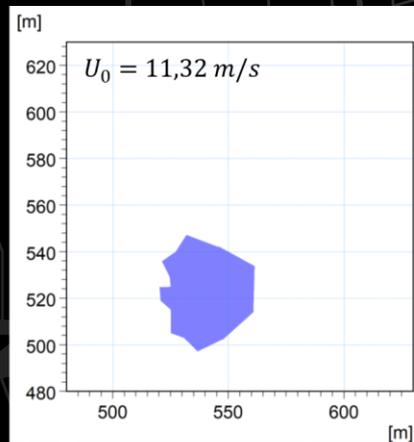
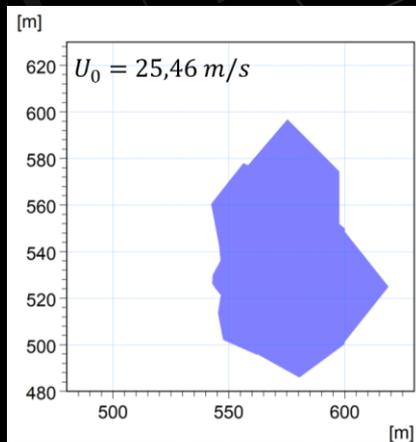


RESULTADOS

CAMPO LEJANO

VELOCIDAD DE DESCARGA

- Tamaño del área hipersalina
- Desplazamiento significativo
- Buena dilución

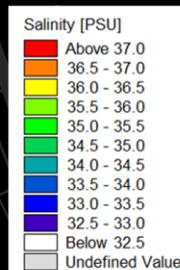
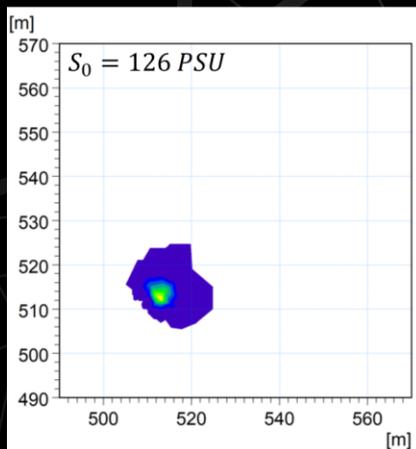
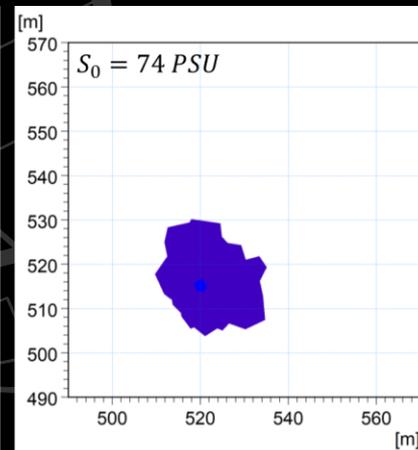
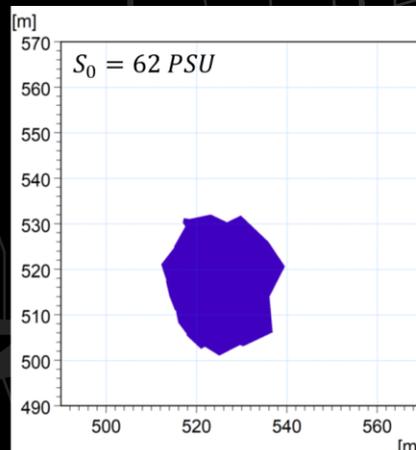
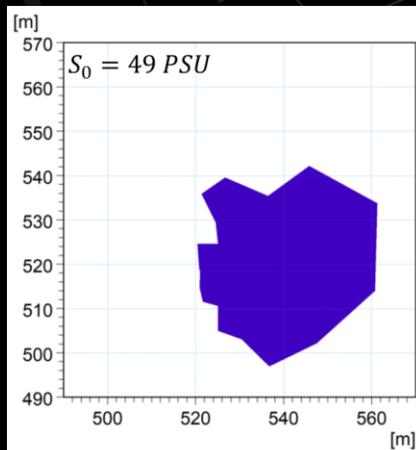


RESULTADOS CAMPO LEJANO

SALINIDAD DE DESCARGA

Desplazamiento va disminuyendo

Área hipersalina disminuye a medida que aumenta la salinidad de descarga

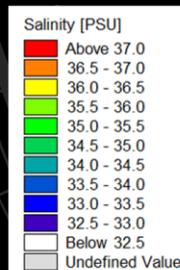
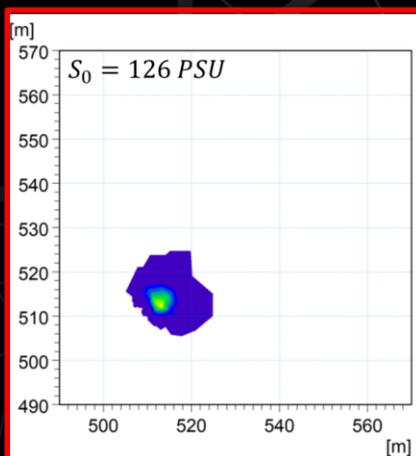
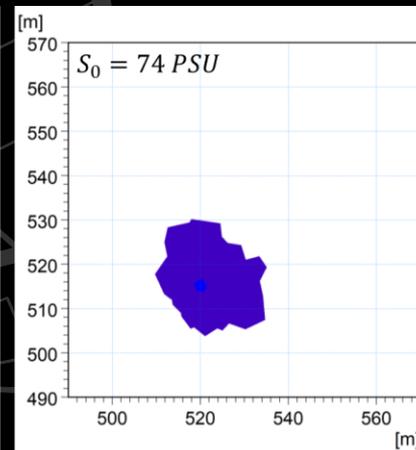
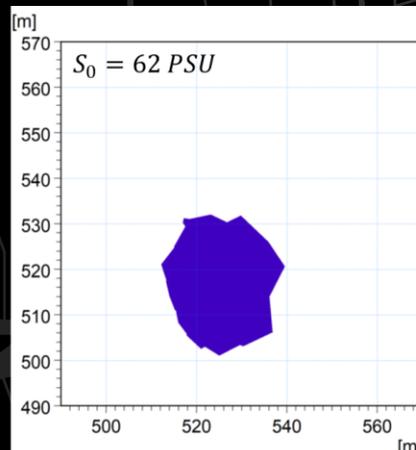
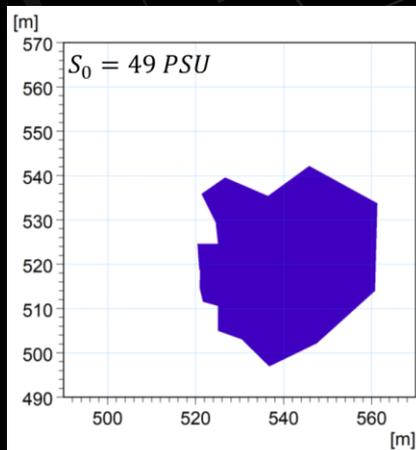


RESULTADOS CAMPO LEJANO

SALINIDAD DE DESCARGA

Desplazamiento va disminuyendo

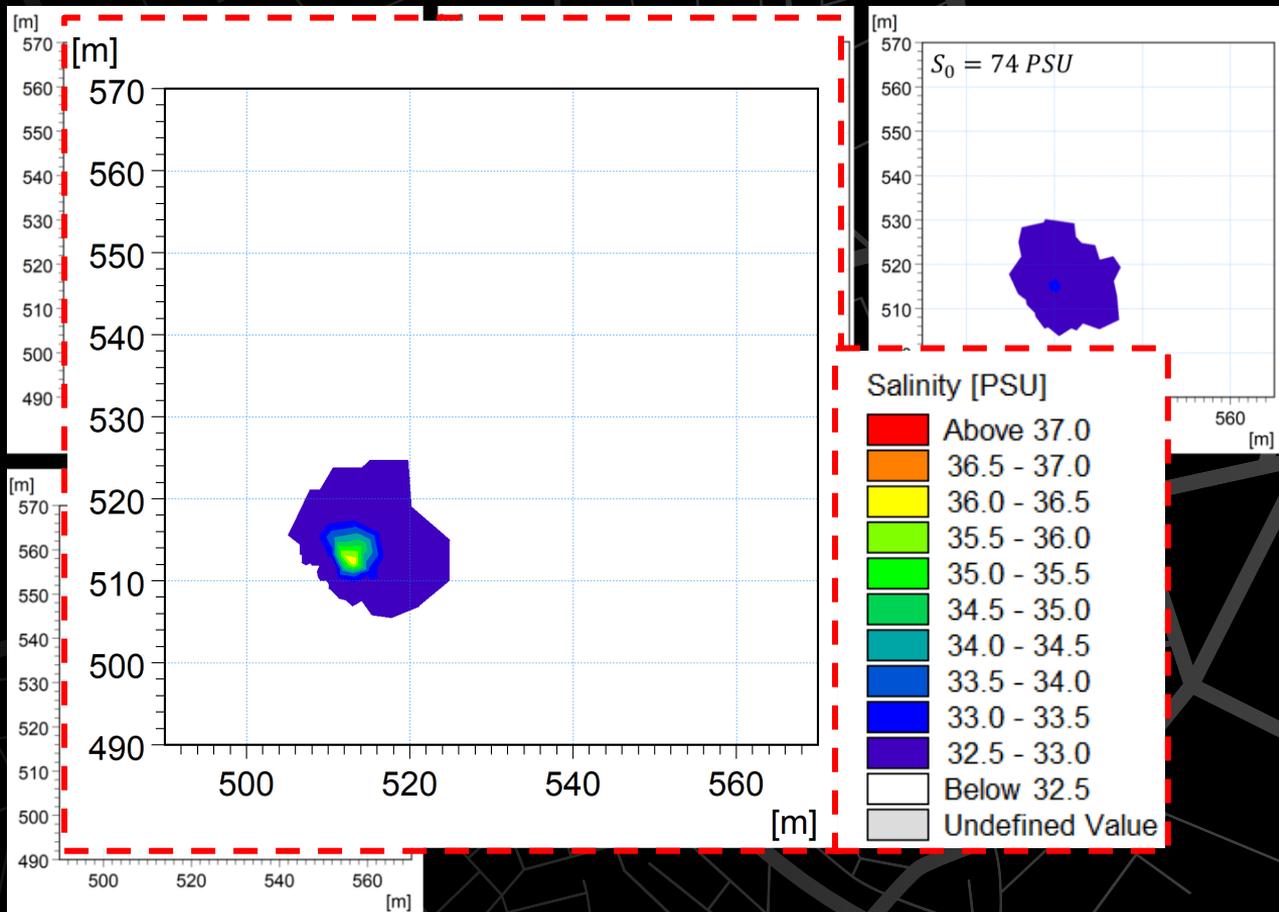
Área hipersalina disminuye a medida que aumenta la salinidad de descarga



RESULTADOS CAMPO LEJANO

SALINIDAD DE DESCARGA

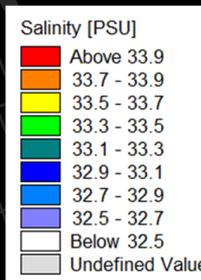
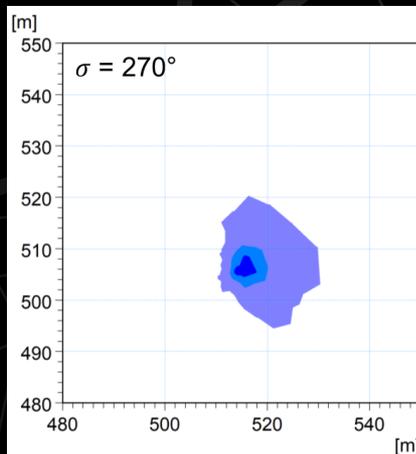
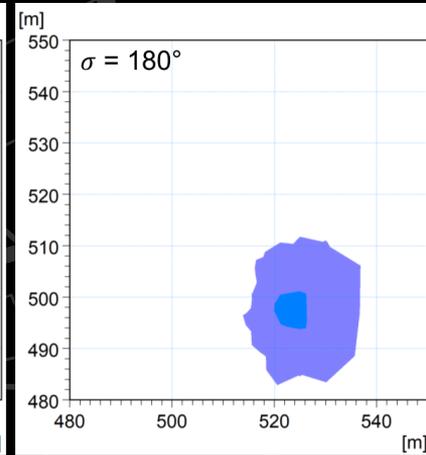
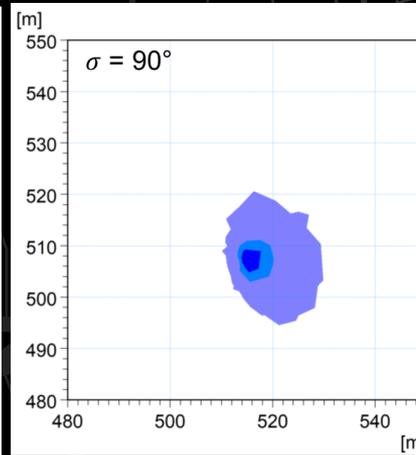
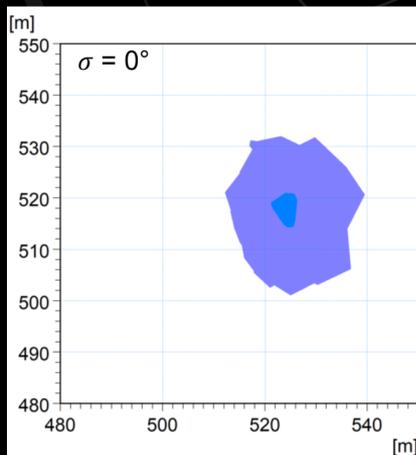
- Se excede lo permisible por la normativa
- Pluma más grande y salina.
- Menor desplazamiento
- Caso ficticio.



RESULTADOS CAMPO LEJANO

ORIENTACIÓN DEL CHORRO

- $\sigma = 180^\circ$ lanzamiento hacia el sur
- Corriente paralela menor dilución

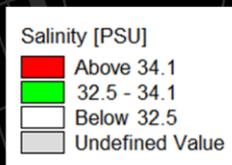
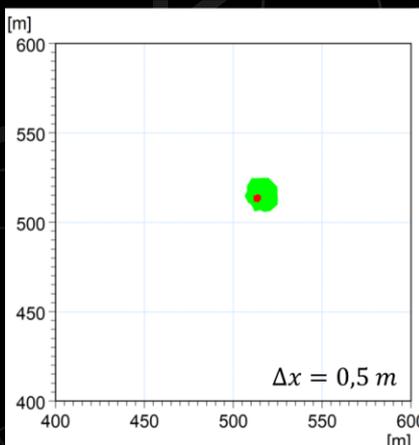
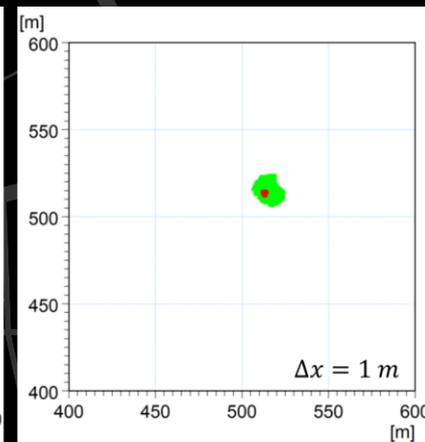
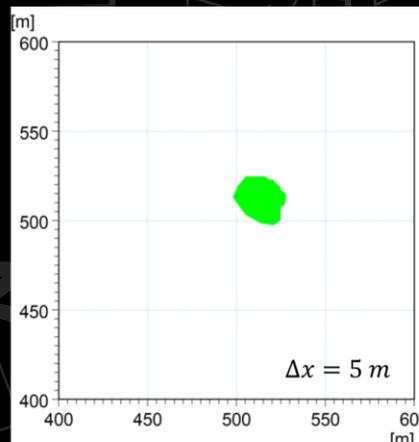
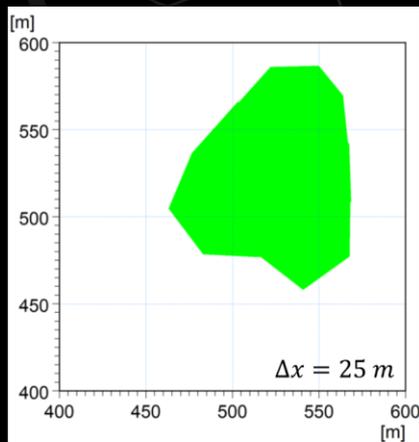


RESULTADOS

ÁREA DE INFLUENCIA

CASO Nº 18

Área hipersalina
disminuye a medida que
los elementos de las
mallas se hacen más
pequeños
Incrementos de salinidad

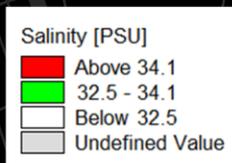
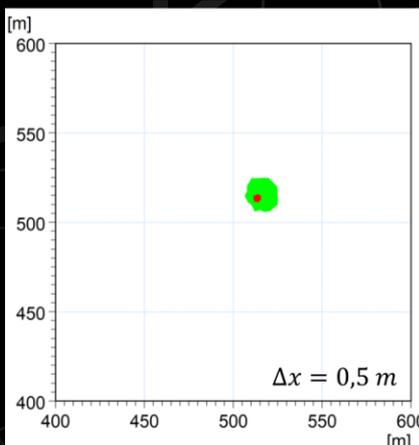
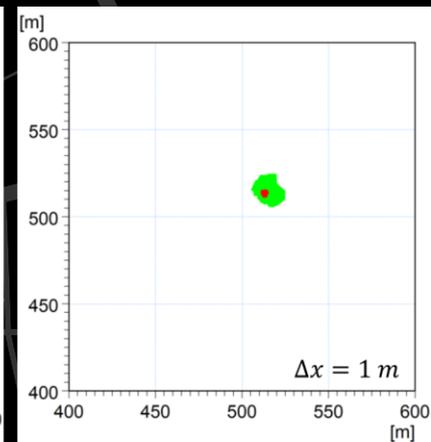
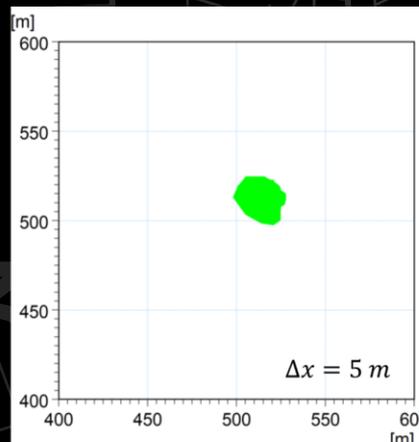
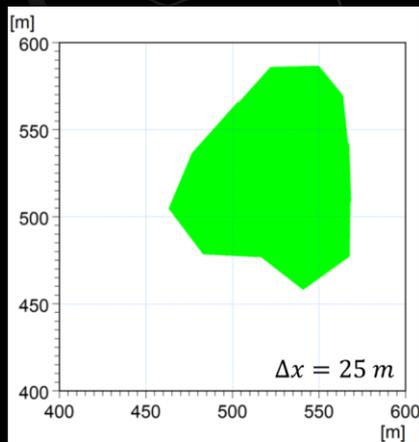


RESULTADOS

ÁREA DE INFLUENCIA

CASO Nº 18

Test de convergencia para asegurar que el tamaño de la grilla y el intervalo temporal son adecuados.





CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- Variables más influyente en la dilución son la velocidad e inclinación del chorro.
- Variables propias en la descarga tienen más influencia en la dilución en campo cercano.
- Coeficiente de correlación: $r = 0,987$ y $r = 0,998$.
- Se recomienda profundizar en los parámetros (viscosidad, temperatura, coeficiente de difusión) que se han dejado por defecto.
- Mayor desplazamiento se genera por:
 - Aumento en la velocidad del medio
 - Aumento de la salinidad

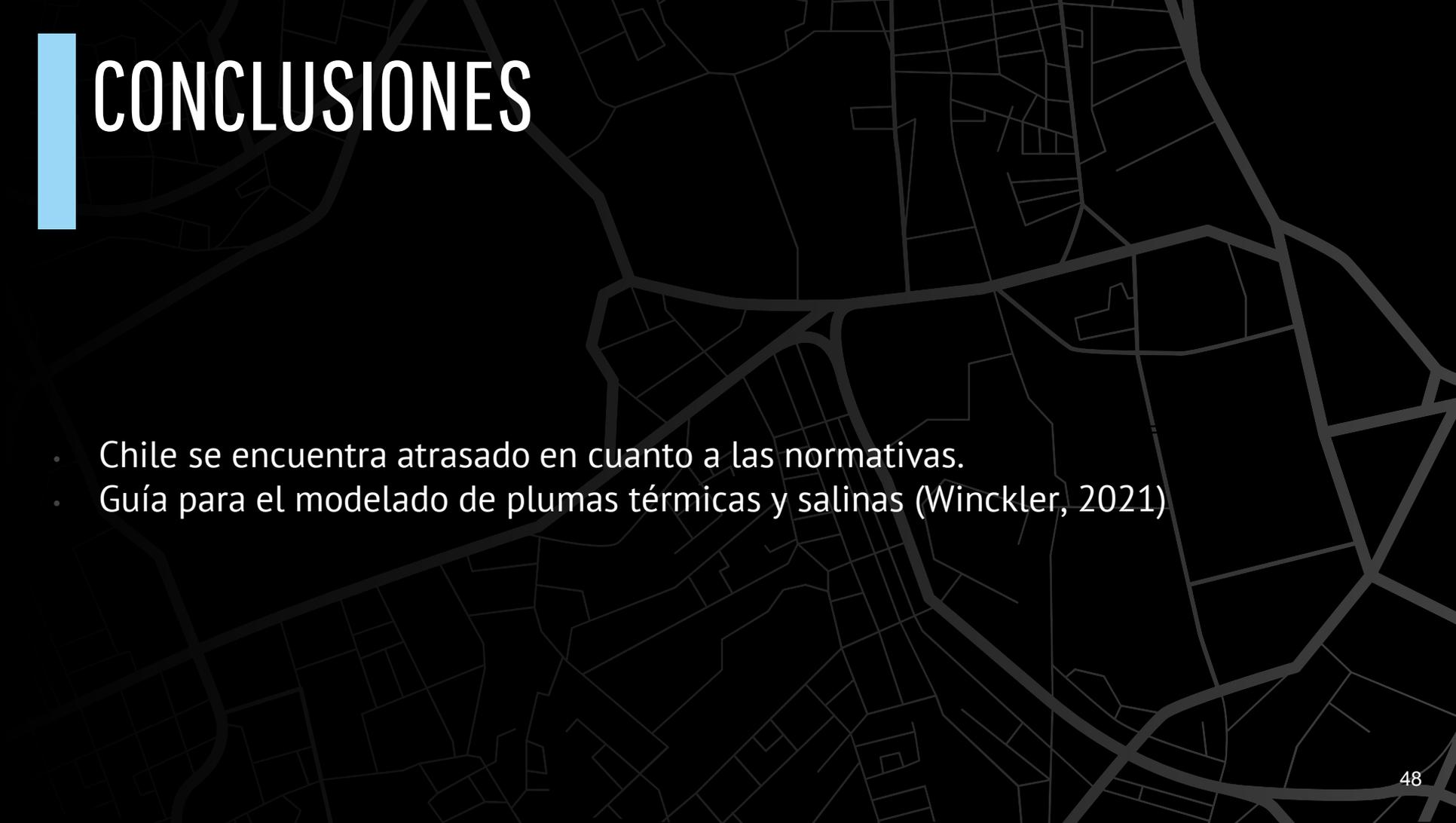


CONCLUSIONES

- Menor será el área de influencia, mejor impacto ambiental.

RECOMENDACIONES

- MIKE resuelve el campo cercano de forma interna y entrega datos de dilución, posición en x , y y z al fin de éste.
- CORMIX es capaz de predecir, visualizar y simular la trayectoria, forma, concentración y dilución de este campo.
- Solicitar test de convergencia de la resolución de la malla y el tiempo de simulación.



CONCLUSIONES

- Chile se encuentra atrasado en cuanto a las normativas.
- Guía para el modelado de plumas térmicas y salinas (Winckler, 2021)



CÁLCULO DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA PLUMA DE DESCARGA DE UNA DESALADORA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL OCEÁNICA

PAULA TATÁN MONTECINO
Enero 2023