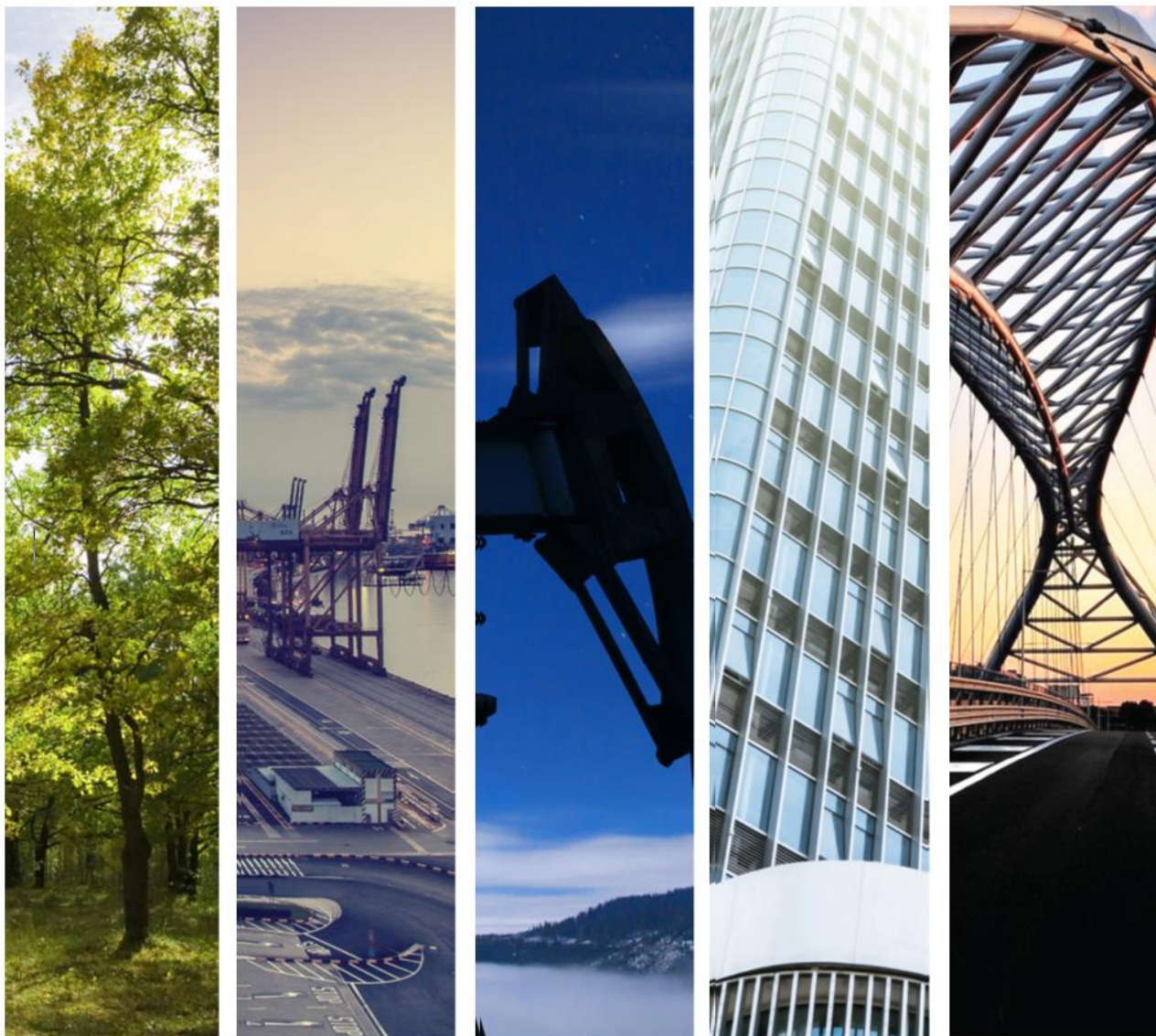




**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL
PLANTA DE FERTILIZANTES FERTIL PAMPA
PUERTO DE BAHÍA BLANCA**

ADENDA

**ANEXO II: Modelación de la Descarga en el Canal Principal de
la Ría de Bahía Blanca**

Julio 2026

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL
PLANTA DE FERTILIZANTES FERTIL PAMPA
PUERTO DE BAHÍA BLANCA

ADENDA

ANEXO II: MODELACIÓN DE LA DESCARGA EN EL CANAL PRINCIPAL DE LA RÍA
DE BAHÍA BLANCA

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	8
2	ALCANCE	8
3	DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA	10
3.1	DOCUMENTACIÓN DE PROYECTO	10
3.2	REFERENCIAS TÉCNICAS	10
4	SISTEMA DE DESCARGA PREDIMENSIONADO	11
5	CRITERIOS DE DISEÑO	12
5.1	CONDICIONES DE DESCARGA DE LA PLANTA DE FERTILIZANTES	12
5.2	CAUDALES DE DISEÑO	13
5.3	NIVELES DE DISEÑO	13
5.4	TOPOBATIMETRÍA	15
5.5	VELOCIDADES DE DISEÑO	15
6	CONFIGURACIÓN DE LA EXPLOTACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO BIDIMENSIONAL	15
7	ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA DISTANCIA A LA COSTA DE LA ZONA DE DESCARGA	16
8	DISEÑO PRELIMINAR DEL SISTEMA	22
8.1	UBICACIÓN DEL EMISARIO	22
8.2	SISTEMA EMISARIO – DIFUSOR	23
9	MODELIZACIÓN DEL CAMPO CERCANO DEL DIFUSOR	26



9.1	OBJETIVO	26
9.2	ALCANCE	26
9.3	HIPÓTESIS Y LIMITACIONES	26
9.4	MARCO TEÓRICO	26
9.4.1	Fenomenología de Descargas Densas	26
9.4.2	Flujos Cinemáticos en el Puerto	26
9.4.3	Número de Froude Densimétrico	27
9.4.4	Escalas Características de Longitud	27
9.4.5	Escalas para Condiciones de Marea no Estacionarias	29
9.4.6	Dilución y Trazador	29
9.5	DATOS DE ENTRADA	30
9.5.1	Caracterización del Cuerpo Receptor	30
9.5.2	Caracterización del Efluente	31
9.5.3	Geometría del Difusor	31
9.5.4	Modelación e Implementación	33
9.5.5	Tabla Resumen de Escenarios	33
9.5.6	Parámetros Comunes a todos los Escenarios	33
9.5.7	Lectura Sugerida de la Matriz de Sensibilidad	34
9.6	RESULTADOS	34
9.6.1	Clasificación de Flujo y Trayectoria	34
9.6.2	Dilución y Extensión del Campo Cercano	35
9.6.3	Análisis de Sensibilidad	38
10	MODELIZACIÓN DEL CAMPO LEJANO DE LA PLUMA EN 3D	39
10.1	CONFIGURACIÓN DEL MODELO 3D	39
10.2	ANÁLISIS SEGÚN LONGITUD DEL DIFUSOR	41
10.2.1	Escenario Verano	41
10.2.2	Escenario Invierno	46
10.3	COMPARACIÓN CON COEFICIENTE DE DISPERSIÓN ESCALADO SEGÚN VISCOSIDAD	47

10.3.1	Conclusiones sobre la Longitud del Difusor	48
11	INFLUENCIA DE LA DESCARGA DEL EFLUENTE CON SALINIDAD INCREMENTADA	49
11.1	SERIES TEMPORALES DE LAS DIFERENCIAS ENTRE ESCENARIOS BASE Y CON DESCARGA	51
11.1.1	Escenario de Invierno	51
11.1.2	Escenario de Verano	59
11.2	DISTRIBUCIONES EN PLANTA DE LAS DIFERENCIAS ENTRE ESCENARIOS BASE Y CON DESCARGA	67
11.2.1	Escenario de Invierno	67
11.2.2	Escenario de Verano	72
12	CONCLUSIONES	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Layout sistema de descarga proyectado – Planta Fertil Pampa	11
Figura 2.	Distribución acumulada de frecuencias para el registro completo de mareas en la estación Ingeniero White (cero SHN – 0 LAT).	13
Figura 3.	MDE utilizado para la totalidad del área de modelación referido al Cero IGN.	17
Figura 4.	Descarga a 50 m del macizo. Pluma durante el instante de máxima concentración salina en la zona de la Toma CPB.	18
Figura 5.	Descarga a 50 m del macizo. Salinidad en la Toma CPB a lo largo de 30 días de corrida en verano.	18
Figura 6.	Descarga a 70 m del macizo. Pluma durante el instante de máxima concentración salina en la zona de la Toma CPB.	19
Figura 7.	Descarga a 70 m del macizo. Salinidad en la Toma CPB a lo largo de 30 días de corrida en verano.	19
Figura 8.	Descarga a 90 m del macizo. Pluma durante el instante de máxima concentración salina en la zona de la Toma CPB.	20
Figura 9.	Descarga a 90 m del macizo. Salinidad en la Toma CPB a lo largo de 30 días de corrida en verano.	20
Figura 10.	Descarga a 110 m del macizo. Pluma durante el instante de máxima concentración salina en la zona de la Toma CPB.	21
Figura 11.	Descarga a 110 m del macizo. Salinidad en la Toma CPB a lo largo de 30 días de corrida en verano.	21
Figura 12.	Ubicación del emisario submarino.	22
Figura 13.	Perfil topobatimétrico correspondiente al trazado del emisario.	23
Figura 14.	Detalle del perfil topobatimétrico del emisario en la zona de difusión.	23
Figura 15.	Esquema del sistema difusor proyectado.	25
Figura 16.	Escalas características de longitud en descargas sumergidas (análisis dimensional CORMIX).	28
Figura 17.	Ubicación en planta del emisario y estimación de pendientes del lecho.	30
Figura 18.	Geometría característica de los puertos del difusor modelado.	32
Figura 19.	Pantalla de parámetros de ingreso del difusor en el modelo CORMIX.	32
Figura 20.	Clase D-CORMIX: MNU4 — descarga densa multipuerto en corriente cruzada.	35

Figura 21. Resultados para el Escenario Base Verano (Caso 0).	36
Figura 22. Resultados para el Escenario Invierno (Caso 0i).	36
Figura 23. Comparación de dilución alcanzada para diferentes escenarios de L_D	37
Figura 24. Comparación del espesor vertical y semiancho horizontal alcanzados para diferentes escenarios de L_D	37
Figura 25. Comparación de dilución alcanzada para diferentes escenarios de Sensibilidad	38
Figura 26. Comparación del espesor vertical y semiancho horizontal alcanzados para diferentes escenarios de Sensibilidad	39
Figura 27. MDE utilizado para el modelo 3D referido al Cero IGN.	40
Figura 28. Condiciones de profundidad y velocidad promedio en la zona del difusor de la descarga cuando el pico de salinidad pasa por la Toma.	40
Figura 29. Escenario Verano con Difusor de 30 m. Salinidad a la altura del intradós de la toma CPB.	41
Figura 30. Escenario Verano con Difusor de 30 m. Perfil a lo largo del eje de la pluma (arriba) y el perfil hasta la toma CPB (abajo).	41
Figura 31. Escenario Verano con Difusor de 20 m. Salinidad a la altura del intradós de la toma CPB.	42
Figura 32. Escenario Verano con Difusor de 20 m. Perfil a lo largo del eje de la pluma (arriba) y el perfil hasta la toma CPB (abajo).	42
Figura 33. Escenario Verano con Difusor de 13 m. Salinidad a la altura del intradós de la toma CPB.	43
Figura 34. Escenario Verano con Difusor de 13 m. Perfil a lo largo del eje de la pluma (arriba) y el perfil hasta la toma CPB (abajo).	43
Figura 35. Escenario Verano con Difusor de 6,5 m. Salinidad a la altura del intradós de la toma CPB.	44
Figura 36. Escenario Verano con Difusor de 6,5 m. Perfil a lo largo del eje de la pluma (arriba) y el perfil hasta la toma CPB (abajo).	44
Figura 37. Escenario Verano con Difusor de 3,25 m. Salinidad a la altura del intradós de la toma CPB.	45
Figura 38. Escenario Verano con Difusor de 3,25 m. Perfil a lo largo del eje de la pluma (arriba) y el perfil hasta la toma CPB (abajo).	45
Figura 39. Escenario Invierno con Difusor de 13 m. Salinidad a la altura del intradós de la toma CPB.	46
Figura 40. Escenario Invierno con Difusor de 13 m. Perfil a lo largo del eje de la pluma (arriba) y el perfil hasta la toma CPB (abajo).	46
Figura 41. Difusor de 13 m. Salinidad a la altura del intradós de la toma CPB para coeficiente de dispersión escalado según viscosidad.	47
Figura 42. Difusor de 13 m. Perfil a lo largo del eje de la pluma (arriba) y el perfil hasta la toma CPB (abajo) para coeficiente de dispersión escalado según viscosidad.	48
Figura 43. Puntos de monitoreo de los resultados de la modelación.	50
Figura 44. Salinidad obtenida en el Punto "Toma" – Escenario Invierno para descarga en el canal principal	52
Figura 45. Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto "Toma" – Escenario Invierno para descarga en el canal principal	52
Figura 46. Salinidad y Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto "Toma" – Escenario Invierno para descarga en el canal de salida de la CPB	53
Figura 47. Salinidad obtenida en el Punto "Desembocadura Napostá" – Escenario Invierno para descarga en el canal principal	53
Figura 48. Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto "Desembocadura Napostá" – Escenario Invierno para descarga en el canal principal	54
Figura 49. Salinidad y Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto "Desembocadura Napostá" – Escenario Invierno para descarga en el canal de salida de la CPB	54
Figura 50. Salinidad obtenida en el Punto "Mitad Napostá" – Escenario Invierno para descarga en el canal principal	55



Figura 51. Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto “Mitad Napostá” – Escenario Invierno para descarga en el canal principal	55
Figura 52. Salinidad y Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto “Mitad Napostá” – Escenario Invierno para descarga en el canal de salida de la CPB	56
Figura 53. Salinidad obtenida en el Punto “Canal 15 km Noroeste” – Escenario Invierno para descarga en el canal principal	56
Figura 54. Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto “Canal 15 km Noroeste” – Escenario Invierno para descarga en el canal principal	57
Figura 55. Salinidad y Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto “Canal 15 km Noroeste” – Escenario Invierno para descarga en el canal de salida de la CPB	57
Figura 56. Salinidad obtenida en el Punto “Canal 20 km Sudeste” – Escenario Invierno para descarga en el canal principal	58
Figura 57. Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto “Canal 20 km Sudeste” – Escenario Invierno para descarga en el canal principal	58
Figura 58. Salinidad y Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto “Canal 20 km Sudeste” – Escenario Invierno para descarga en el canal de salida de la CPB	59
Figura 59. Salinidad obtenida en el Punto “Toma” – Escenario Verano para descarga en el canal principal	60
Figura 60. Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto “Toma” – Escenario Verano para descarga en el canal principal	60
Figura 61. Salinidad y Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto “Toma” – Escenario Verano para descarga en el canal de salida de la CPB	61
Figura 62. Salinidad obtenida en el Punto “Desembocadura Napostá” – Escenario Verano para descarga en el canal principal	62
Figura 63. Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto “Desembocadura Napostá” – Escenario Verano para descarga en el canal principal	62
Figura 64. Salinidad y Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto “Desembocadura Napostá” – Escenario Verano para descarga en el canal de salida de la CPB	63
Figura 65. Salinidad obtenida en el Punto “Mitad Napostá” – Escenario Verano para descarga en el canal principal	63
Figura 66. Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto “Mitad Napostá” – Escenario Verano para descarga en el canal principal	64
Figura 67. Salinidad y Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto “Mitad Napostá” – Escenario Verano para descarga en el canal de salida de la CPB	64
Figura 68. Salinidad obtenida en el Punto “Canal 15 km Noroeste” – Escenario Verano para descarga en el canal principal	65
Figura 69. Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto “Canal 15 km Noroeste” – Escenario Verano para descarga en el canal principal	65
Figura 70. Salinidad y Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto “Canal 15 km Noroeste” – Escenario Verano para descarga en el canal de salida de la CPB	66
Figura 71. Salinidad obtenida en el Punto “Canal 20 km Sudeste” – Escenario Verano para descarga en el canal principal	66
Figura 72. Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto “Canal 20 km Sudeste” – Escenario Verano para descarga en el canal principal	67
Figura 73. Salinidad y Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto “Canal 20 km Sudeste” – Escenario Verano para descarga en el canal de salida de la CPB	67
Figura 74. Escenario de Invierno. Máxima excursión de la pluma de descarga hacia el interior de la ría (pleamar). Diferencias de salinidad respecto de la situación base	68
Figura 75. Escenario de Invierno. Máxima excursión de la pluma de descarga hacia la desembocadura (bajamar). Diferencias de salinidad respecto de la situación base	69
Figura 76. Escenario de Invierno. Excursión de la pluma de descarga durante el momento de máximas velocidades hacia el interior de la ría (media creciente). Diferencias de salinidad respecto de la situación base	69

Figura 77. Escenario de Invierno. Detalle de la máxima excursión de la pluma de descarga hacia el interior de la ría (pleamar). Diferencias de salinidad respecto de la situación base	70
Figura 78. Escenario de Invierno. Detalle de la máxima excursión de la pluma de descarga hacia la desembocadura (bajamar). Diferencias de salinidad respecto de la situación base	70
Figura 79. Escenario de Invierno. Detalle de la excursión de la pluma de descarga durante el momento de máximas velocidades hacia el interior de la ría (media creciente). Diferencias de salinidad respecto de la situación base	71
Figura 80. Escenario Invierno para Caudal de Estiaje. Diferencia de Envoltentes de Salinidad Máxima (Con Descarga – Base).....	71
Figura 81. Escenario Invierno para Caudal Medio. Diferencia de Envoltentes de Salinidad Máxima (Con Descarga – Base).....	72
Figura 82. Escenario de Verano. Máxima excursión de la pluma de descarga hacia el interior de la ría (pleamar). Diferencias de salinidad respecto de la situación base	73
Figura 83. Escenario de Verano. Máxima excursión de la pluma de descarga hacia la desembocadura (bajamar). Diferencias de salinidad respecto de la situación base	73
Figura 84. Escenario de Verano. Excursión de la pluma de descarga durante el momento de máximas velocidades hacia el interior de la ría (media creciente). Diferencias de salinidad respecto de la situación base	74
Figura 85. Escenario de Verano. Detalle de la máxima excursión de la pluma de descarga hacia el interior de la ría (pleamar). Diferencias de salinidad respecto de la situación base	74
Figura 86. Escenario de Verano. Detalle de la máxima excursión de la pluma de descarga hacia la desembocadura (bajamar). Diferencias de salinidad respecto de la situación base	75
Figura 87. Escenario de Verano. Detalle de la excursión de la pluma de descarga durante el momento de máximas velocidades hacia el interior de la ría (media creciente). Diferencias de salinidad respecto de la situación base	75
Figura 88. Escenario Verano para Caudal de Estiaje. Diferencia de Envoltentes de Salinidad Máxima (Con Descarga – Base).....	76
Figura 89. Escenario Verano para Caudal Medio. Diferencia de Envoltentes de Salinidad Máxima (Con Descarga – Base).....	76
Figura 90. Puntos de monitoreo de los resultados de la modelación.	79
<u>Lista de Tablas</u>	

Tabla 1. Caudales y relación de salinidad entre la toma y la descarga adoptadas	12
Tabla 2. Distribución acumulada de frecuencias – Estación Ingeniero White.....	14
Tabla 3. Niveles máximos extremos.	14
Tabla 4. Niveles mínimos extremos.....	14
Tabla 5. Niveles de Diseño.	15
Tabla 6. Resultados teóricos preliminares de desempeño del sistema difusor	25
Tabla 7. Parámetros de ingreso de la descarga en el modelo CORMIX	31
Tabla 8. Resumen de escenarios modelados con CORMIX	33
Tabla 9. Resumen comparativa para los escenarios base con variación de L_D	38
Tabla 10. Resumen comparativa para los escenarios de Sensibilidad	38
Tabla 11. Relación de salinidades en el punto de la toma.	49
Tabla 12. Relación de salinidades de fondo y promedio sobre el eje de la pluma en la sección de toma.	49
Tabla 13. Máxima diferencia de la salinidad (en PSU) a largo plazo en diferentes puntos de la ría de Bahía Blanca, para la descarga en el canal Principal (CP).	80
Tabla 14. Máxima incremento absoluto de la salinidad (en PSU) a largo plazo en diferentes puntos de la ría de Bahía Blanca, para la descarga en el canal Principal (CP).....	80



1 INTRODUCCIÓN

Se presenta a continuación la modelización matemática del impacto de la descarga en el canal principal de la ría de Bahía Blanca del agua de rechazo del proceso de desalinización efectuado por la Planta del proyecto de Fertil Pampa.

La modelización actual se apoya en los desarrollos elaborados previamente para la modelización del impacto de la descarga en el canal de salida de la Central Termoeléctrica con vertido en el canal de mareas donde desemboca el arroyo Napostá, presentadas en el Anexo 12 el Estudio de Impacto Ambiental de la Planta de Fertilizantes Fertil Pampa.

Todas las condiciones del medio acuático adoptadas, incluyendo las hipótesis de caudal y salinidad de los cauces afluentes a la ría, ocurrencia de precipitaciones, temperatura y salinidad naturales de los escenarios modelizados, son idénticas a las adoptadas en el mencionado EIA.

La calibración del modelo matemático bidimensional de la ría fue presentada en el citado Anexo 12 del EIA y en el presente estudio se mantuvieron todos los parámetros de modelación resultantes de ese proceso anterior.

Los parámetros de descarga se han modificado de acuerdo con los avances del proyecto, reduciendo el caudal de 4030 m³/hora a 2300 m³/hora, mientras que la relación entre la salinidad de entrada en la toma de la Central Piedra Buena (CPB) y la de salida en el canal principal se adopta igual a 1,5, valor muy similar a la considerada previamente que fue igual a 1,524. De esta forma, se reduce el exceso de sal descargado por unidad de tiempo a aproximadamente un 56% del valor modelado previamente.

2 ALCANCE

La modelización se realiza a través de un proceso secuencial de toma de decisiones, que se desarrolla de la siguiente manera:

Selección de la zona de descarga:

Mediante una modelización bidimensional (2D) se evaluaron 4 posiciones de descarga a diferentes distancias del “macizo” ubicado en la costa, a partir de lo cual se seleccionó para la posición del difusor la mayor distancia posible compatible con la restricción de no avanzar por delante del frente del futuro muelle a implantarse a la costa, dado que de esa forma se aleja la pluma de la línea de corriente que pasa por la toma, reduciéndose así la intensidad de la recirculación de agua con salinidad incrementada (cortocircuito).

Se utilizó para ello el software MIKE 21 HD (hidrodinámico) con el módulo de Advección – Dispersión, mediante el cual nuestra Consultora ha realizado numerosos estudios en la ría de Bahía Blanca, contando con el campo de velocidades a lo largo del ciclo de mareas calibrado por comparación con datos de corriente medidos en la zona.

Planteo y análisis de alternativas de difusor

En esta etapa, se analizó y propuso una geometría y características del tramo difusor a ser ubicado en el extremo del emisario, quedando a definir principalmente su longitud.

Modelización del campo cercano de la descarga

La modelización del campo cercano, que es la región donde la trayectoria de la pluma y su dilución inicial están condicionadas por la cantidad de movimiento del chorro de salida del difusor, se realizó mediante la aplicación el modelo CORMIX.



Este modelo se aplicó en forma estacionaria para conocer las características de la interfase entre el campo cercano y el campo lejano, en función de la longitud y diseño del difusor y se dedujeron reglas aplicables a longitudes de difusor inferiores a la mínima que el modelo permite considerar, que es igual a la profundidad de agua.

Modelización de la estructura vertical de la pluma en el campo lejano

Si bien el modelo CORMIX permite calcular la pluma en el campo lejano, no resuelve adecuadamente su dispersión vertical generada por la turbulencia, por lo que al tener mayor densidad que la del medio ambiente, si bien se dispersa lateralmente, se mantiene circulando sobre el lecho del cauce.

Para verificar en qué grado la pluma se encuentra uniformizada en el sentido vertical, de manera de comprender si es necesario, o no, considerar un factor de ajuste sobre las concentraciones promedio en la vertical que genera el modelo 2D, se implementó un modelo tridimensional (3D) del área local donde se desplaza la pluma en las condiciones hidrodinámicas correspondientes a los momentos en los cuales de la solución del modelo 2D resulta el pasaje de un pico de concentraciones en la zona de la toma de agua.

El modelo 3D se alimentó entonces con condiciones de borde de nivel y caudal extraídas de la modelización 2D, y con las condiciones de descarga en la interfase del campo cercano y lejano determinada por el modelo CORMIX, consistentes en la posición vertical de la pluma, su espesor, ancho y concentración luego de la dilución inicial en el campo cercano.

Este modelo permitió concluir que la pluma está suficientemente uniformizada en vertical cuando pasa por la sección de la toma, como para considerar válida la concentración promedio en vertical obtenida mediante el modelo 2D.

Modelización bidimensional de largo plazo de la acumulación salina en la ría

Dado que la ría de Bahía Blanca no posee un caudal fluvial ingresante significativo, y que el aporte de los afluentes principales (arroyos Napostá y Sauce Viejo) puede caer a valores mínimos de estiaje durante períodos de varios meses sin precipitaciones de importancia en sus cuencas de aporte, la deriva hacia el mar del exceso de salinidad inyectado resulta lenta, produciéndose una acumulación en la masa de agua que oscila diariamente por efecto de la marea.

Mediante el modelo 2D se compara la situación actual con la futura incluyendo la nueva descarga de la planta desalinizadora, para determinar las variaciones de la salinidad del agua resultantes en diferentes condiciones de marea y épocas del año (verano e invierno). Para esta evaluación se modela la sal como una sustancia conservativa disuelta en el agua y se calcula el incremento de salinidad en la ría debido a la descarga considerando que el mecanismo de disipación es la dispersión turbulenta y una lenta deriva hacia el mar, generada por los aportes externos.

La operación de este modelo para un período suficientemente largo como para representar los procesos típicos de acumulación en la ría permite obtener los valores de incremento de la salinidad general en todo el ámbito modelizado y en particular en la zona de la toma.

El modelo permite evaluar también la magnitud de los picos de salinidad transitorios de corta duración que pasan por la zona de la toma de agua cada 11 a 13 horas, en el intervalo entre una y dos horas después del comienzo de la creciente, cuando el agua con mayor exceso de salinidad acumulado en la estoa de bajamar (período con velocidades de la corriente muy bajas) es arrastrada hacia aguas arriba.



Las condiciones de descarga ingresadas al modelo se corresponden con las últimas estimaciones disponibles de caudal y concentración del rechazo de la planta, y se imponen aproximadamente en la posición espacial y el ancho correspondientes a la pluma obtenida en la modelación con CORMIX, para las condiciones del difusor seleccionadas en los análisis precedentes.

Se recuerda que en el presente estudio se considerará a la salinidad práctica, basada en la Escala de Salinidad Práctica de 1978 (PSS-78), identificada como PSU (Practical Salinity Unit). A los efectos prácticos, se puede asimilar 1 PSU a 1.000 mg/lit de salinidad.

3 DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA

3.1 DOCUMENTACIÓN DE PROYECTO

- [1] OSBL-2001-R-MC-1150-1001 – Memoria de Calculo Hidráulico – Sistema de Descarga
- [2] OSBL-2001-P-LY-1150-1001 – Layout de Cañerías – Sistema de descarga
- [3] OSBL-2001-P-PG-1150-1001 – Planta y Perfil de Cañería
- [4] Anexo 12 del Estudio de Impacto Ambiental de la Planta de Fertilizantes Fertil Pampa

3.2 REFERENCIAS TÉCNICAS

- [5] Bleninger, T. y Jirka, G. H. (2010). Environmental planning, prediction and management of brine discharges from desalination plants. Final report, MEDRC Project 07-AS-003.
- [6] Doneker, R. L. y Jirka, G. H. (2007). CORMIX User Manual: A Hydrodynamic Mixing Zone Model and Decision Support System for Pollutant Discharges into Surface Waters. MixZon Inc., Portland, OR.
- [7] Jirka, G. H. (2004). Integral model for turbulent buoyant jets in unbounded stratified flows. Part I: The single round jet. Environmental Fluid Mechanics, 4, 1–56.
- [8] Jirka, G. H. (2008). Improved discharge configurations for brine effluents from desalination plants. Journal of Hydraulic Engineering, 134(1), 116–120.
- [9] Kikkert, G. A., Davidson, M. J. y Nokes, R. I. (2007). Inclined negatively buoyant discharges. Journal of Hydraulic Engineering, 133(5), 545–554.
- [10] Nash, J. D. (1995). Buoyant discharges into reversing ambient current. Master thesis, DeFrees Hydraulics Laboratory, Cornell University, Ithaca NY.
- [11] Palomar, P., Lara, J. L., Losada, I. J., Rodrigo, M. y Alvarez, A. (2012). Near field brine discharge modelling. Part 1: Analysis of commercial tools. Desalination, 290, 14–27.
- [12] Palomar, P., Lara, J. L. y Losada, I. J. (2013). Near field brine discharge modelling. Part 2: Validation of commercial tools. Desalination and Water Treatment, 51, 543–559.
- [13] Papakonstantis, I. G., Christodoulou, G. C. y Papanicolaou, P. N. (2011). Inclined negatively buoyant jets 1: Geometrical characteristics. Journal of Hydraulic Research, 49(1), 13–22.
- [14] Roberts, P. J. W., Ferrier, A. y Daviero, G. (1997). Mixing in inclined dense jets. Journal of Hydraulic Engineering, 123(8), 693–699.
- [15] USEPA (1991). Technical Support Document for Water Quality-Based Toxics Control. EPA/505/2-90-001. U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C. OSBL-2001-R-MD-1120-1001 - Sludge Disposal Description Report



4 SISTEMA DE DESCARGA PREDIMENSIONADO

El sistema de descarga previsto para la planta de fertilizantes estará conformado por una cámara de captación integrada a la estación de bombeo, una conducción de impulsión, una cámara de carga y un emisario submarino con tramo difusor.

Los efluentes generados en las distintas unidades del complejo industrial serán conducidos por gravedad hacia una cámara de captación ubicada dentro de la planta industrial. Desde dicha cámara se realizará la captación mediante la estación de bombeo, configurada bajo un esquema 2+1 y compuesta por bombas centrífugas horizontales instaladas en cámara seca.

Desde la estación de bombeo se proyecta una conducción de impulsión con una longitud aproximada de 1320 m.

La impulsión descargará en una cámara de carga, a partir de la cual se desarrollará el emisario submarino, dispuesto perpendicularmente al macizo. A continuación, se presenta el layout general del sistema de descarga y la configuración preliminar adoptada para el estudio del emisario submarino.

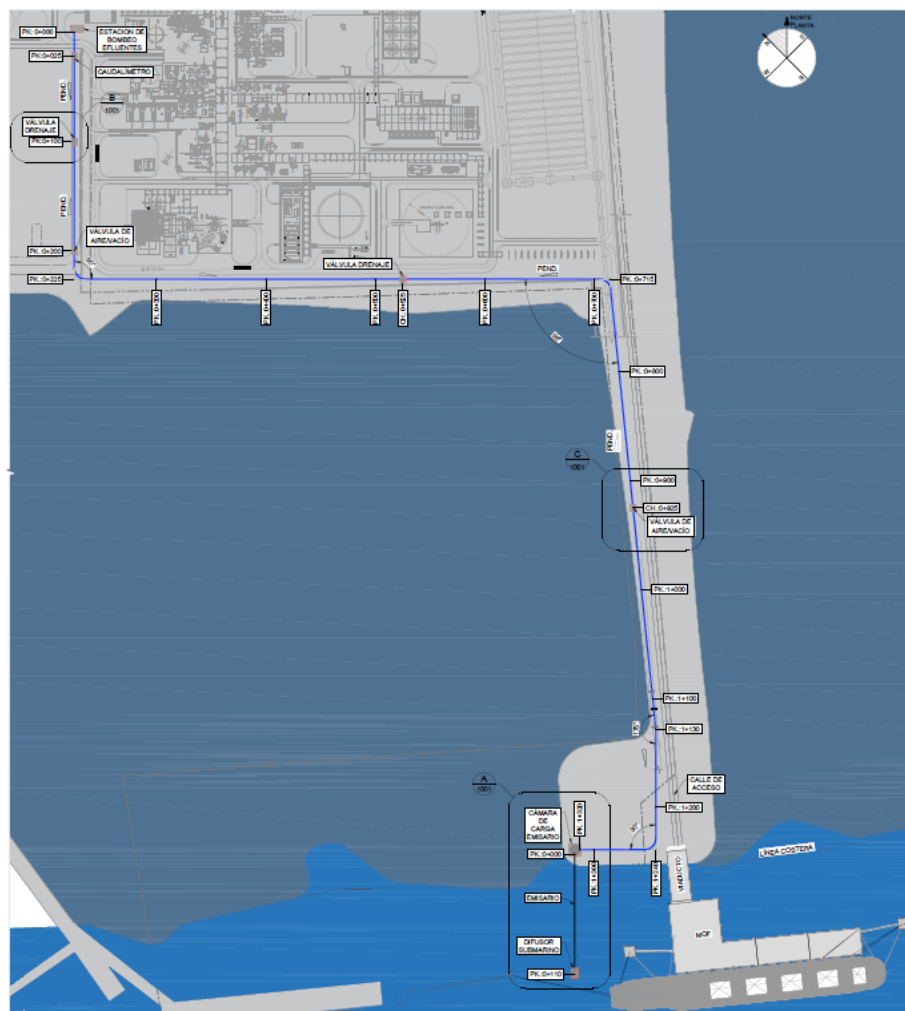


Figura 1. Layout sistema de descarga proyectado – Planta Fertil Pampa

5 CRITERIOS DE DISEÑO

5.1 CONDICIONES DE DESCARGA DE LA PLANTA DE FERTILIZANTES

La salinidad de la descarga de la planta de fertilizantes no es independiente de las condiciones de temperatura y salinidad del agua ingresante al proceso, particularmente debido a la operación de la planta de ósmosis inversa de agua de mar (SWRO), principal aporte al sistema de descarga.

Siguiendo la metodología aplicada en la modelación previa realizada para el EIA, se evaluaron dos escenarios representativos correspondientes a condiciones estacionales contrastantes del estuario receptor: un escenario de invierno, con menor temperatura y salinidad de ingreso, y un escenario de verano, con mayores temperaturas y salinidades características del agua de captación. Para la condición de invierno se adoptó una temperatura del agua de ingreso de 5°C y una concentración de sólidos disueltos totales (TDS) del orden de 31 PSU, mientras que para la condición de verano se consideró una temperatura de ingreso de 28°C y un TDS de 42 PSU.

La ubicación de la toma es igual a la actual (CPB), mientras que la descarga se realiza aguas arriba del nuevo muelle proyectado. Para la definición de los caudales y la salinidad de la descarga se consideraron las corrientes líquidas permanentes previstas para la operación del complejo industrial, incluyendo principalmente el rechazo de la planta SWRO, rechazos de ultrafiltración, purgas y efluentes industriales. En la Tabla 1 se presentan los caudales y concentraciones adoptadas para los escenarios de invierno y verano considerados en el presente análisis.

Tabla 1. Caudales y relación de salinidad entre la toma y la descarga adoptadas

Corrientes y salinidad típica en Invierno	Caudal medio (m³/h)	Caudal pico (m³/h)	TDS (PSU)
Planta de tratamiento de efluentes	2,3	2,5	0,3
Agua tratada ISBL (Inside Battery Limits)	41,2	81,5	0,5
Agua de rechazo de Deshidratación Lodos DAF (flotación por aire disuelto)	50,0	74,2	31,3
Rechazo ultrafiltración UF	302,4	585,4	31,3
Descarga del tanque de neutralización (Regeneración de condensado / CIP SWRO / CIP BWRO)	0,0	50,0	75,0
Rechazo Unidad de Proceso de Ósmosis Inversa de Agua de Mar SWRO	1584,3	1776,2	57,5
Purga torre de enfriamiento	241,0	422,5	0,5
Total Sistema de descarga	2221	2992	46,0
Salinidad en la toma			31
Diferencia de salinidad entre la toma y la descarga			14,7
Factor de salinidad entre la toma y la descarga			1,47

Corrientes y salinidad típica en Verano	Caudal medio (m³/h)	Caudal pico (m³/h)	TDS (PSU)
Planta de tratamiento de efluentes	2,3	2,5	0,3
Agua tratada ISBL (Inside Battery Limits)	41,2	81,5	0,5
Agua de rechazo de Deshidratación Lodos DAF (flotación por aire disuelto)	50,0	80,0	42,2
Rechazo ultrafiltración UF	302,8	582,8	42,2
Descarga del tanque de neutralización (Regeneración de condensado / CIP SWRO / CIP BWRO)	0,0	50,0	75,0
Rechazo Unidad de Proceso de Ósmosis Inversa de Agua de Mar SWRO	1634,0	1769,4	77,9
Purga torre de enfriamiento	241,0	422,5	0,5
Total Sistema de descarga	2271	2989	62,6
Salinidad en la toma			42
Diferencia de salinidad entre la toma y la descarga			20,5
Factor de salinidad entre la toma y la descarga			1,49



Se puede apreciar que independientemente de las condiciones de ingreso de agua, la relación entre la salinidad de entrada y de salida es muy similar, del orden de 1,5. El caudal permanente considerado para el análisis de impacto en la salinidad del agua en la ría es igual a 2300 m³/h, mientras que el caudal pico de 3000 m³/h se utiliza para el diseño hidráulico del emisario.

5.2 CAUDALES DE DISEÑO

En función de las condiciones de descarga presentadas en la Tabla 1, se adoptó como caudal de diseño del sistema el caudal medio del orden de 2300 m³/h, mientras que las verificaciones hidráulicas se realizaron adicionalmente para el caudal pico del orden de 3000 m³/h.

El sistema emisario–difusor fue dimensionado preliminarmente para el caudal medio de operación y verificado para las condiciones de caudal máximo, mientras que la conducción de impulsión fue diseñada para transportar el caudal pico previsto.

5.3 NIVELES DE DISEÑO

Los niveles de agua dentro del estuario de Bahía Blanca se encuentran gobernados principalmente por el régimen de mareas astronómicas, pudiendo verse incrementados o reducidos por efectos meteorológicos, principalmente asociados a la acción del viento.

Con base en los registros históricos de marea disponibles, se realizó un análisis de frecuencia de excedencia en la estación mareográfica de Ingeniero White. Los resultados de la distribución acumulada de frecuencias se presentan a continuación, con el objetivo de identificar los niveles de marea asociados a los percentiles 2%, 5%, 50%, 95% y 98%. Todas las mediciones presentadas en la siguiente figura se encuentran referidas al cero del Servicio de Hidrografía Naval (SHN).

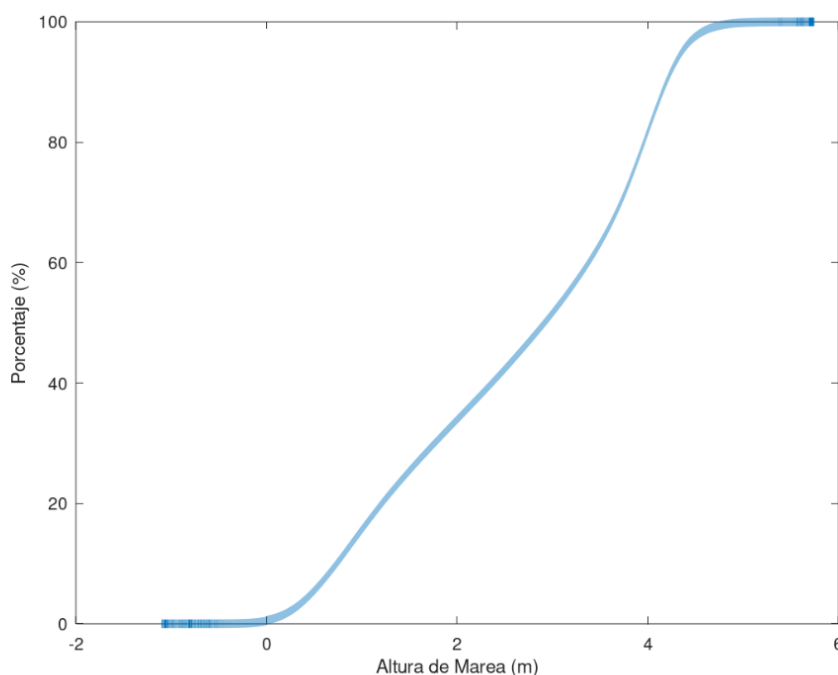


Figura 2. Distribución acumulada de frecuencias para el registro completo de mareas en la estación Ingeniero White (cero SHN – 0 LAT).

[Firma manuscrita]

Tabla 2. Distribución acumulada de frecuencias – Estación Ingeniero White.

Distribución acumulada de frecuencias (%)	Nivel de marea SHN (m)	Nivel de marea CPB (m)	Nivel de marea IGN (m)
2%	0,24	-0,19	-2,49
5%	0,47	0,04	-2,26
50%	2,92	2,49	0,19
95%	4,36	3,93	1,63
98%	4,54	4,11	1,81

Asimismo, se realizó un análisis de valores extremos sobre la serie de datos disponible, identificando niveles de agua asociados a distintos períodos de retorno, considerando tanto el forzante astronómico de marea como las condiciones meteorológicas.

Tabla 3. Niveles máximos extremos.

Período de retorno (años)	Nivel de marea SHN (m)	Nivel de marea CPB (m)	Nivel de marea IGN (m)
2	5,29	4,86	2,56
5	5,63	5,20	2,90
10	5,86	5,43	3,13
25	6,15	5,72	3,42
50	6,36	5,93	3,63
100	6,57	6,14	3,84

La cota de implantación de la planta se encuentra definida en +4,40 mIGN, por lo tanto, aun bajo el nivel extremo correspondiente al máximo período de retorno analizado, la planta no se vería afectada por inundaciones.

Para los niveles mínimos anuales se ajustó una distribución de mínimos tipo Gumbel sobre los registros disponibles, obteniéndose los siguientes parámetros:

- Parámetro de localización (μ): -0,392
- Parámetro de escala (β): 0,152

Los niveles mínimos extremos estimados para distintos períodos de retorno se presentan en la

Tabla 4. Niveles mínimos extremos.

Período de retorno (años)	Nivel de marea SHN (m)	Nivel de marea CPB (m)	Nivel de marea IGN (m)
2	-0,45	-0,88	-3,18
5	-0,62	-1,05	-3,35
10	-0,73	-1,16	-3,46
25	-0,88	-1,31	-3,61



Para la definición de los niveles de diseño del sistema se adoptó como nivel operativo normal la cota 0,19 mIGN, correspondiente aproximadamente al percentil 50% de la distribución acumulada de niveles observados en la estación Ingeniero White.

Adicionalmente, se verificó el comportamiento hidráulico del sistema frente a niveles extremos de marea, considerando un nivel máximo de diseño de 3,84 mIGN, asociado aproximadamente a un período de retorno de 100 años, y un nivel mínimo de diseño de -3,50 mIGN, asociado a un periodo de retorno de 10 años y coincidente con el nivel mínimo considerado en la obra de toma. Se considera que dichas condiciones corresponden a eventos transitorios y de corta duración dentro del régimen hidrodinámico del estuario.

Tabla 5. Niveles de Diseño.

Condición de Diseño	Nivel de Marea (mIGN)
Nivel de operación Normal	0,19
Nivel Máximo de Diseño	3,84
Nivel Mínimo de Diseño	-3,5

5.4 TOPOBATIMETRÍA

La topobatimetría utilizada en el presente estudio fue desarrollada a partir de información proveniente de cartas náuticas y relevamientos específicos del área de implantación.

La topografía del macizo fue obtenida mediante relevamientos fotogramétricos utilizando metodología VANT, complementados y contrastados mediante relevamientos topográficos tradicionales con equipos GPS.

5.5 VELOCIDADES DE DISEÑO

Para los puertos de descarga se adoptaron velocidades recomendadas del orden de 4 m/s a 6 m/s, con el objetivo de favorecer condiciones adecuadas de difusión inicial, mezcla y dispersión del efluente en el campo cercano.

Desde el punto de vista hidrodinámico, mantener velocidades de salida dentro de dicho rango permite maximizar los procesos de dilución inicial al proporcionar la energía cinética necesaria para promover un mezclado turbulento del chorro descargado. Este criterio resulta consistente con recomendaciones de organismos internacionales, tales como la EPA, donde se sugieren velocidades mínimas de descarga del orden de 3 m/s para favorecer la mezcla rápida y reducir la probabilidad de obstrucciones asociadas a sedimentación en los difusores.

6 CONFIGURACIÓN DE LA EXPLOTACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO BIDIMENSIONAL

Con el objetivo de evaluar la influencia de la descarga bajo distintas condiciones climáticas, se plantearon los escenarios de Invierno y Verano. Para cada escenario climático se simulaban dos situaciones: la situación “base” y la situación “con Descarga”.

Las características principales de cada escenario se resumen a continuación:

- El escenario de Invierno se planteó entre junio y octubre de 2023 tomando las condiciones de viento y marea de dicho periodo. Para la salinidad se adoptó un valor de 30 PSU como condición inicial y también en el borde oceánico del modelo. La temperatura durante la modelación se fijó en 5°C.



La modelación abarcó una ventana de 150 días: durante los primeros 60 días los ingresos de agua dulce corresponden a caudales mínimos mensuales, luego a partir del día 61 los ingresos de agua dulce corresponden a caudales medios mensuales. Se simuló la ocurrencia de un evento de precipitación de 20 mm en 24 horas y sobre todo el dominio durante el día 61 de la simulación, y un evento idéntico durante el día 91 de la simulación.

- El escenario de Verano abarcó desde diciembre de 2024 hasta abril de 2025 tomando las condiciones de viento y marea de dicho periodo. Para la salinidad se adoptó un valor de 42 PSU como condición inicial y también en el borde oceánico del modelo. La temperatura durante la modelación se fijó en 28°C.

Al igual que en el escenario de Invierno, la modelación abarcó una ventana de 150 días: durante los primeros 60 días los ingresos de agua dulce corresponden a caudales mínimos mensuales, luego a partir del día 61 los ingresos de agua dulce corresponden a caudales medios mensuales. Se simuló la ocurrencia de un evento de precipitación de 20 mm en 24 horas y sobre todo el dominio durante el día 61 de la simulación, y un evento idéntico durante el día 91 de la simulación.

La diferencia entre la situación “base” y la situación “con Descarga” para ambos escenarios es la inclusión de la descarga de 2.300 m³/h desde la Planta con una salinidad igual a 1,5 veces la salinidad de la Toma. La descarga en el modelo bidimensional fue distribuida en 2 celdas de 6 m de ancho, desde los 110 m de la costa hacia la costa.

La lámina de 20 mm de precipitación considerada busca tener en cuenta no solo la precipitación que cae sobre la superficie modelada (que es donde se aplica) sino también un posible aporte distribuido de la lluvia caída en los alrededores de la ría.

7 ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA DISTANCIA A LA COSTA DE LA ZONA DE DESCARGA

Se analizó la influencia de la distancia de la descarga con respecto a la costa sobre la concentración que llegaría a la zona de la toma de la Central Piedrabuena (CPB). Para ello se realizó un análisis preliminar bidimensional ubicando una descarga puntual a distintas distancias del macizo.

Para el modelo bidimensional se utilizó el modelo MIKE 21 “Flow Model FM (Flexible Mesh)”, desarrollado por el Danish Hydraulic Institute, específicamente su módulo “Hydrodynamic Module (HD)”. El modelo hidrodinámico ha sido diseñado, calibrado y validado con el fin de reproducir los fenómenos observados en la ría de Bahía Blanca. La generación del Modelo Digital de Elevación (MDE, Figura 3) para su utilización en la modelación matemática se realizó teniendo en consideración distintas fuentes: relevamientos topobatemétricos, cartas náuticas e información satelital. Con el objeto de realizar una evaluación conservativa minimizando la dilución, se consideró que el predio perteneciente al CGPBB adyacente a la planta de Fertil Pampa, entre el muelle de CPB y el muelle proyectado de Fertil Pampa, podría ser rellenado en un futuro.

En la zona de interés, es decir en la zona cercana a la descarga y a la Toma CPB, la malla de cálculo tiene 6 m en dirección transversal al canal de navegación y 9 m en dirección longitudinal.



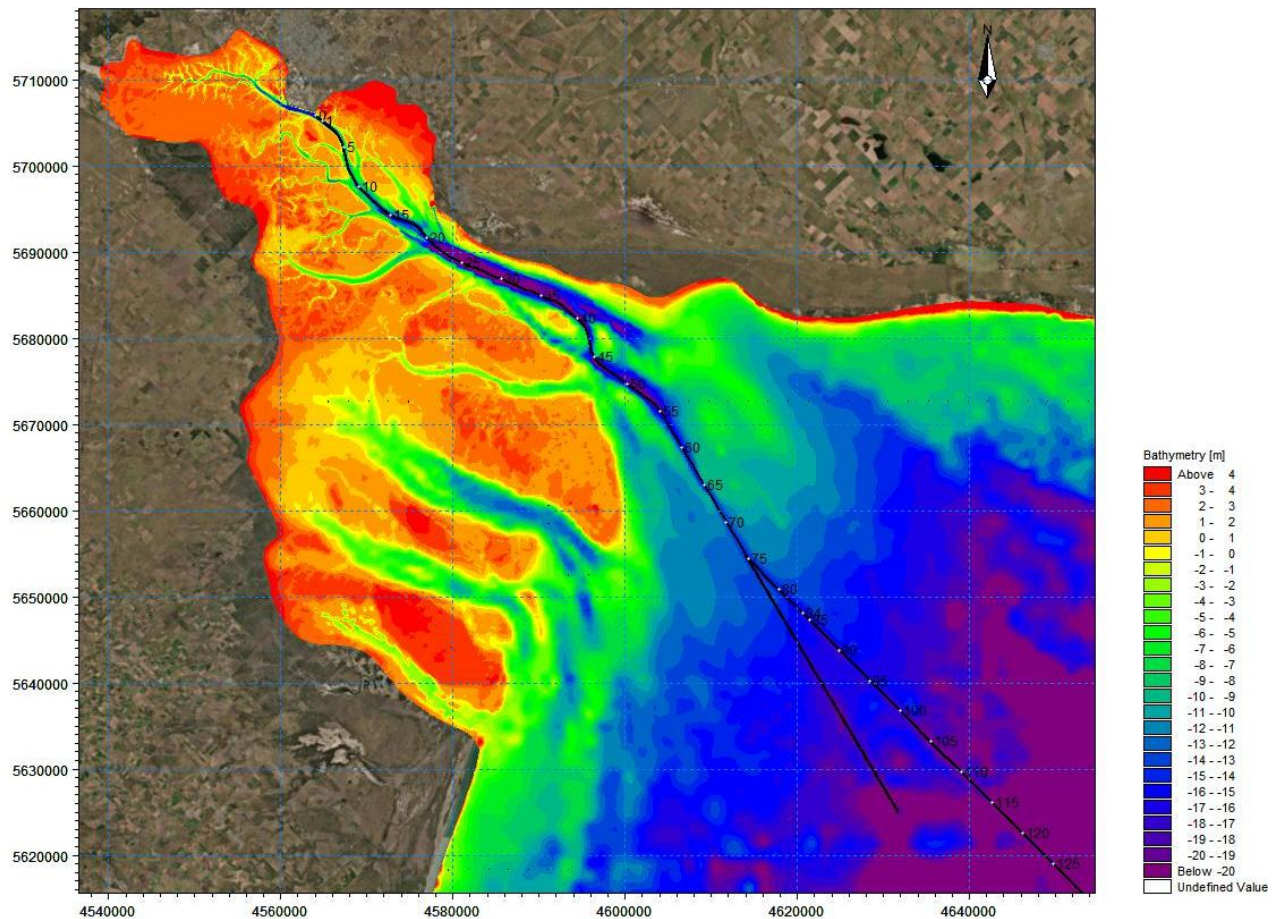


Figura 3. MDE utilizado para la totalidad del área de modelación referido al Cero IGN.

El caudal de descarga salina implementado en este análisis es de 2.300 m3/h. La relación entre salinidad de salida y de captación utilizada para estos ensayos iniciales fue un valor estimado preliminarmente como igual a 1,752, lo cual es conservativo. Tal como se indicó en el punto 3.1 sobre las Condiciones de Descarga de la Planta de Fertilizantes, el valor de esta relación que finalmente se adoptó para el proyecto, es igual a 1,5."

El punto evaluado más cercano al macizo se situó a unos 50 m de este, donde la profundidad media es de 4 m. Los siguientes puntos se ubicaron a 70, 90 y 110 m del macizo, donde la profundidad media es de 9,5 m, 12,5 m y 15,5 m respectivamente.

La máxima concentración en la zona de Toma se da durante el inicio de la creciente: en estos días de bajamar las bajas velocidades promueven una concentración de la salinidad en la zona de la descarga, y con el inicio de la creciente, el flujo hacia aguas arriba arrastra la pluma salina hacia la zona de la Toma.

En la Figura 4 se muestra la pluma durante un instante de máxima concentración salina en la zona de la Toma para la descarga a 50 m del macizo. Luego, en la Figura 5 se muestra la concentración en la Toma a lo largo de 30 días de corrida. Se puede observar que la salinidad en la Toma alcanza picos de 42.7 PSU.



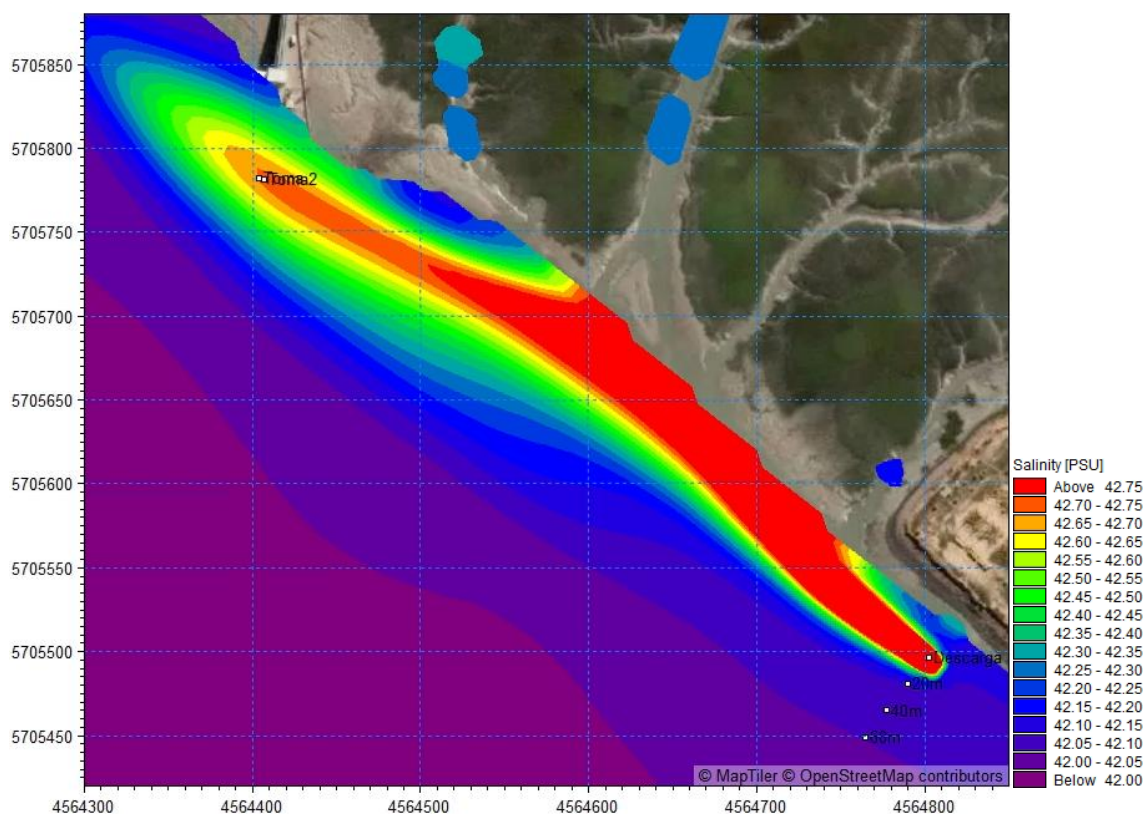


Figura 4. Descarga a 50 m del macizo. Pluma durante el instante de máxima concentración salina en la zona de la Toma CPB.

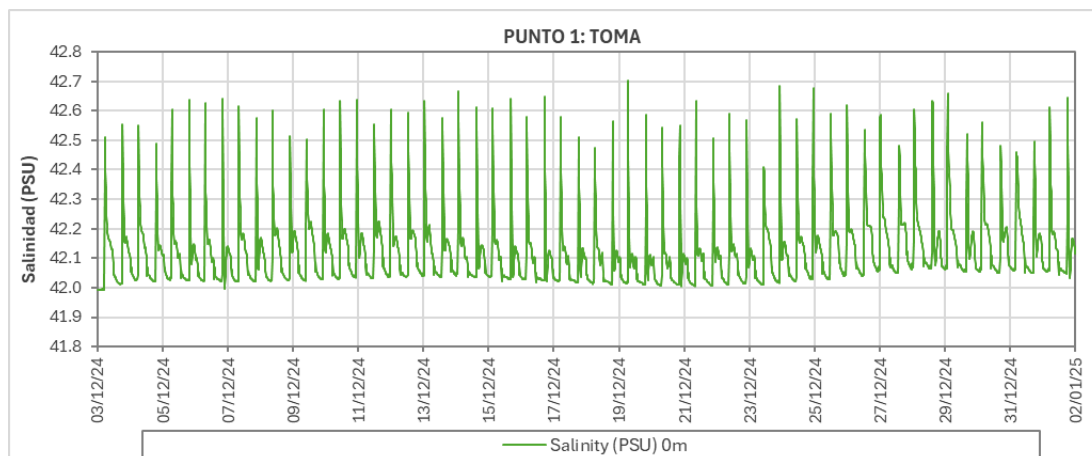


Figura 5. Descarga a 50 m del macizo. Salinidad en la Toma CPB a lo largo de 30 días de corrida en verano.

La máxima concentración salina en la zona de la Toma para la descarga a 70 m del macizo se presenta en la Figura 6. En la Figura 7 se muestra la concentración en la Toma a lo largo de 30 días de corrida. Se puede observar que la salinidad en la Toma alcanza picos de 42,6 PSU.

[Firma manuscrita]

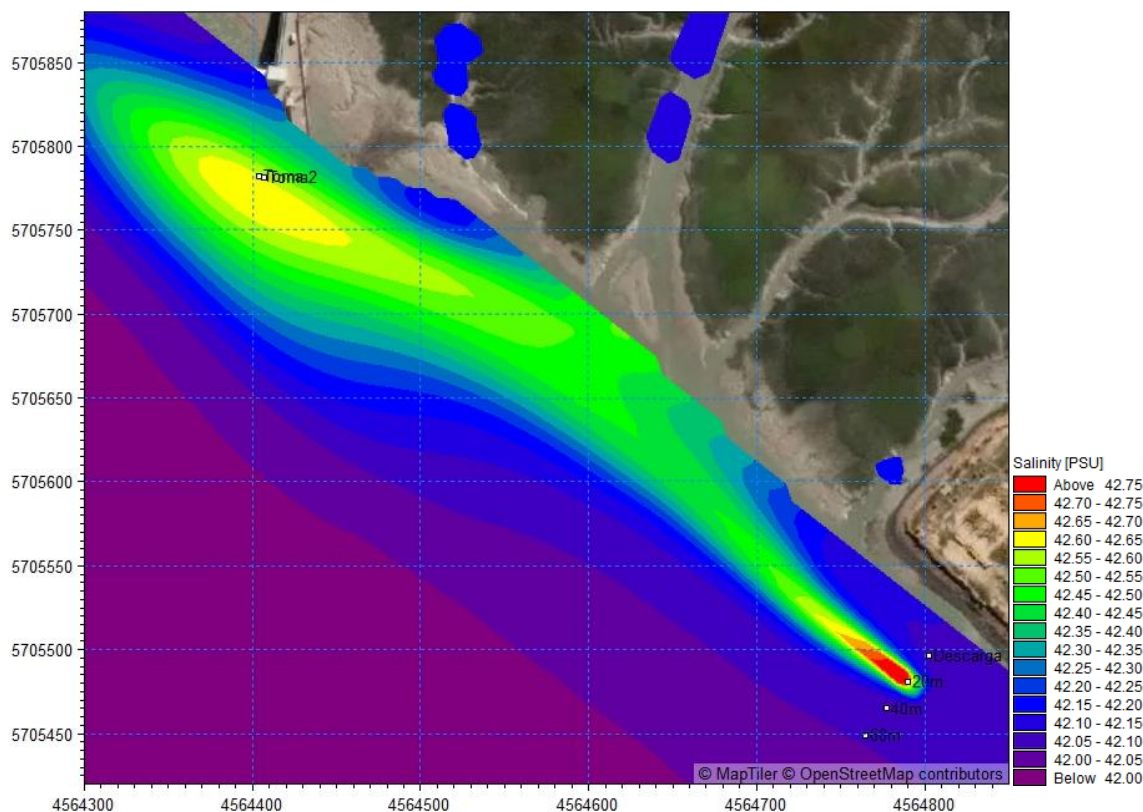


Figura 6. Descarga a 70 m del macizo. Pluma durante el instante de máxima concentración salina en la zona de la Toma CPB.

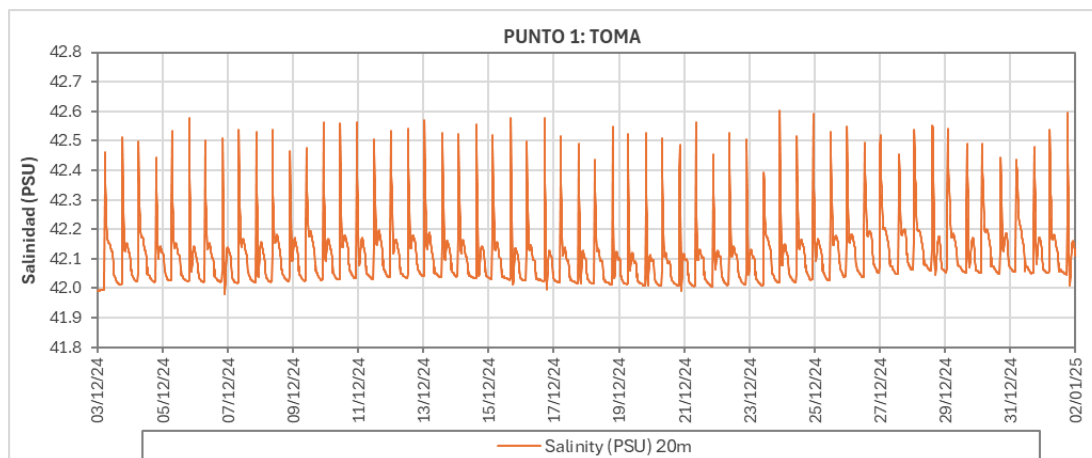


Figura 7. Descarga a 70 m del macizo. Salinidad en la Toma CPB a lo largo de 30 días de corrida en verano.

En la Figura 8 se muestra la pluma durante un instante de máxima concentración salina en la zona de la Toma para la descarga a 90 m del macizo. Luego, en la Figura 9 se muestra la concentración en la Toma a lo largo de 30 días de corrida. Se puede observar que la salinidad en la Toma alcanza picos de 42,4 PSU.

[Firma manuscrita]

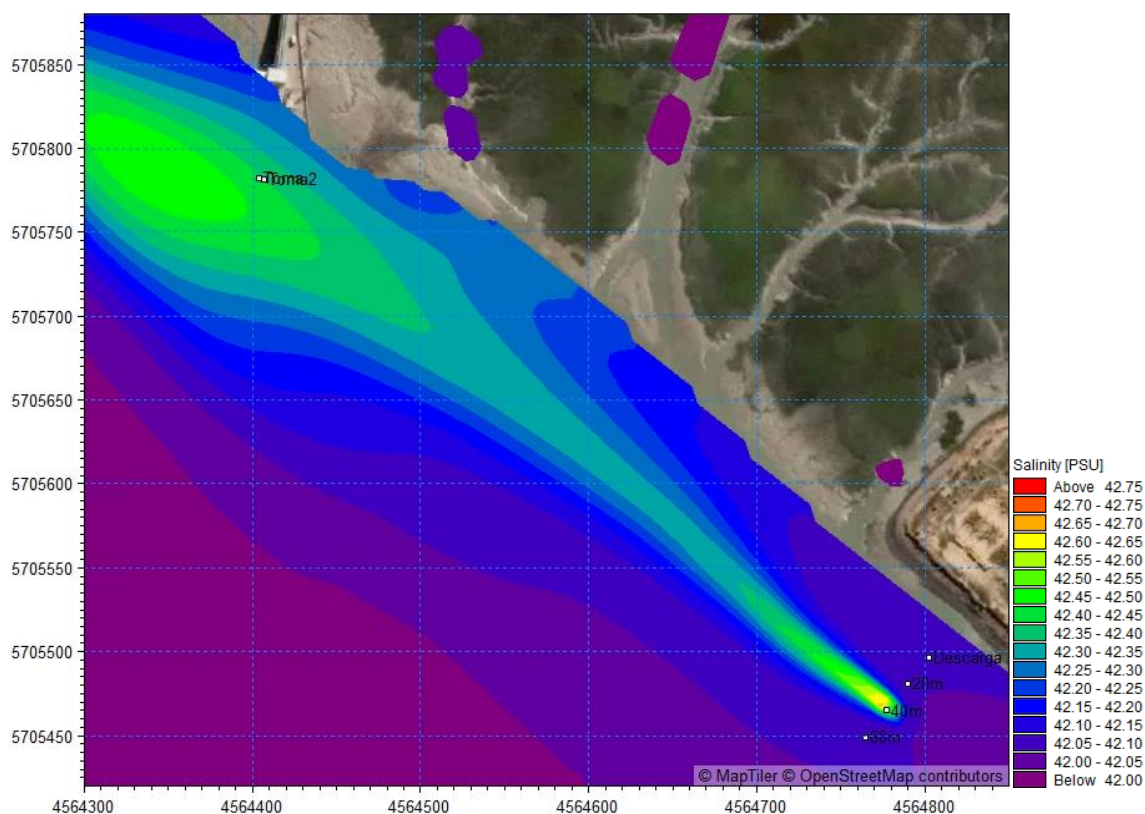


Figura 8. Descarga a 90 m del macizo. Pluma durante el instante de máxima concentración salina en la zona de la Toma CPB.

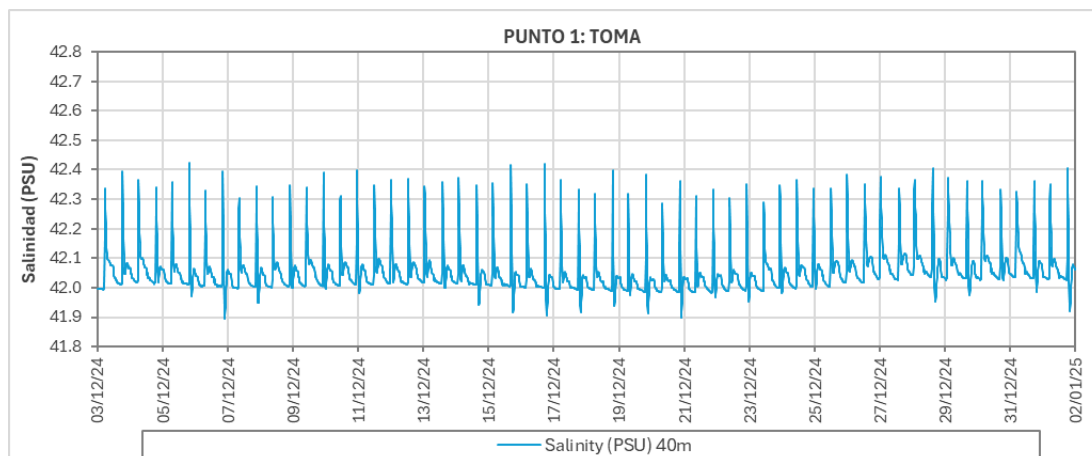


Figura 9. Descarga a 90 m del macizo. Salinidad en la Toma CPB a lo largo de 30 días de corrida en verano.

La máxima concentración salina en la zona de la Toma para la descarga a 110 m del macizo se presenta en la Figura 10. En la Figura 11 se muestra la concentración en la Toma a lo largo de 30 días de corrida. Se puede observar que la salinidad en la Toma alcanza picos de 42,2 PSU.

[Firma manuscrita]

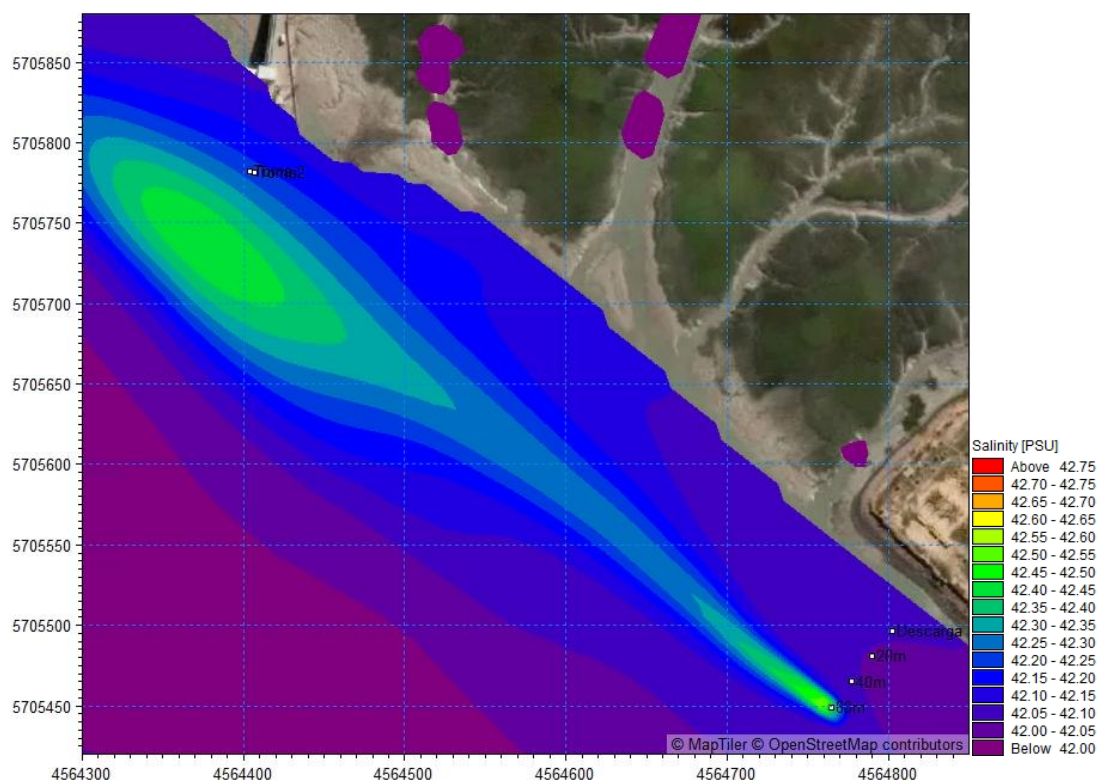


Figura 10. Descarga a 110 m del macizo. Pluma durante el instante de máxima concentración salina en la zona de la Toma CPB.

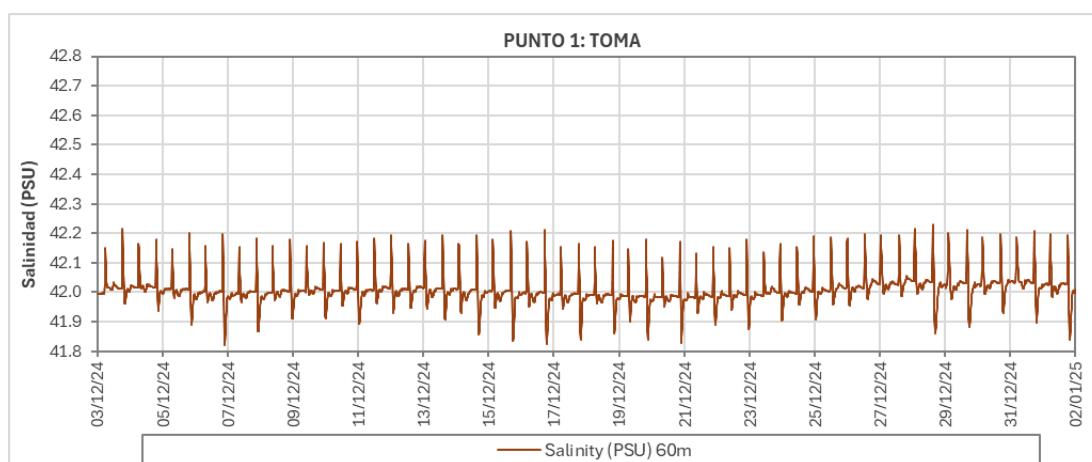


Figura 11. Descarga a 110 m del macizo. Salinidad en la Toma CPB a lo largo de 30 días de corrida en verano.

Se puede observar que la concentración salina que alcanza la zona de la toma es mayor a medida que la descarga se acerca al macizo. Cuando la descarga se aleja del macizo, las corrientes conducen la pluma de manera tal que la zona de máxima concentración se aleja de la toma, sumado al efecto de mayor dispersión y dilución promovido por los mayores valores de velocidad y profundidad.

Con base en estos análisis se decidió colocar el extremo final del difusor a 110 metros de la costa para los estudios y modelaciones posteriores.

[Firma manuscrita]

8 DISEÑO PRELIMINAR DEL SISTEMA

8.1 UBICACIÓN DEL EMISARIO

La selección del emplazamiento del emisario y particularmente de su tramo difusor se fundamenta en la necesidad de asegurar condiciones hidrodinámicas favorables para los procesos de mezcla, advección y dispersión de la pluma de descarga.

La ubicación adoptada para el tramo de difusión corresponde al sector más alejado de la costa dentro del área disponible para implantación, buscando aprovechar mayores profundidades y una mayor columna de agua, condiciones que favorecen los procesos de dilución inicial y dispersión del efluente descargado.

Asimismo, el emisario fue dispuesto aguas arriba del nuevo muelle proyectado y de las torres de amarre, con el objetivo de minimizar interferencias asociadas a perturbaciones locales del campo de corrientes inducidas por dichas estructuras. Esta disposición busca evitar la generación de zonas de recirculación o sectores de baja renovación hidráulica que puedan afectar negativamente los procesos de mezcla y dispersión de la pluma.

De esta manera, se procura que el efluente descargado se incorpore a un flujo predominante relativamente homogéneo y franco, permitiendo que la pluma evolucione hacia sectores de mayor hidrodinamismo del estuario y favoreciendo el cumplimiento de las condiciones de dilución requeridas.

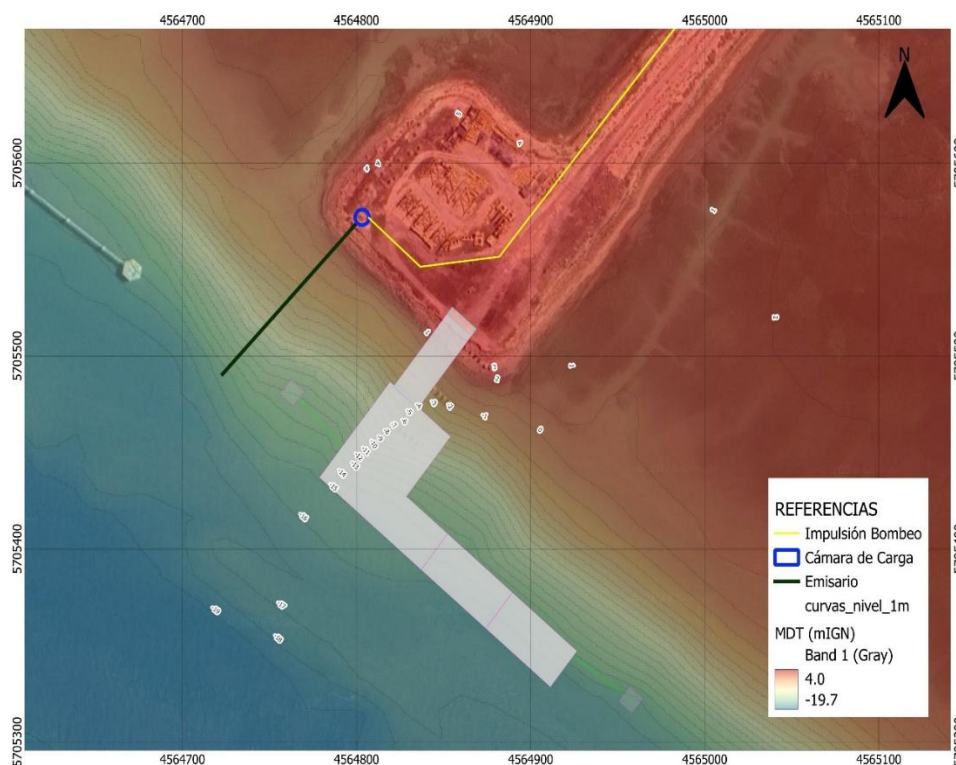


Figura 12. Ubicación del emisario submarino.

A continuación, se presenta el perfil topobatimétrico preliminar adoptado para el trazado del emisario, donde se identifican las profundidades características del sector de implantación y la ubicación prevista para la zona de difusión.

[Firma manuscrita]

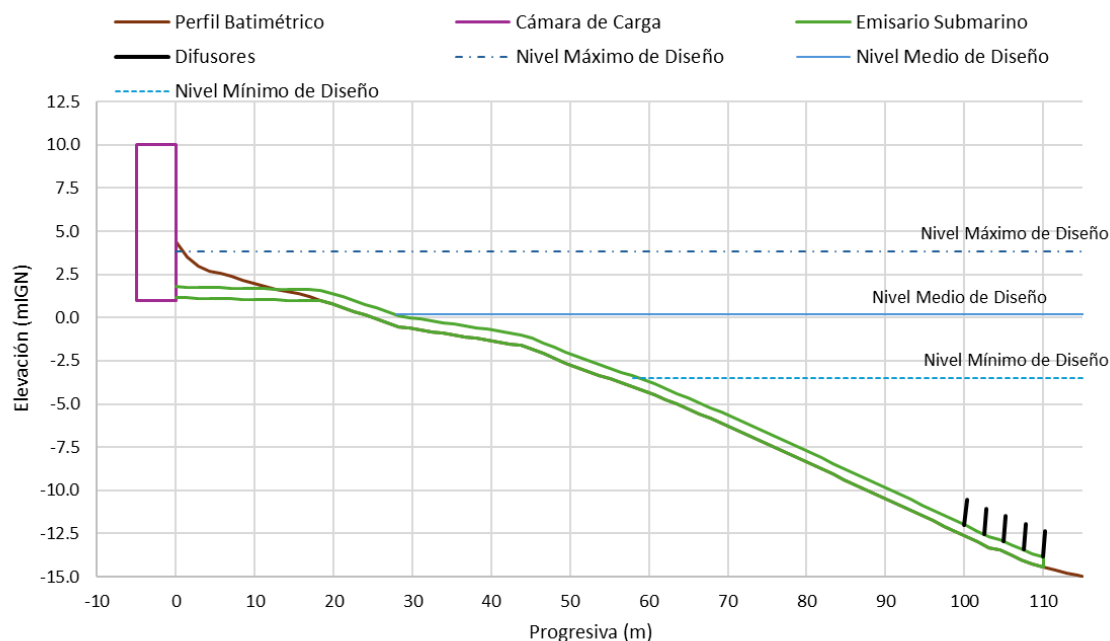


Figura 13. Perfil topobatimétrico correspondiente al trazado del emisario.

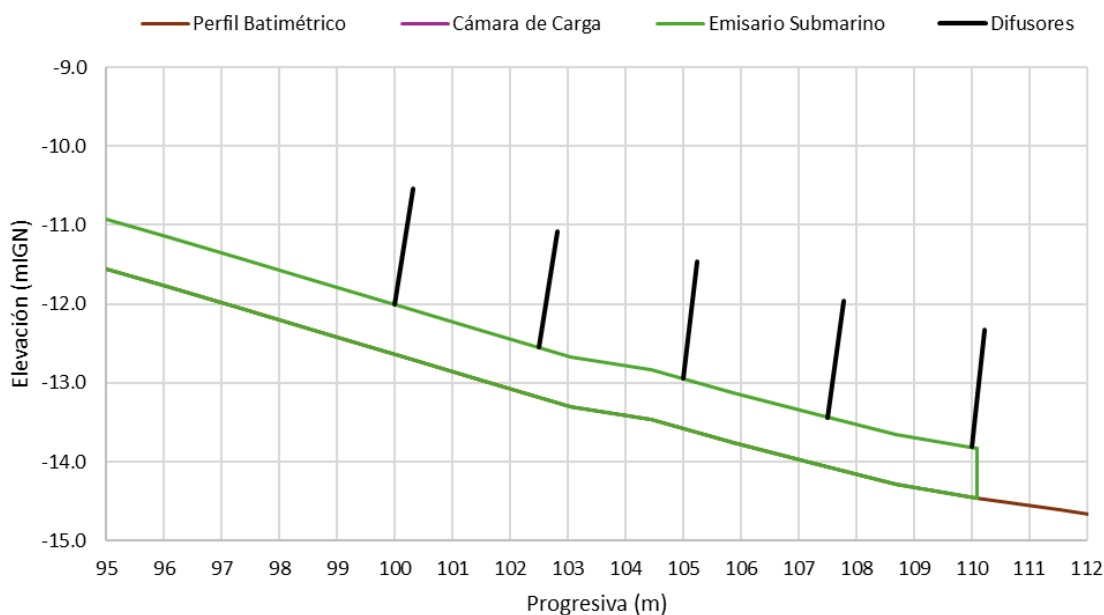


Figura 14. Detalle del perfil topobatimétrico del emisario en la zona de difusión.

8.2 SISTEMA EMISARIO – DIFUSOR

La ubicación del tramo difusor en el sector final del emisario, correspondiente al punto más alejado de la costa, se fundamenta en la búsqueda de las mayores profundidades disponibles dentro del área de implantación. Una mayor columna de agua sobre los puertos de descarga favorece los procesos de mezcla inicial y dilución en el campo cercano, permitiendo el adecuado desarrollo de la trayectoria del chorro antes de su interacción con el lecho.

[Firma manuscrita]

El emisario submarino fue proyectado preliminarmente en PEAD DN630 SDR17. La selección de esta relación SDR se encuentra dentro del rango recomendado por el Manual de Emisarios Submarinos del CEPIS para conducciones sometidas a condiciones de exigencia estructural relevantes, permitiendo asegurar la integridad de la conducción frente a las cargas de instalación, condiciones operativas y acciones asociadas al entorno marino.

La configuración preliminar del sistema difusor contempla cinco risers distribuidos equidistantemente en el tramo final del emisario, con separaciones entre 2,5 m y 7,5 m según la alternativa evaluada. La limitación de la separación entre risers busca reducir interferencias entre chorros adyacentes y favorecer un comportamiento hidráulico más uniforme en la zona de difusión. Los puertos de descarga fueron proyectados con una inclinación de 60° respecto de la horizontal, criterio ampliamente adoptado en el diseño de emisarios para efluentes densos. Esta configuración permite maximizar la trayectoria del chorro y favorecer los procesos de dilución antes del eventual impacto sobre el fondo. Asimismo, dicho ángulo permite un adecuado aprovechamiento de la profundidad disponible sin riesgo de interacción prematura con la superficie libre.

Siguiendo recomendaciones del CEPIS para emisarios materializados en PEAD, los risers fueron considerados preliminarmente en PEAD DN315 SDR11, proporcionando una adecuada robustez estructural frente a las solicitaciones hidráulicas y mecánicas previstas en la zona de difusión.

Para los puertos terminales de descarga se encuentran actualmente en evaluación configuraciones de 200 mm de diámetro interno (250 mm de diámetro externo), buscando compatibilizar las velocidades de salida requeridas con criterios hidráulicos de distribución de caudales y eficiencia de mezcla. Como criterio general de diseño, se procura que la sumatoria de áreas de los puertos resulte inferior al 75% del área interna de la conducción principal, a fin de mantener condiciones hidráulicas adecuadas dentro del emisario.

De la evaluación hidráulica del emisario se verificó que la distribución del caudal de descarga para cada riser se mantenía consistente en todos los escenarios operativos analizados. Las desviaciones máximas respecto al caudal medio de descarga por riser permanecen en todos los casos por debajo del 10%, lo que indica que las pérdidas por fricción a lo largo de la sección del difusor no afectan significativamente al equilibrio hidráulico. En consecuencia, se espera que la disposición propuesta del difusor proporcione un nivel satisfactorio de uniformidad de descarga bajo las condiciones de funcionamiento analizadas.



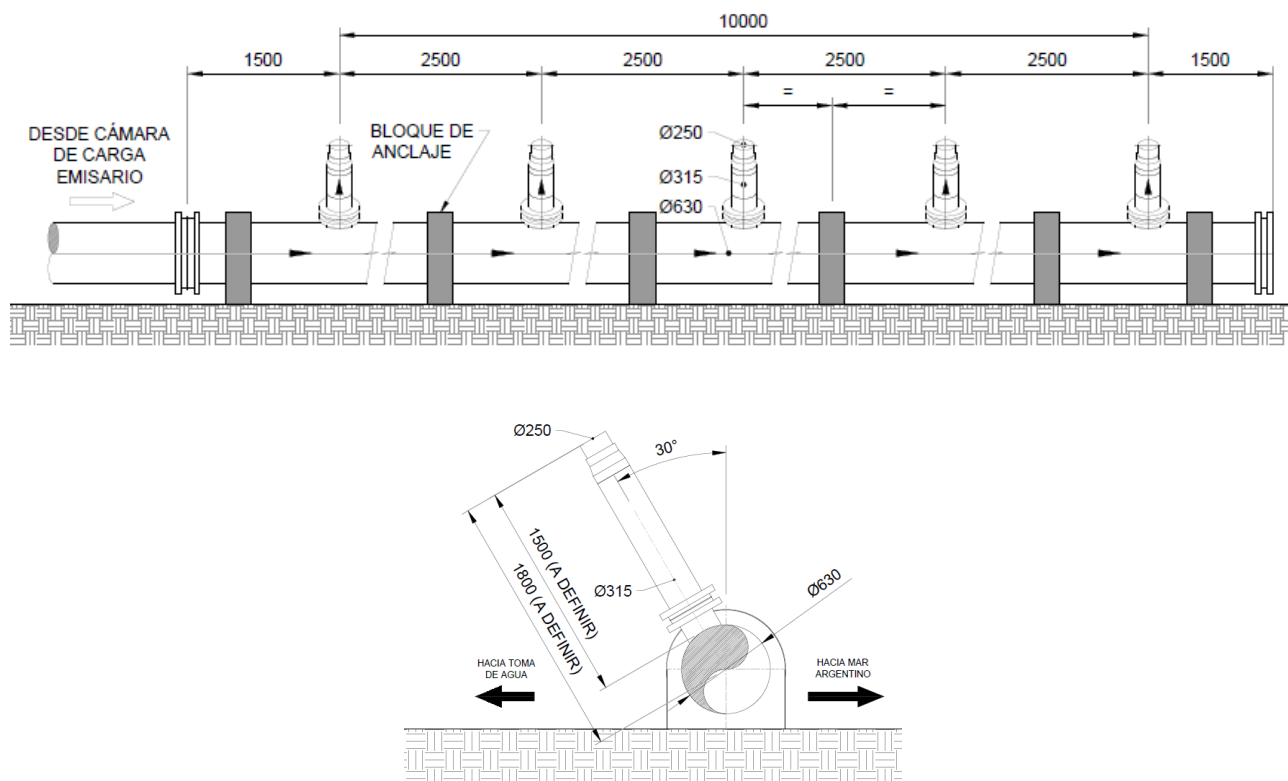


Figura 15. Esquema del sistema difusor proyectado.

Como verificación conceptual preliminar del comportamiento hidráulico del sistema difusor, se tomó como referencia el trabajo “Rosette Diffusers for Dense Effluents in Flowing Currents” desarrollado por Abessi y Roberts (2017), el cual presenta formulaciones semiempíricas para estimar parámetros característicos de la descarga de efluentes densos en presencia de corrientes ambientales.

En el marco de esta evaluación preliminar se consideró un caudal total de descarga de 2300 m³/h y una velocidad de corriente ambiental de 0,5 m/s. Se analizó la configuración propuesta con puertos de 200 mm de diámetro interno, evaluando velocidades de salida, diluciones iniciales y parámetros geométricos característicos de la trayectoria del chorro.

Los resultados teóricos obtenidos indican que esta configuración permite alcanzar velocidades de descarga compatibles con los criterios recomendados para emisarios de efluentes de rechazo de una planta de desalinización, obteniéndose diluciones iniciales del orden de 20 veces en el punto de impacto de la pluma. A continuación, se presentan los resultados obtenidos para las configuraciones analizadas mediante esta técnica de cálculo teórico.

Tabla 6. Resultados teóricos preliminares de desempeño del sistema difusor

Caudal emisario	Diámetro interno puerto	Separación puertos	Velocidad por puerto	Velocidad de Corriente	Dilución en el punto de impacto (Si)	Altura final del ascenso del chorro (yt)	Distancia al punto de impacto (xi)
m ³ /h	mm	m	m/s	m/s	-	m	m
2300	200	2,5	4,07	0,50	19	7	39

[Firma manuscrita]

9 MODELIZACIÓN DEL CAMPO CERCANO DEL DIFUSOR

9.1 OBJETIVO

El objetivo de esta modelización es caracterizar cuantitativamente el comportamiento de la pluma con salinidad incrementada en el campo cercano del difusor mediante el sistema de modelación CORMIX, a fin de evaluar la influencia de considerar diferentes longitudes del tramo de difusión, generando información sobre las condiciones de la pluma en el límite entre el campo cercano (donde la cantidad de movimiento inicial determina la evolución de la pluma) y el campo lejano, donde ésta es transportada por la corriente y está sometida a fenómenos de dispersión y flotabilidad en función de la diferencia entre su densidad y la del medio circundante.

9.2 ALCANCE

El estudio comprende:

- Modelación de campo cercano con CORMIX2 (módulo de difusor multipuerto sumergido).
- Análisis de un conjunto representativo de escenarios ambientales y de estratificación.
- Cálculo de la dilución inicial y de la geometría de la pluma (altura terminal de ascenso, desarrollo en horizontal, espesor al final del campo cercano).
- Análisis de sensibilidad respecto a las principales variables geométricas, operativas y ambientales.

9.3 HIPÓTESIS Y LIMITACIONES

El modelo CORMIX se sustenta sobre análisis dimensional y modelos integrales de chorro flotante, con las limitaciones inherentes a su formulación: (i) estado estacionario por escenario, con tratamiento específico de la no estacionariedad de marea únicamente mediante simulaciones a tiempos discretos en torno a los puntos extremos de marea; (ii) representación esquemática de la estratificación ambiental; (iii) simplificaciones geométricas del difusor admitidas por la parametrización del software (diámetro único de puerto, representación equivalente de puertos terminales, profundidad variable contemplada mediante el ángulo del difusor).

9.4 MARCO TEÓRICO

9.4.1 Fenomenología de Descargas Densas

Una descarga de efluentes de rechazo de una planta de desalinización constituye un chorro turbulento de flotación negativa: la densidad del efluente excede la del medio receptor, de manera que la fuerza de flotación actúa en sentido opuesto al impulso inicial vertical. Cuando el puerto se orienta con un ángulo vertical θ_0 respecto a la horizontal (típicamente 60° en diseños optimizados), el chorro asciende hasta una altura terminal y_t en la que el momento vertical se anula, para luego descender por gravedad hasta impactar el lecho en una distancia horizontal x_i medida desde el puerto. A partir del punto de impacto, la mezcla se desarrolla como una corriente de densidad que se propaga sobre el lecho, transición que marca el límite operativo del campo cercano (Roberts et al., 1997; Palomar et al., 2013).

La dilución mínima en el campo cercano SNFR se concentra en la fase ascendente y descendente del chorro, y constituye el indicador primario de eficiencia de la configuración de descarga.

9.4.2 Flujos Cinemáticos en el Puerto

El comportamiento del chorro queda determinado por tres flujos cinemáticos evaluados en la sección de salida del puerto: el flujo volumétrico, el flujo de momento y el flujo de flotación.



$$Q_0 = U_0 \cdot A_0(1)$$

$$M_0 = U_0 \cdot Q_0 = U_0^2 \cdot A_0(2)$$

$$J_0 = Q_0 \cdot g'_0(3)$$

Donde: Q_0 es el caudal volumétrico por puerto [m^3/s]; U_0 la velocidad de salida en el puerto [m/s]; A_0 el área de la sección transversal del puerto [m^2]; M_0 el flujo de momento cinemático [m^4/s^2]; J_0 el flujo de flotación cinemática [m^4/s^3]; y g'_0 la gravedad reducida en el puerto, definida según la ecuación (4).

$$g'_0 = g \cdot (\rho_0 - \rho_a) / \rho_a(4)$$

Donde: g es la aceleración de la gravedad [m/s^2]; ρ_0 la densidad del efluente [kg/m^3]; y ρ_a la densidad del medio receptor a la cota de descarga [kg/m^3].

Para descargas de efluentes de rechazo de una planta de desalinización $\rho_0 > \rho_a$, por lo que $g'_0 > 0$ en valor absoluto y la fuerza de flotación neta actúa en sentido descendente.

9.4.3 Número de Froude Densimétrico

El parámetro adimensional dominante en chorros de flotación negativa es el número de Froude densimétrico, que relaciona las fuerzas de inercia con las fuerzas de flotación en el puerto.

$$Fr_d = U_0 / \sqrt{(g'_0 \cdot D)}(5)$$

Donde: D es el diámetro del puerto [m]. Las restantes magnitudes se definen en las ecuaciones (1) a (4).

Valores típicos en descargas optimizadas de efluentes de rechazo de una planta de desalinización se sitúan en el rango $Fr_d = 20$ a 40 . Fr_d gobierna la altura terminal de ascenso, la posición del punto de impacto y la dilución mínima del chorro inclinado (Roberts et al., 1997).

9.4.4 Escalas Características de Longitud

Las escalas características derivadas por análisis dimensional permiten clasificar el régimen del flujo y delimitar las transiciones entre regímenes dominados por momento, por flotación, o por interacción con la corriente ambiente y la estratificación (Doneker y Jirka, 2007). Todas las escalas se construyen a partir de los flujos cinemáticos del puerto (ecuaciones 1 a 3), la velocidad de la corriente ambiente y el gradiente vertical de densidad. La siguiente figura presenta gráficamente las escalas mencionadas en detalle más abajo.



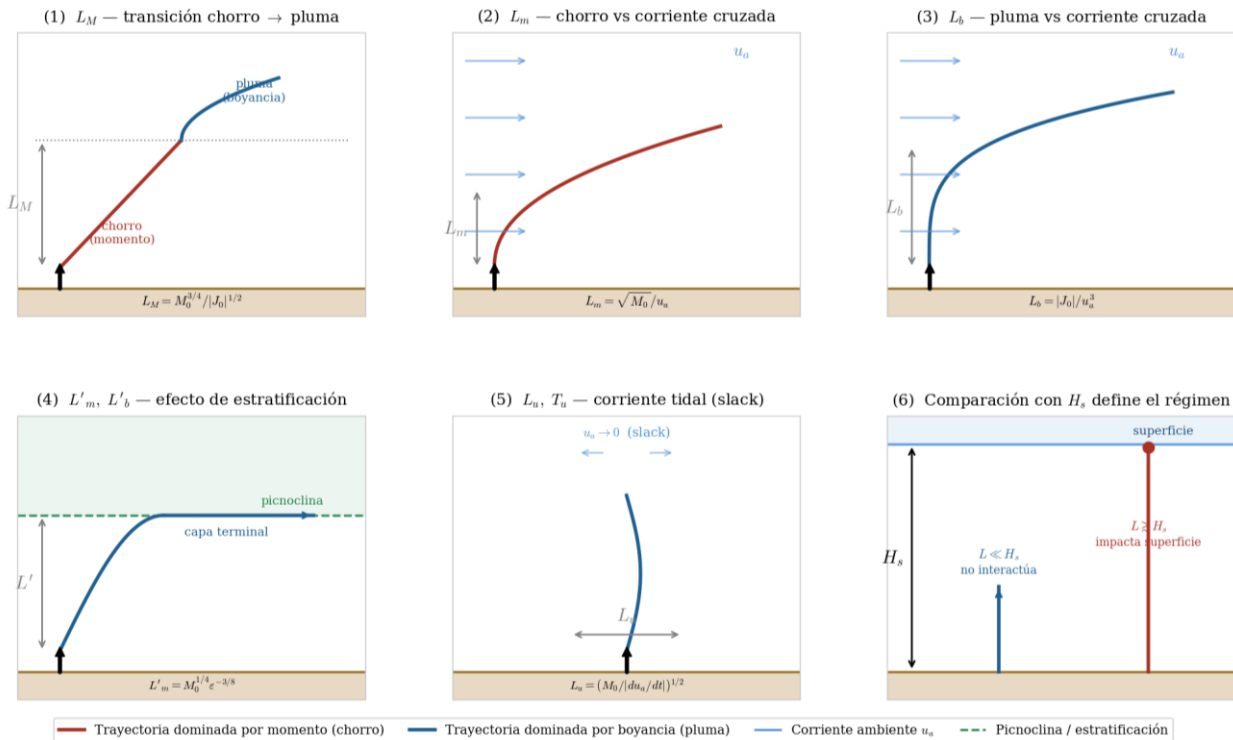


Figura 16. Escalas características de longitud en descargas sumergidas (análisis dimensional CORMIX).

Escala de transición chorro-pluma:

$$L_M = M_0^{3/4} / |J_0|^{1/2} (6)$$

L_M [m] representa la distancia a la cual el flujo transita de comportamiento dominado por inercia (chorro) a comportamiento dominado por flotación (pluma). Para $z \ll L_M$ el flujo es jet-like; para $z \gg L_M$ es plume-like.

Escala chorro-corriente cruzada:

$$L_m = \sqrt{M_0} / u_a (7)$$

Donde: u_a es la velocidad de la corriente ambiente [m/s].

L_m [m] es la distancia más allá de la cual el chorro es deflectado significativamente por la corriente ambiente.

Escala pluma-corriente cruzada:

$$L_b = |J_0| / u_a^3 (8)$$

L_b [m] es la distancia más allá de la cual la pluma flotante es deflectada significativamente por la corriente ambiente.

Escala chorro-estratificación:

$$L'_m = M_0^{1/4} \cdot \epsilon^{-3/8} (9)$$

[Handwritten signature]

Escala pluma–estratificación:

$$L'_b = |J_0|^{1/4} \cdot \varepsilon^{-3/8} (10)$$

Donde: ε es el parámetro de estratificación [s^{-2}], definido en la ecuación (11).

L'_m y L'_b [m] representan las distancias a las cuales la estratificación ambiente comienza a influir significativamente sobre el chorro y la pluma, respectivamente, induciendo eventual atrapamiento de la pluma a una cota de equilibrio.

$$\varepsilon = - (g / \rho_a) \cdot (d\rho_a / dz) (11)$$

Donde: $d\rho_a / dz$ es el gradiente vertical de densidad ambiente [kg/m^4]; g y ρ_a se definen en la ecuación (4).

ε tiene dimensiones de [s^{-2}] y representa el cuadrado de la frecuencia de Brunt–Väisälä. Para $d\rho_a / dz < 0$ (estratificación estable), $\varepsilon > 0$.

9.4.5 Escalas para Condiciones de Marea no Estacionarias

Cuando el medio receptor presenta inversión de corriente (slack tide), las escalas estacionarias L_m y L_b se tornan inadecuadas al aproximarse $u_a \rightarrow 0$. Para describir el régimen transitorio se introduce una relación entre la aceleración ambiente y el flujo de momento del chorro (Nash, 1995).

Escala chorro–corriente cruzada no estacionaria:

$$L_u = (M_0 / |du_a / dt|)^{1/2} (12)$$

Escala temporal chorro–corriente cruzada no estacionaria:

$$T_u = (1 / |du_a / dt|)^{1/2} \cdot M_0^{-1/4} (13)$$

Donde: $|du_a / dt|$ es el módulo de la aceleración temporal de la corriente ambiente [m/s^2]; M_0 se define en la ecuación (2).

L_u [m] es la distancia de propagación efectiva del chorro durante el episodio de reversión, y T_u [s] es el tiempo durante el cual la descarga puede considerarse efectivamente como vertida en medio estancado.

9.4.6 Dilución y Trazador

La dilución sobre el eje de la pluma se define como la razón entre el exceso de concentración del trazador en la descarga y el exceso de concentración local del trazador.

$$S(x) = (c_0 - c_a) / (c(x) - c_a) (14)$$

Donde: c_0 es la concentración del trazador en la descarga; c_a la concentración del trazador en el ambiente; $c(x)$ la concentración local sobre el eje de la pluma a distancia x del puerto; y $S(x)$ la dilución [adimensional].

Para soluciones salinas concentradas, el trazador adoptado es el exceso de salinidad sobre el ambiente $\Delta S = S - S_a$, tratado como sustancia conservativa.



9.5 DATOS DE ENTRADA

9.5.1 Caracterización del Cuerpo Receptor

La caracterización del estuario en el entorno del difusor requiere los siguientes elementos: (i) batimetría local, en particular la profundidad de descarga H_d y la profundidad media H_a y pendiente del lecho representativas de la región activa de la pluma; (ii) régimen hidrodinámico, descrito por la velocidad en caso de realizar una simulación estacionaria, o bien la velocidad máxima tidal $U_{A,max}$ y el ciclo de variación temporal de la corriente, incluyendo los instantes de slack tide, en caso de realizar una simulación no estacionaria; (iii) densidad del medio o bien la distribución vertical de densidad, derivada de perfiles de salinidad y temperatura mediante la ecuación de estado del agua de mar (UNESCO, 1981).

En la Figura 17 se presentan la disposición en planta del emisario y la estimación de la pendiente del lecho en el sector donde se sería instalado el difusor, a unos 110 metros de la costa.

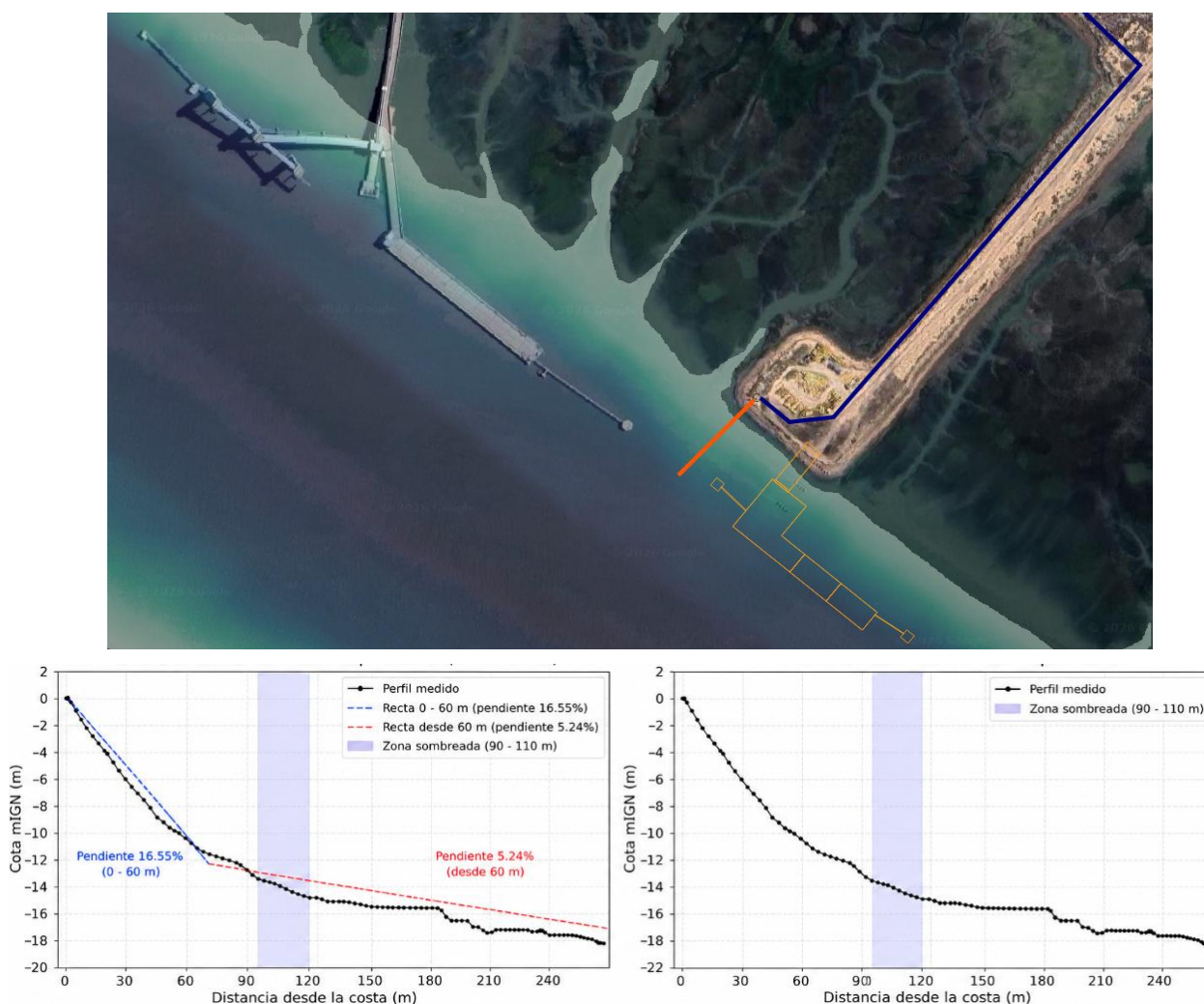


Figura 17. Ubicación en planta del emisario y estimación de pendientes del lecho.

[Signature]

9.5.2 Caracterización del Efluente

El efluente queda definido por su caudal de descarga Q_0 , salinidad S_0 , temperatura T_0 y la densidad resultante ρ_0 . La densidad del agua de mar se evalúa mediante la ecuación de estado UNESCO (1981) en función de salinidad y temperatura. El parámetro de interés para la modelación es el exceso de densidad $\Delta\rho = \rho_0 - \rho_a$, evaluado para la densidad ambiente a la cota de descarga.

En la Tabla 7 se presentan los principales parámetros según la condición estacional.

Tabla 7. Parámetros de ingreso de la descarga en el modelo CORMIX

Parámetro	Condición de Verano	Condición de Invierno
Caudal (m ³ /h)	2300	2300
Salinidad (mg/l)	63237	46958
Temperatura (°C)	28	5
Densidad (kg/m ³)	1043,27	1033,23

Se adoptó la opción “Brine Discharge” del modelo matemático, y una diferencia de salinidad entre la descarga y el medio igual a 21079 mg/l.

9.5.3 Geometría del Difusor

El difusor queda caracterizado por su longitud total, el número de risers N , la separación entre risers s , la alineación del eje del difusor respecto a la corriente predominante y respecto a la margen más próxima. Cada riser se describe mediante su altura sobre el lecho y_0 , el diámetro del puerto D , el ángulo vertical θ_0 (referencia: 60° para chorros densos optimizados) y el ángulo horizontal σ relativo al eje del difusor.

La condición de no fusión de chorros adyacentes se verifica a priori comparando la separación adimensional entre risers con la trayectoria proyectada del chorro individual, conforme al criterio:

$$s / (D \cdot Fr_d) > C_{merge}(15)$$

Donde: s es la separación entre risers [m]; D el diámetro del puerto [m]; Fr_d el número de Froude densimétrico definido en la ecuación (5); y C_{merge} un coeficiente empírico [adimensional] del orden de 0,5 a 1, dependiente del ángulo de descarga y de la orientación relativa de los puertos.

El no cumplimiento de este criterio invalida la hipótesis de chorros independientes asumida por CORMIX2 y obligaría a tratar el conjunto como un chorro plano equivalente.

Se consideraron 5 risers con la configuración que se presenta en la Figura 18. Los parámetros geométricos ingresados en el modelo se presentan en la Figura 19.



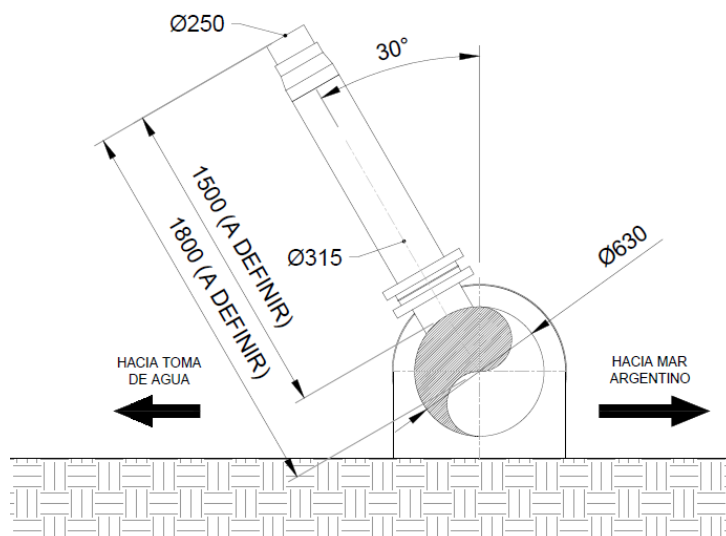


Figura 18. Geometría característica de los puertos del difusor modelado.

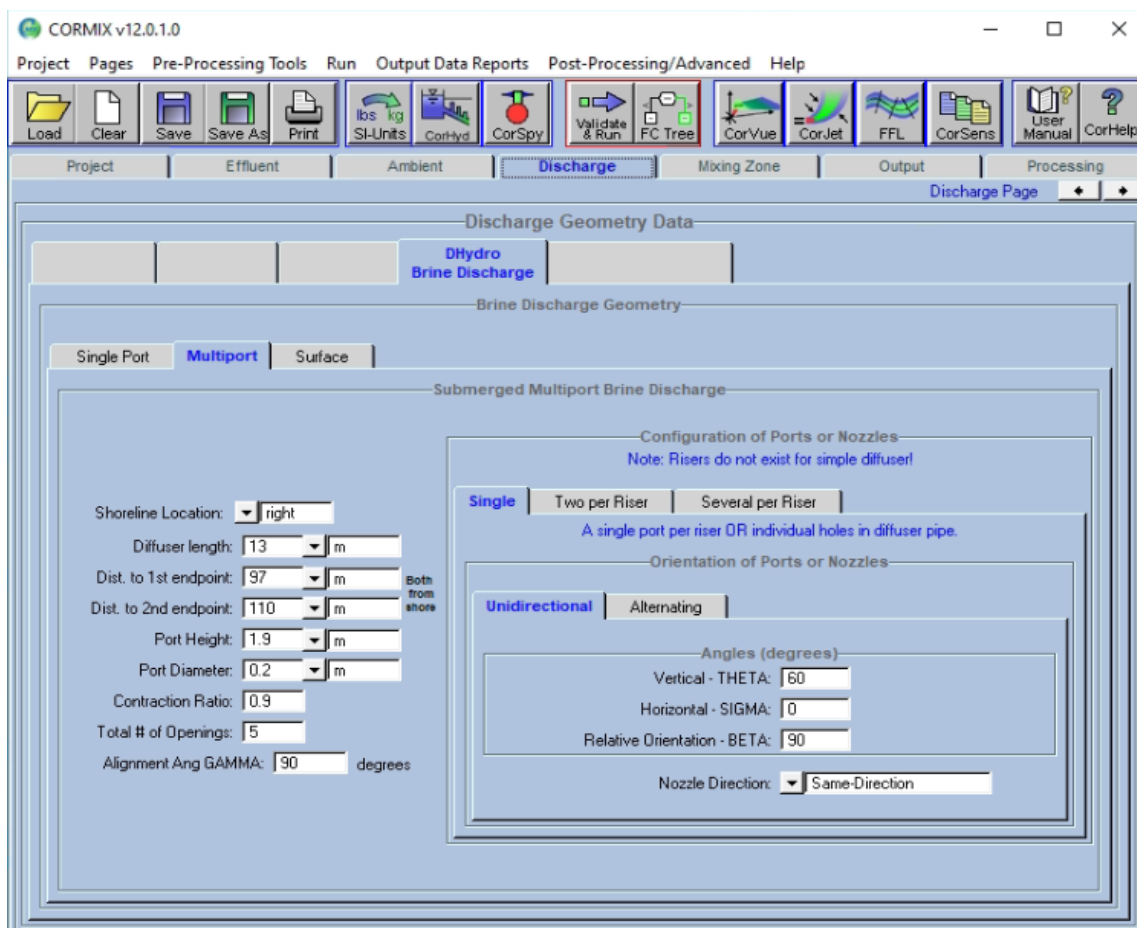


Figura 19. Pantalla de parámetros de ingreso del difusor en el modelo CORMIX.

[Firma manuscrita]

9.5.4 Modelación e Implementación

Se selecciona el módulo CORMIX2 por corresponder a la configuración de difusor multipuerto sumergido. El sistema integra un algoritmo experto de clasificación de flujo basado en análisis dimensional, que selecciona automáticamente la secuencia de módulos hidrodinámicos aplicables en función de los flujos cinemáticos del efluente (ecuaciones 1 a 3), la geometría del difusor y las condiciones ambientales.

Para cada escenario ambiente se completa la lista de verificación de datos (efluente, geometría ambiental, campo de flujo, densidad ambiente, geometría de descarga y zona de mezcla) conforme a la práctica estándar (Doneker y Jirka, 2007). La región de interés (ROI) se extiende hasta una distancia suficiente para englobar la posición de la obra de toma, lo que permite obtener una traza preliminar de la pluma más allá del campo cercano estricto, con las salvedades propias de la formulación del modelo en dicho dominio.

9.5.5 Tabla Resumen de Escenarios

Convenciones: La nomenclatura sistemática codifica las variables principales del escenario:

Y##-##m: rango batimétrico cubierto por el difusor en la coordenada transversal (m).

Id##m: longitud total del difusor L_D (m). Si no aparece explícito, $L_D = 13$ m (configuración original).

Hp#-#m: altura del puerto sobre el lecho H_0 (m). Si no aparece, $H_0 = 1,90$ m.

Sigma##: ángulo horizontal del puerto σ ($^\circ$) respecto al eje del difusor. Si no aparece, $\sigma = 0^\circ$.

verano / invierno: temporada de simulación, determinante de la densidad ambiente.

9.5.6 Parámetros Comunes a todos los Escenarios

Velocidad de la corriente ambiente: $u_a = 0,20$ m/s (sentido único, sin reversión tidal). Pendiente del lecho: dos tramos ($\sim 9,4^\circ$ hasta $Y \approx 60$ m, $\sim 3^\circ$ aguas adentro). Número de risers: **N = 5** en todos los escenarios. Ángulo vertical del puerto: **$\theta_0 = 60^\circ$** . Velocidad de salida y caudal por puerto: definidos por el dimensionamiento hidráulico común. La Tabla 8 presenta los escenarios modelados.

Tabla 8. Resumen de escenarios modelados con CORMIX

ID	Nombre corto	L_D	N	H_0	σ	Estación	Notas
Caso 0	Base_Y97_110m_verano	13 m	5	1,90 m	0°	Verano	Configuración base original. Difusor corto.
Caso 0i	Base_Y97_110m_invierno	13 m	5	1,90 m	0°	Invierno	Idéntico al Caso 0 con condiciones de invierno (densidad ambiente).
Caso 1	Base_Y90_110m_Id20m_verano	20 m	5	1,90 m	0°	Verano	Difusor extendido ($LD = 20$ m), tramo $Y = 90-110$ m.
Caso 1b	Base_Y80_110m_Id30m_verano	30 m	5	1,90 m	0°	Verano	Difusor más extendido ($LD = 30$ m), tramo $Y = 80-110$ m.

ID	Nombre corto	L_D	N	H ₀	σ	Estación	Notas
Caso 2.0a	Esc2_0_Hp1_5m_verano	20 m	5	1,50 m	0°	Verano	Variante Caso 1 con altura de puerto reducida a 1,50 m.
Caso 2.0b	Esc2_0_Hp1_9m_verano	20 m	5	1,90 m	0°	Verano	Variante Caso 1, H ₀ = 1,90 m. Referencia para sensibilidad de H ₀ .
Caso 2.1	Esc2_1_Hp1_5m_verano	20 m	5	1,50 m	0°	Verano	Variante 2.1 del Caso 2.0a (ajuste menor sobre configuración).
Caso 3.0	Esc3_0_Hp1_8m_verano	20 m	5	1,80 m	0°	Verano	Altura intermedia H ₀ = 1,80 m para optimización.
Caso 4.0	Esc4_0_Hp1_8m_Sigma45_verano	20 m	5	1,80 m	45°	Verano	Variante con ángulo horizontal del puerto $\sigma = 45^\circ$.
Caso 4.1	Esc4_1_Y90_120m_Id30m_Hp1_8m_Sigma45	30 m	5	1,80 m	45°	Verano	Variante 4.0 con difusor extendido (LD = 30 m).

9.5.7 Lectura Sugerida de la Matriz de Sensibilidad

Sensibilidad a temporada: comparar Caso 0 vs Caso 0i (verano vs invierno).

Sensibilidad a longitud del difusor: Caso 0 (LD = 13 m) → Caso 1 (LD = 20 m) → Caso 1b (LD = 30 m).

Sensibilidad a altura del puerto: Caso 2.0a (H₀ = 1,5 m) vs Caso 3.0 (H₀ = 1,8 m) vs Caso 2.0b (H₀ = 1,9 m), todos con LD = 20 m.

Sensibilidad al ángulo horizontal σ : Caso 3.0 ($\sigma = 0^\circ$) vs Caso 4.0 ($\sigma = 45^\circ$), ambos con H₀ = 1,8 m y LD = 20 m.

Efecto combinado $\sigma + LD$: Caso 4.0 vs Caso 4.1 (extiende difusor a LD = 30 m manteniendo $\sigma = 45^\circ$).

9.6 RESULTADOS

9.6.1 Clasificación de Flujo y Trayectoria

Para cada escenario se reporta la clase de flujo asignada por el algoritmo de CORMIX (Figura 20) y su interpretación física, en términos del balance entre momento del chorro, flotación negativa, corriente cruzada y estratificación. Se presentan las trayectorias en planta, alzado y sección transversal, identificando la altura terminal de ascenso y_t , la distancia al punto de impacto x_i y el ancho y espesor de la pluma a la salida del campo cercano y_L .



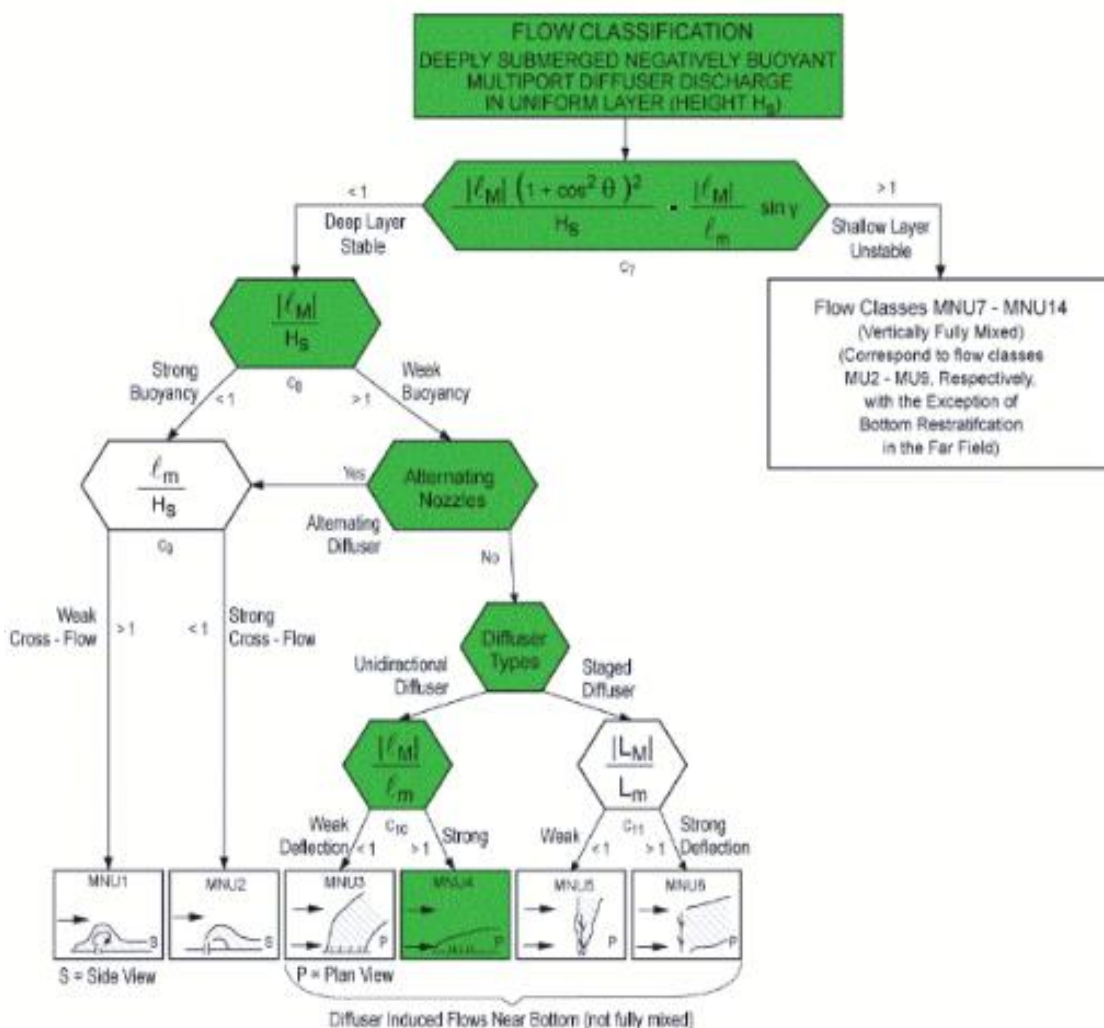


Figura 20. Clase D-CORMIX: MNU4 — descarga densa multipuerto en corriente cruzada.

9.6.2 Dilución y Extensión del Campo Cercano

Se reportan los perfiles longitudinales de dilución a lo largo del eje de la pluma y la dilución mínima alcanzada al final del campo cercano S_{NFR} . Como contraste independiente, los valores predichos por CORMIX se cotejan con las formulaciones semi-empíricas disponibles en la literatura para chorros densos inclinados (Roberts et al., 1997; Kikkert et al., 2007; Papakonstantis et al., 2011), aplicadas a los valores característicos de Fr_d del caso (ecuación 5).

Escenario Base Verano (Caso 0)

Se presentan en la Figura 21 las principales salidas del modelo de Campo Cercano para el caso base, con longitud de difusor de 13m, en condición Verano.

[Signature]

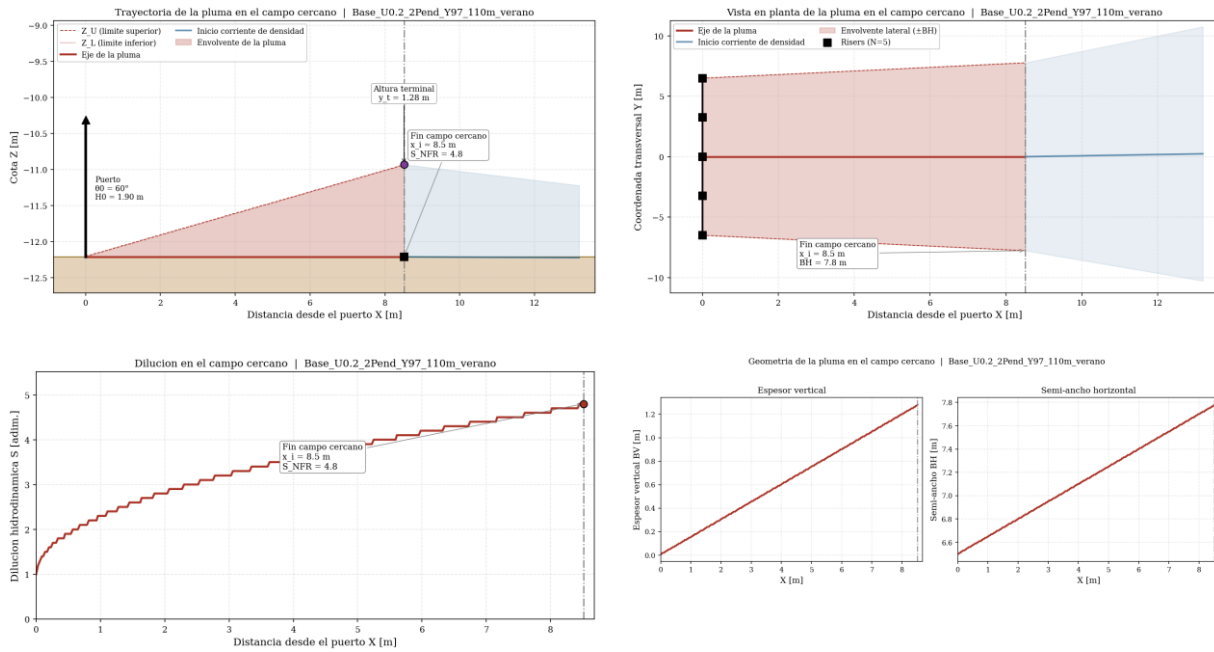


Figura 21. Resultados para el Escenario Base Verano (Caso 0).

Escenario Invierno (Caso 0i)

El escenario de invierno presenta una concentración y solubilidad algo mayor en comparación con la simulación en condiciones de verano, producto de la menor concentración en exceso de la descarga de efluentes de rechazo de una planta de desalinización (Figura 22).

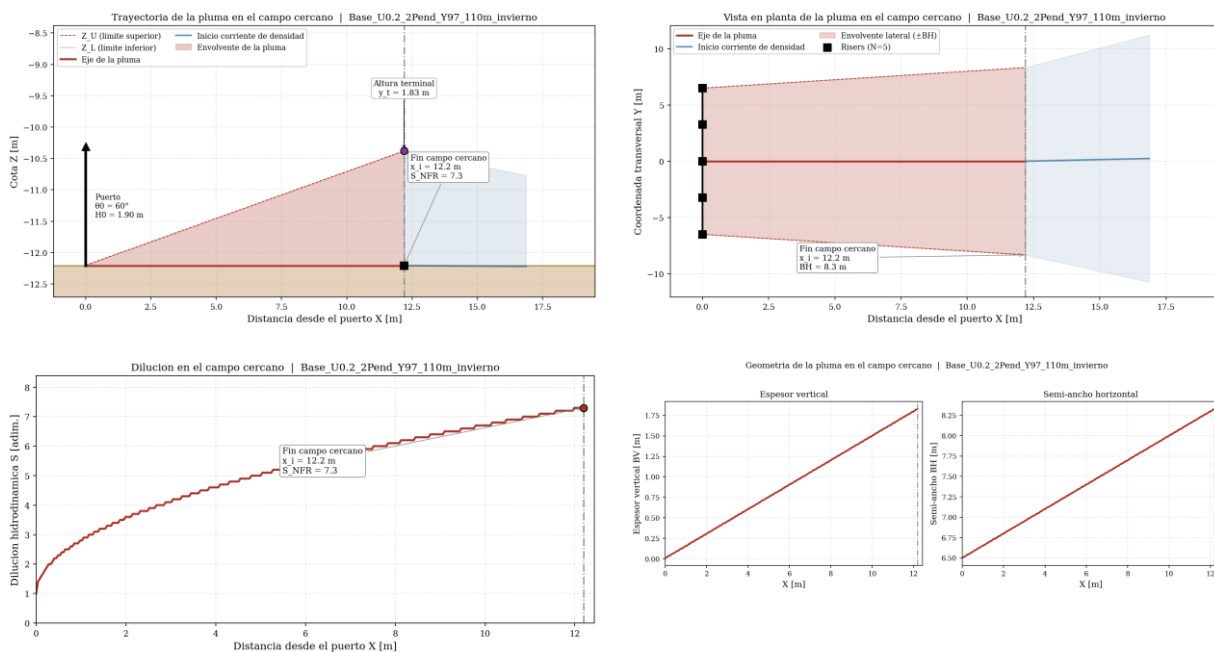


Figura 22. Resultados para el Escenario Invierno (Caso 0i).

[Handwritten signature]

Escenarios con mayor longitud de difusor

Con el objetivo de analizar el efecto de una mayor longitud de la zona de difusión, se simularon las condiciones de verano con un L_d de 20 y 30m. La Figura 23 representa la comparativa de la dilución en campo cercano para estos escenarios, en contraste con los escenarios base.

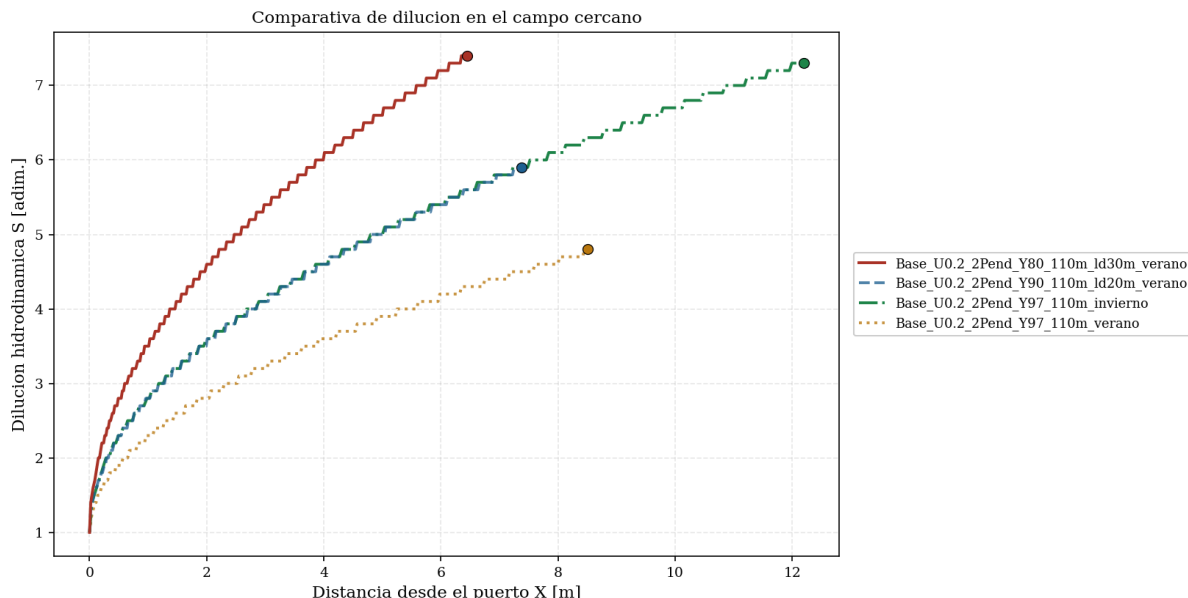


Figura 23. Comparación de dilución alcanzada para diferentes escenarios de L_d

La Figura 24 muestra la comparativa en espesor vertical y semiancho de la pluma dentro del campo cercano para los cuatro escenarios desarrollados, donde se evidencia una marcada diferencia en el ancho de la pluma, producto del difusor. En general el ancho de la pluma se incrementa en un orden del 10% con respecto a la longitud del difusor.

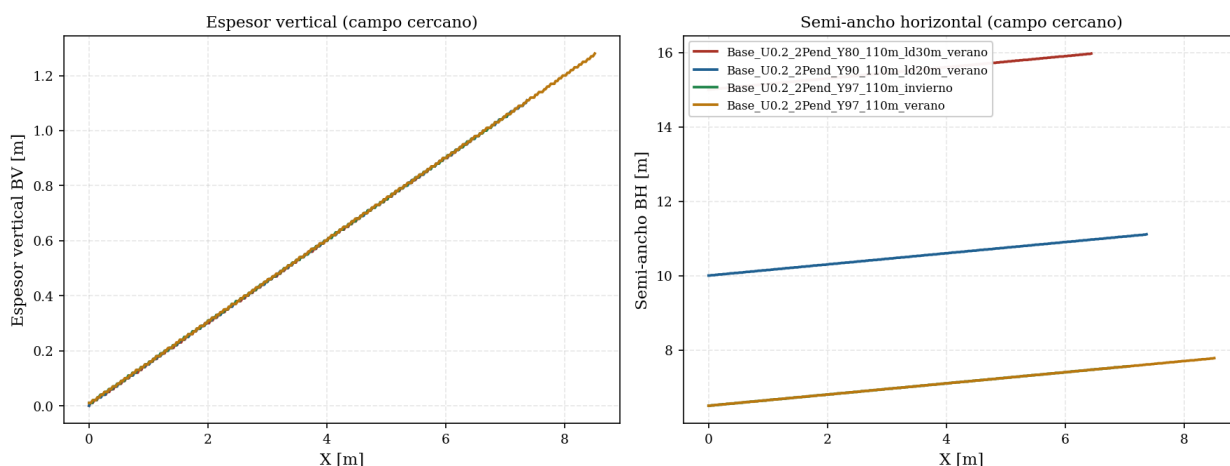


Figura 24. Comparación del espesor vertical y semiancho horizontal alcanzados para diferentes escenarios de L_d

La Tabla 9 presenta los resultados obtenidos para cada escenario. La nomenclatura _U02_2 corresponde a una velocidad del medio $U=0.2\text{m/s}$ (valor que surge de los análisis realizados para el momento en el cual la concentración pico de la pluma pasa por la sección de la toma, presentados en la Figura 28) y la consideración de 2 Pendientes para modelar la sección transversal.

[Firma manuscrita]

Tabla 9. Resumen comparativa para los escenarios base con variación de L_D

Escenario	U0_m_s	LD_m	SPAC_m	H0_m	HD_m	RHO0	RHOA	FRD0	xi_m	yt_m	S_NFR	BV_NFR_m	BH_NFR_m
Base_U0.2_2Pend_Y80_110m_ld30m_verano	5.894	30	7.5	1.9	11.76	1043.3	1029.6	37.5	6.44	0.96	7.4	0.97	16
Base_U0.2_2Pend_Y90_110m_ld20m_verano	5.894	20	5	1.9	12.03	1043.3	1029.6	37.5	7.37	1.11	5.9	1.11	11.1
Base_U0.2_2Pend_Y97_110m_invierno	5.894	13	3.25	1.9	12.21	1033.2	1025.3	49.1	12.19	1.83	7.3	1.83	8.3
Base_U0.2_2Pend_Y97_110m_verano	5.894	13	3.25	1.9	12.21	1043.3	1029.6	37.5	8.51	1.28	4.8	1.28	7.8

Nota: BV es el espesor de la pluma en el final del campo cercano y BH su ancho.

9.6.3 Análisis de Sensibilidad

Se evalúa la sensibilidad de los indicadores clave (dilución mínima, extensión del campo cercano, traza direccional de la pluma) frente a las principales variables: longitud del difusor, altura del riser y ángulo respecto a la corriente. El objetivo es identificar las variables de control efectivo y acotar la incertidumbre asociada a la caracterización ambiental. La Tabla 10 presenta un resumen de los resultados obtenidos.

Tabla 10. Resumen comparativa para los escenarios de Sensibilidad

Escenario	U0_m_s	Q0_m3_s	LD_m	SPAC_m	H0_m	HD_m	SIGMA_deg	xi_m	yt_m	S_NFR	BV_NFR_m	BH_NFR_m
Base_U0.2_2Pend_Y97_110m_verano	5.894	0.833	13	3.3	1.9	12.21	0	8.51	1.28	4.8	1.28	7.8
Esc2.0_U0.2_2Pend_Y90_110m_ld20m_Hp1.9m_verano	5.894	0.833	20	5.0	1.9	12.03	0	7.37	1.11	5.9	1.11	11.1
Esc2.1_U0.2_2Pend_Y90_110m_ld20m_Hp1.5m_verano	5.894	0.833	20	5.0	1.5	12.03	0	7.37	1.11	5.9	1.11	11.1
Esc3.0_U0.2_2Pend_Y90_110m_ld20m_Hp1.8m_verano	5.894	0.833	20	5.0	1.8	12.03	0	7.37	1.11	5.9	1.11	11.1
Esc4.0_U0.2_2Pend_Y90_110m_ld20m_Hp1.8m_Sigma45_verano	5.894	0.833	20	5.0	1.8	12.03	45	7.37	0.88	5.9	1.11	11.1
Esc4.1_U0.2_2Pend_Y90_120m_ld30m_Hp1.8m_Sigma45_verano	5.894	0.833	30	7.5	1.8	12.03	45	6.44	0.83	7.4	0.97	16

La Figura 25 representa la comparativa de la dilución en campo cercano para estos escenarios de sensibilidad, en contraste con los escenarios base. Se observa que la altura de risers H_p y el ángulo del puerto con respecto a la corriente no tienen efecto sobre la dilución en campo cercano.

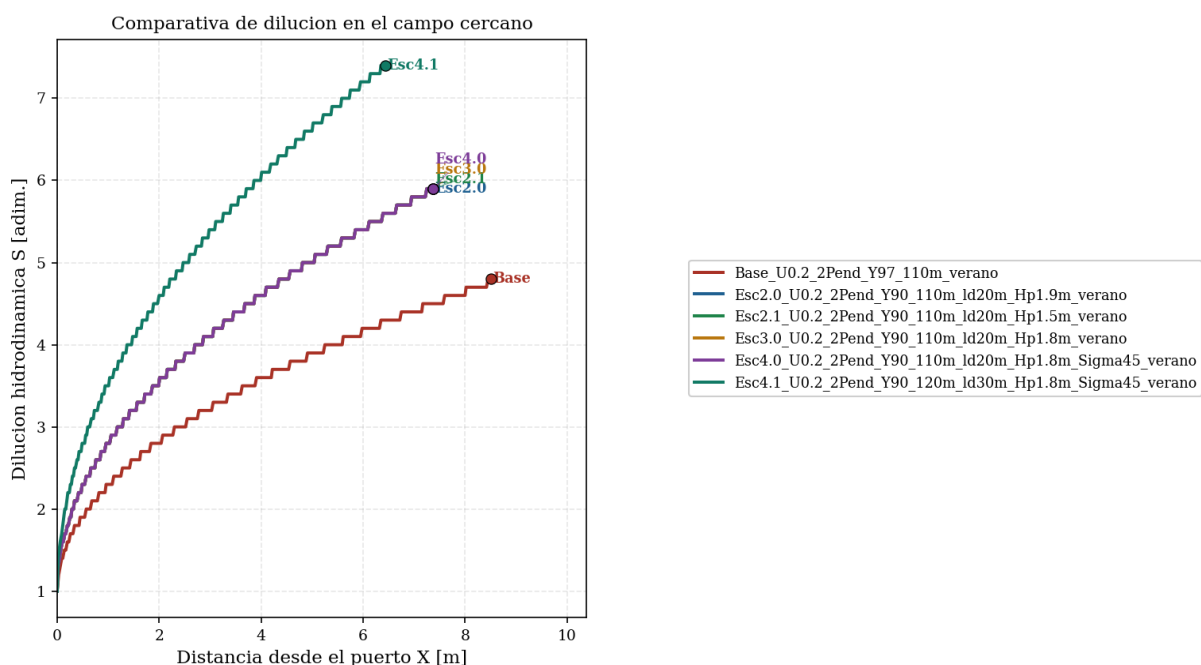


Figura 25. Comparación de dilución alcanzada para diferentes escenarios de Sensibilidad

[Firma manuscrita]

La Figura 30 muestra la comparativa en espesor vertical y semiancho de la pluma dentro del campo cercano para los escenarios de Sensibilidad, donde se evidencia que la única influencia significativa en el ancho de la pluma se correlaciona con la longitud del difusor.

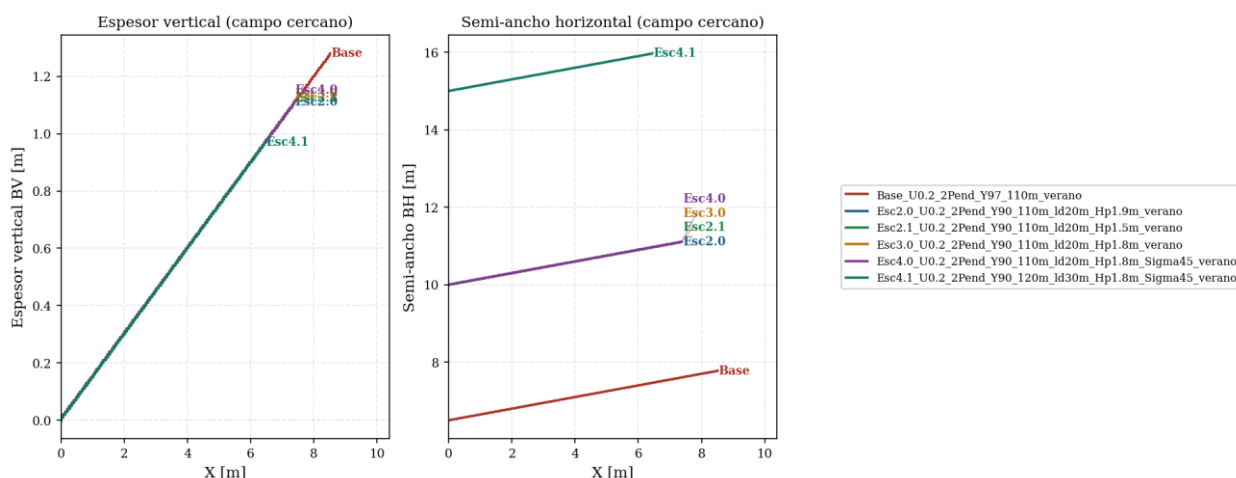


Figura 26. Comparación del espesor vertical y semiancho horizontal alcanzados para diferentes escenarios de Sensibilidad

10 MODELIZACIÓN DEL CAMPO LEJANO DE LA PLUMA EN 3D

10.1 CONFIGURACIÓN DEL MODELO 3D

El dominio del modelo tridimensional que se ilustra en la Figura 27 abarca 500 m al sudeste de la descarga y 200 m al noroeste de la toma CPB, por tanto, tiene 1,15 km de longitud por 170 m de ancho (desde la cota -2,5 mIGN en el límite costero). Las celdas son de 3 m de ancho por 6 m de longitud.

El modelo tridimensional considera únicamente un estado estacionario en el cual las velocidades se corresponden con las del inicio de la creciente en el momento en el cual el centro de la pluma pasa por la toma. Los valores de profundidad y velocidad en ese instante van cambiando de ciclo en ciclo según las variaciones de las mareas, como se puede apreciar en la Figura 28, por lo que se adoptaron condiciones típicas promedio de estos parámetros.

No se reproduce la acumulación de salinidad durante la estoa de bajamar previa, por tal motivo las concentraciones promediadas en la vertical son muy inferiores a las que se obtienen en el modelo bidimensional.

En relación con la descarga salina, se modelaron las condiciones en la frontera del campo cercano, tanto en ancho y espesor de la pluma como en concentración. Se adoptaron coeficientes de dispersión horizontal y vertical de 0,1 m²/s y 0,01 m²/s respectivamente. Adicionalmente, se evaluó el efecto de aplicar coeficientes de dispersión horizontal y vertical escalados según viscosidad en un factor de 1,3.

Al producirse la descarga salina cercana al fondo, el siguiente análisis muestra resultados para el intradós de la toma CPB, con el objetivo de evaluar las condiciones de salinidad más desfavorables que rondarían la zona de toma.

[Firma manuscrita]

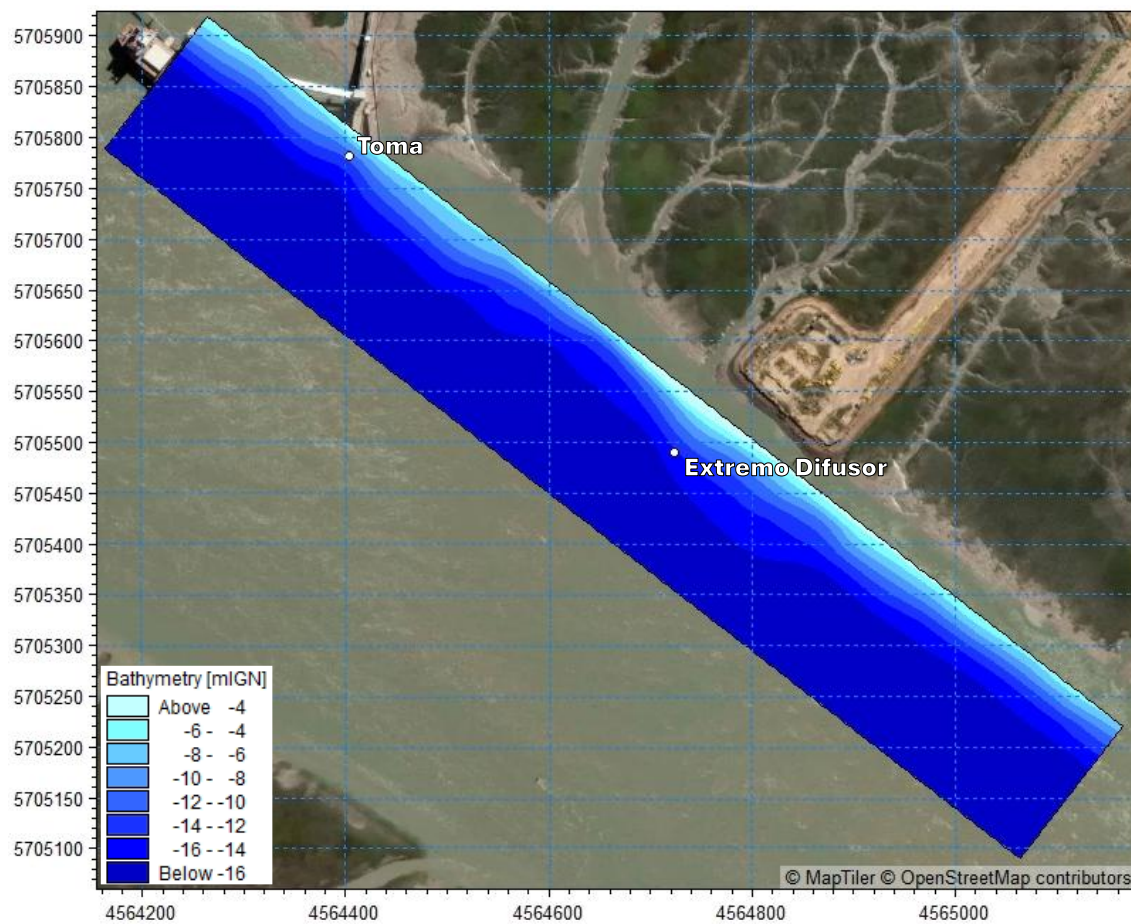


Figura 27. MDE utilizado para el modelo 3D referido al Cero IGN.

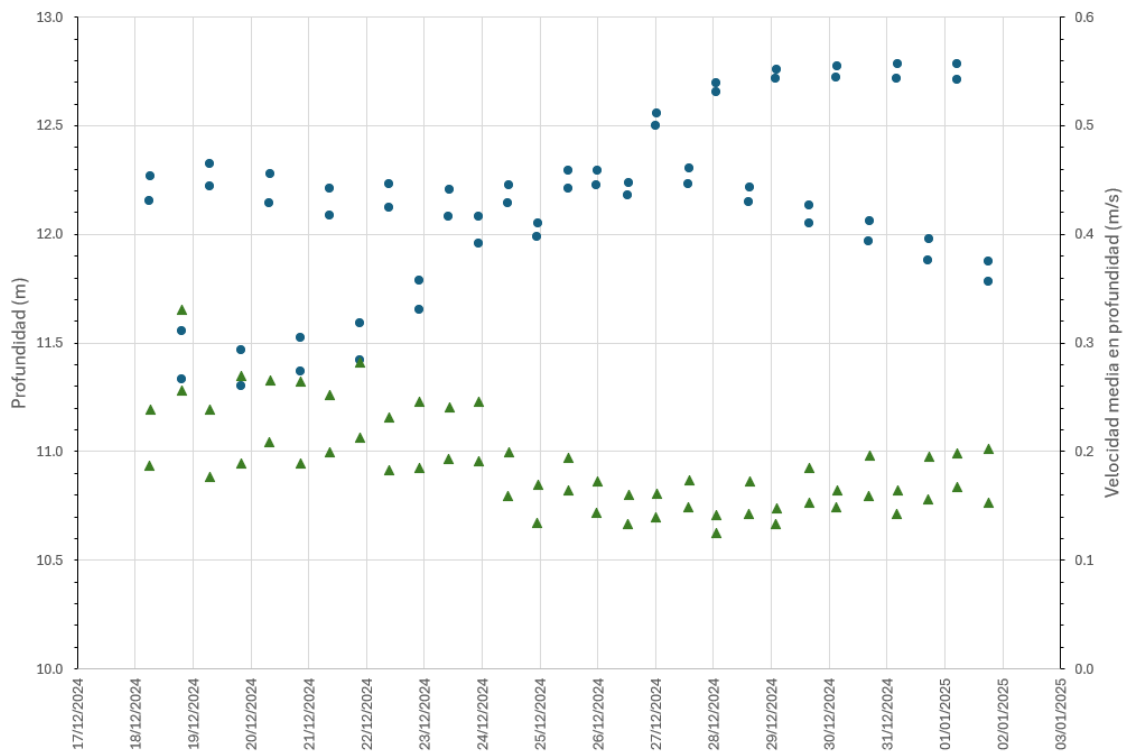


Figura 28. Condiciones de profundidad y velocidad promedio en la zona del difusor de la descarga cuando el pico de salinidad pasa por la Toma.

10.2 ANÁLISIS SEGÚN LONGITUD DEL DIFUSOR

10.2.1 Escenario Verano

La Figura 29 muestra la pluma salina a la altura del intradós de la toma para las condiciones con difusor de 30 m: ancho en interfase con campo lejano de 32 m, espesor de 1 m y exceso de concentración de 2,85 PSU según resultados derivados de la implementación del modelo CORMIX.

En la Figura 30 se presenta el perfil a lo largo del eje de la pluma y el perfil hasta la toma CPB.

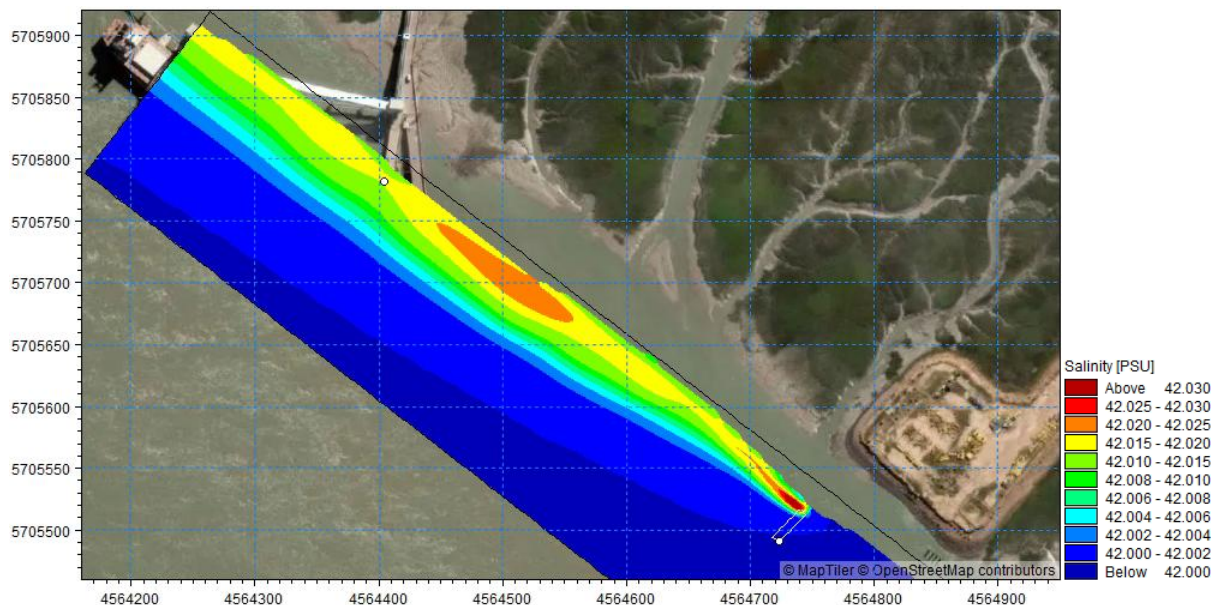


Figura 29. Escenario Verano con Difusor de 30 m. Salinidad a la altura del intradós de la toma CPB.

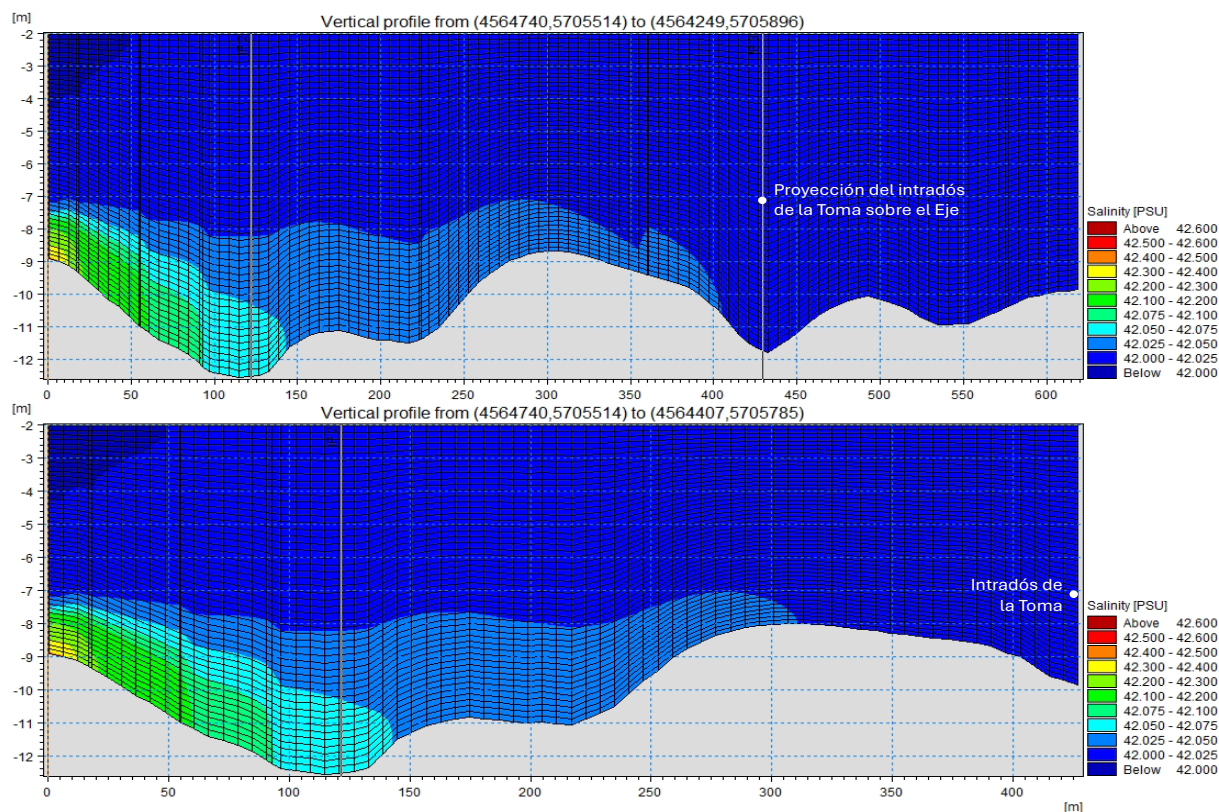


Figura 30. Escenario Verano con Difusor de 30 m. Perfil a lo largo del eje de la pluma (arriba) y el perfil hasta la toma CPB (abajo).

La Figura 31 muestra la pluma salina a la altura del intradós de la toma para las condiciones con difusor de 20 m: ancho en interfase con campo lejano de 22,2 m, espesor de 1,1 m y exceso de concentración de 3,56 PSU según resultados derivados de la implementación del modelo CORMIX.

En la Figura 32 se presenta el perfil a lo largo del eje de la pluma y el perfil hasta la toma CPB.

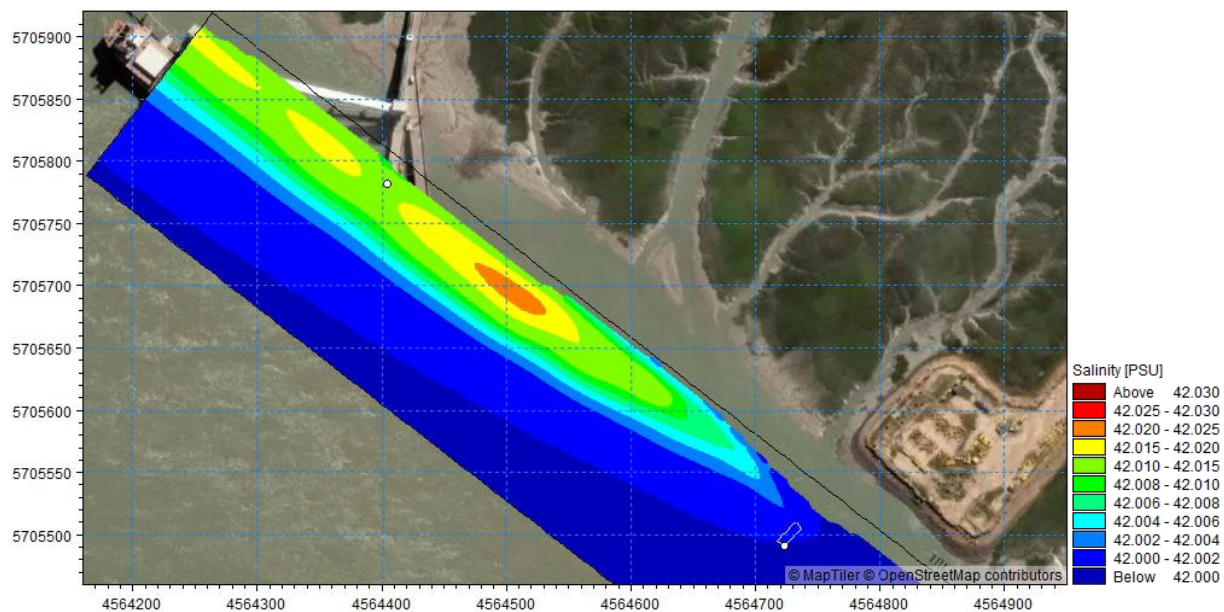


Figura 31. Escenario Verano con Difusor de 20 m. Salinidad a la altura del intradós de la toma CPB.

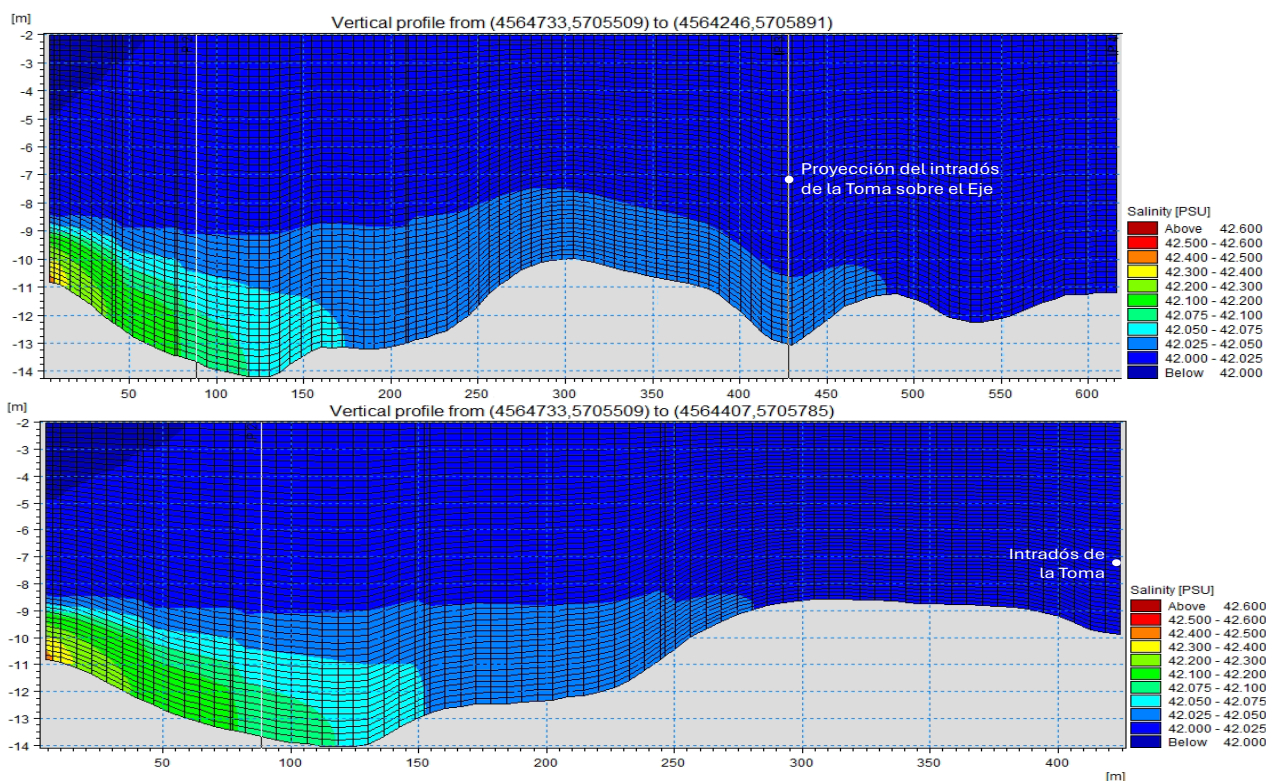


Figura 32. Escenario Verano con Difusor de 20 m. Perfil a lo largo del eje de la pluma (arriba) y el perfil hasta la toma CPB (abajo).

[Signature]

La Figura 33 muestra la pluma salina a la altura del intradós de la toma para las condiciones con difusor de 13 m: ancho en interfase con campo lejano de 15,6 m, espesor de 1,3 m y exceso de concentración de 4,4 PSU según resultados derivados de la implementación del modelo CORMIX.

En la Figura 34 se presenta el perfil a lo largo del eje de la pluma y el perfil hasta la toma CPB.

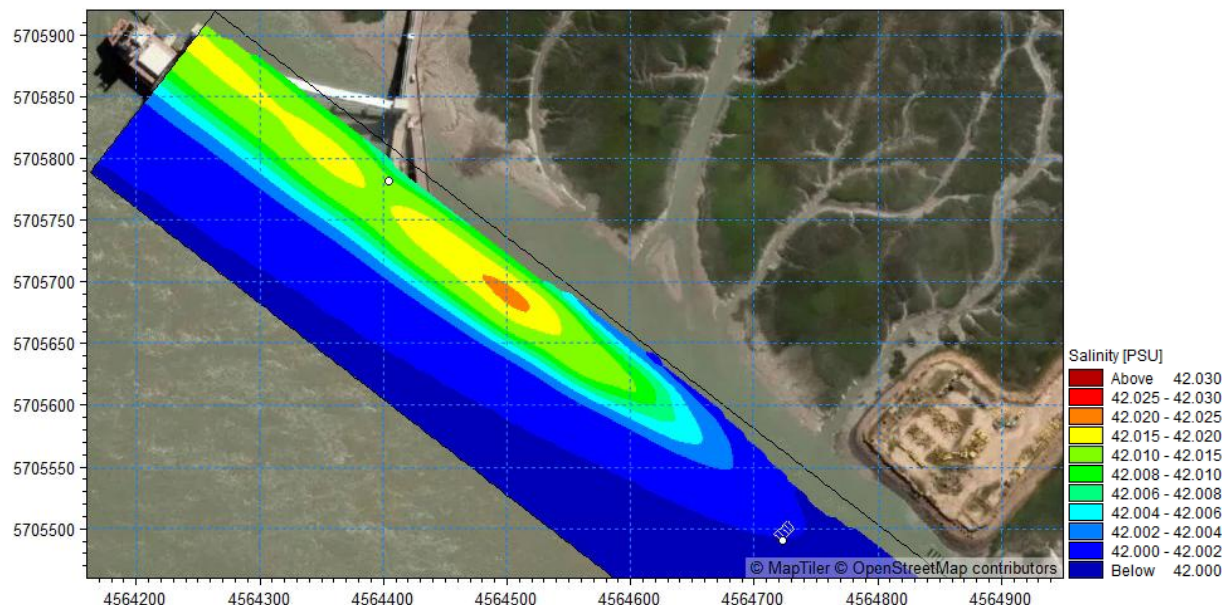


Figura 33. Escenario Verano con Difusor de 13 m. Salinidad a la altura del intradós de la toma CPB.

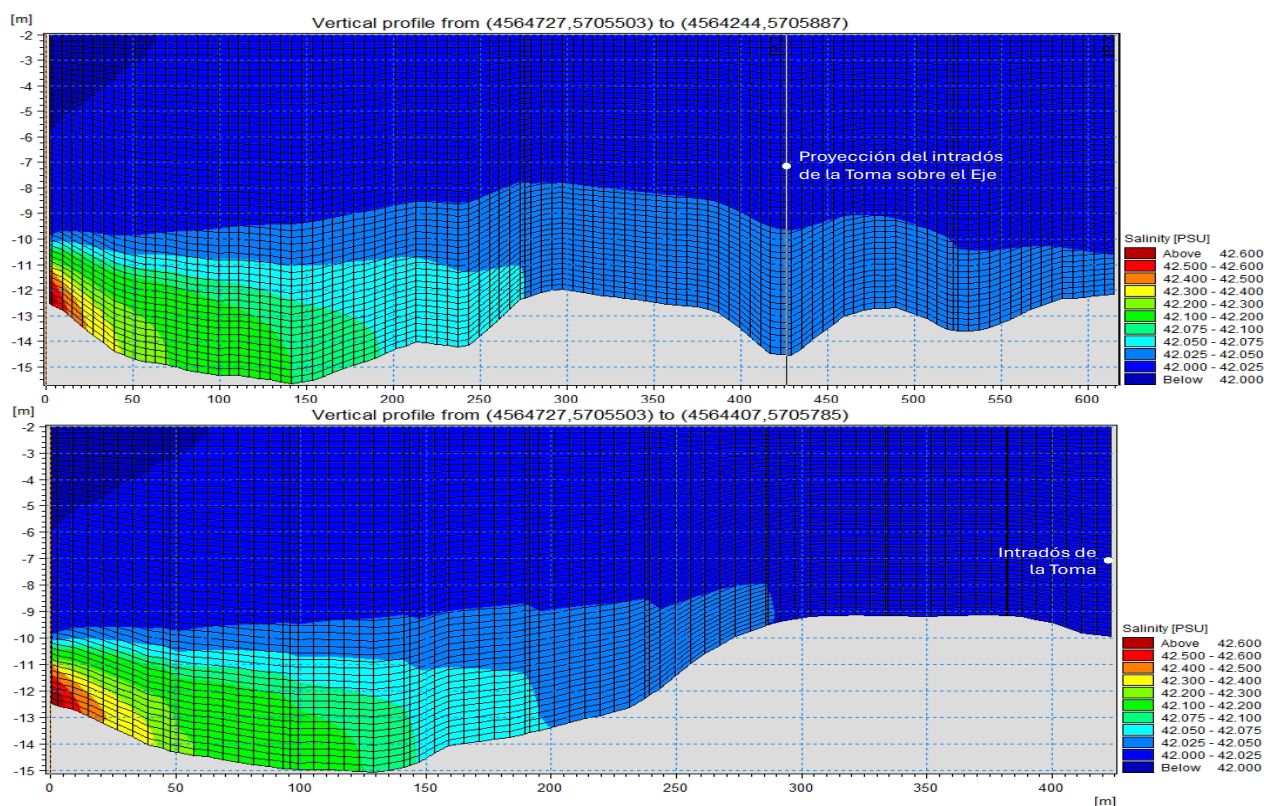


Figura 34. Escenario Verano con Difusor de 13 m. Perfil a lo largo del eje de la pluma (arriba) y el perfil hasta la toma CPB (abajo).

[Signature]

Se evaluaron longitudes más cortas de difusor: 6,5 m y 3,25 m. Como dichas longitudes no son modelables en CORMIX considerando risers independientes, se estimaron los parámetros de la pluma a partir de los parámetros obtenidos para un difusor de 13 m.

La Figura 35 muestra la pluma salina a la altura del intradós de la toma para las condiciones con difusor de 6,5 m: ancho en interfase con campo lejano de 7,8 m, espesor de 1,3 m y exceso de concentración de 8,8 PSU según surge de la interpolación del modelo CORMIX.

En la Figura 36 se presenta el perfil a lo largo del eje de la pluma y el perfil hasta la toma CPB.

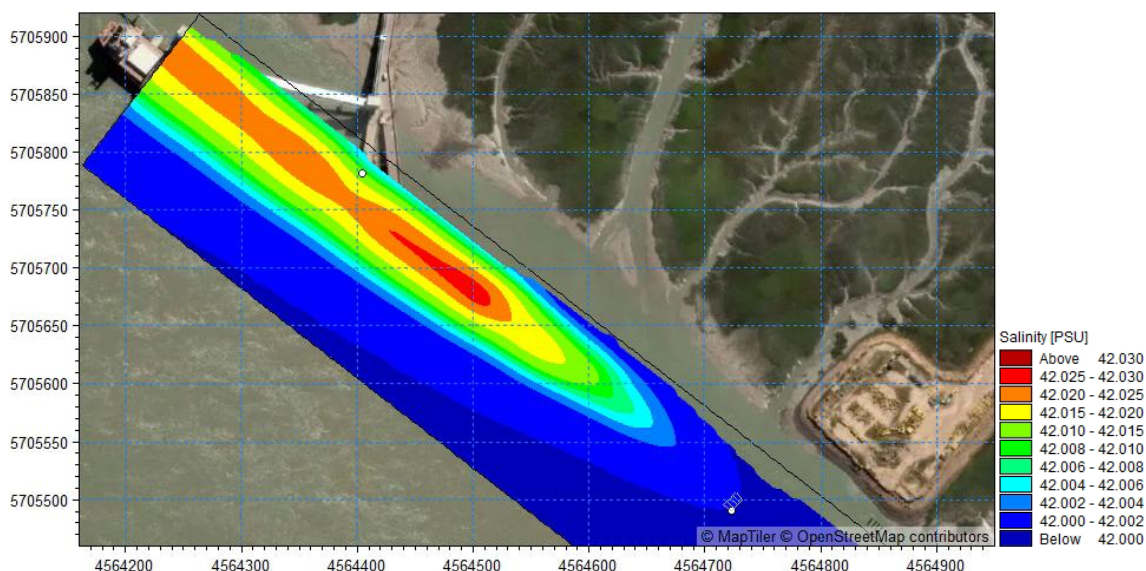


Figura 35. Escenario Verano con Difusor de 6,5 m. Salinidad a la altura del intradós de la toma CPB.

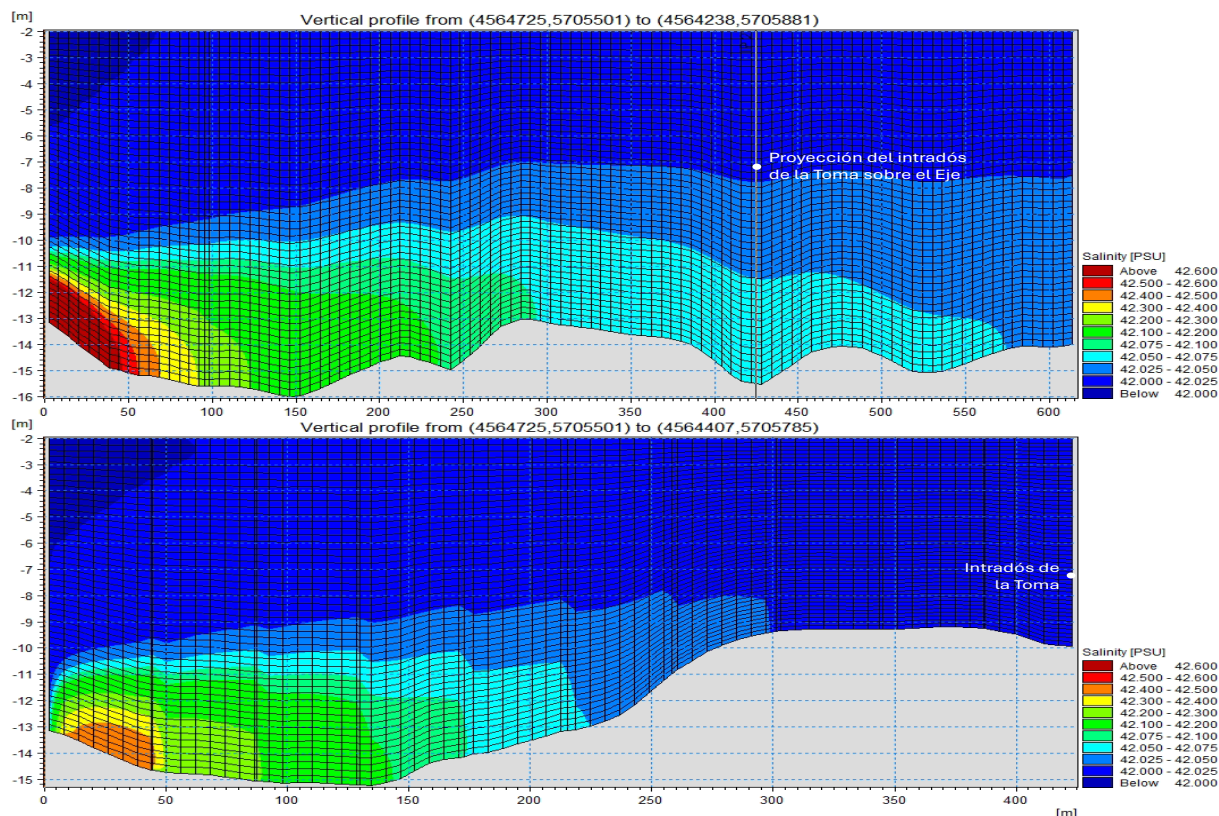


Figura 36. Escenario Verano con Difusor de 6,5 m. Perfil a lo largo del eje de la pluma (arriba) y el perfil hasta la toma CPB (abajo).

La Figura 37 muestra la pluma salina a la altura del intradós de la toma para las condiciones con difusor de 3,25 m: ancho en interfase con campo lejano de 3,9 m, espesor de 1,3 m y exceso de concentración de 17,6 PSU según surge de la interpolación del modelo CORMIX.

En la Figura 38 se presenta el perfil a lo largo del eje de la pluma y el perfil hasta la toma CPB.

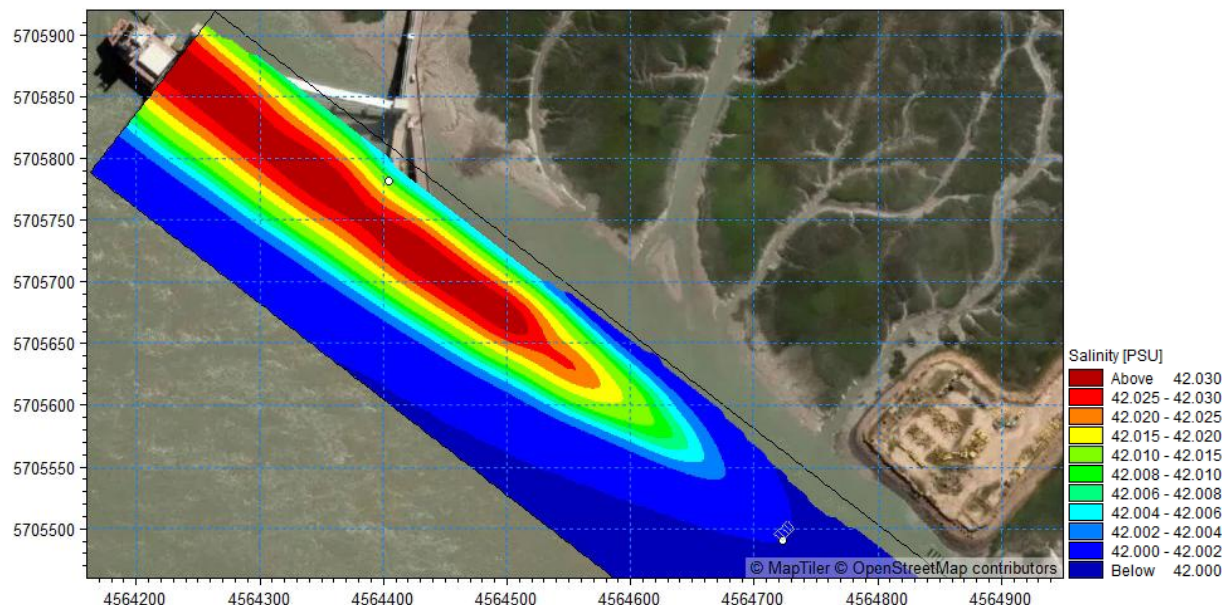


Figura 37. Escenario Verano con Difusor de 3,25 m. Salinidad a la altura del intradós de la toma CPB.

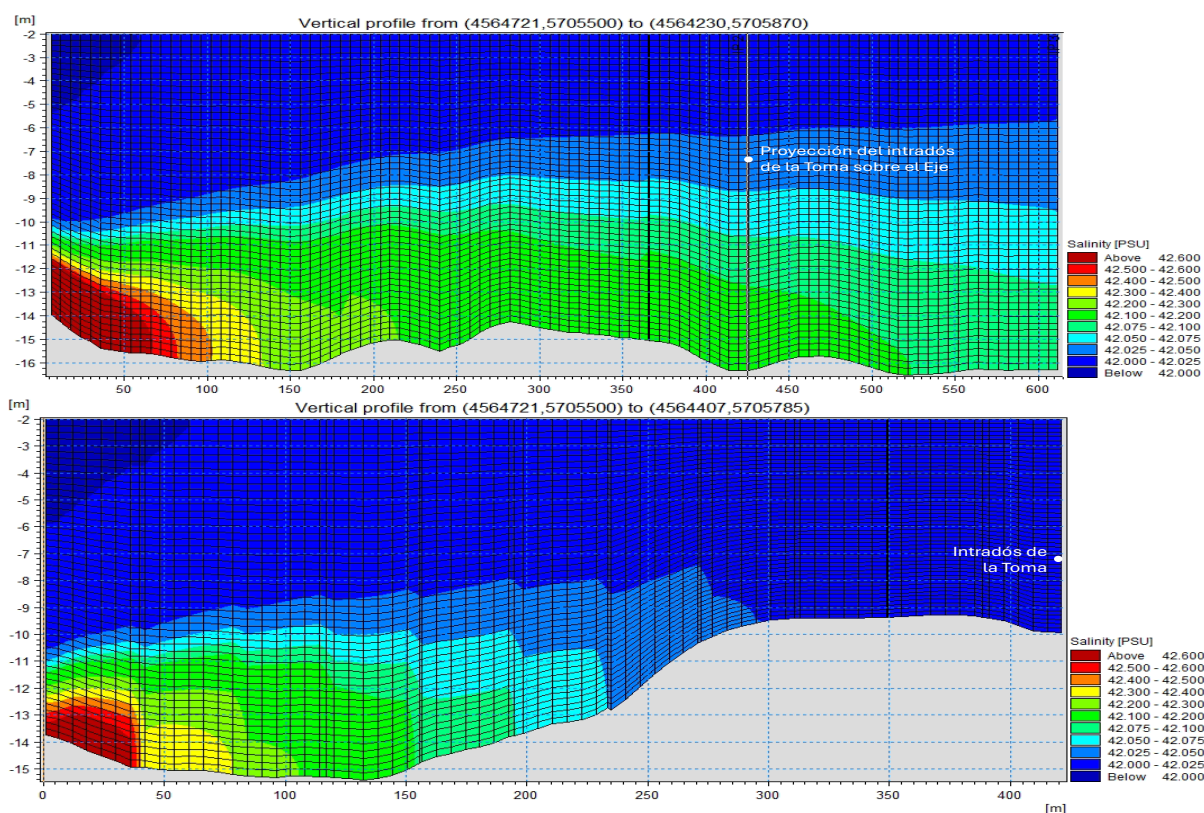


Figura 38. Escenario Verano con Difusor de 3,25 m. Perfil a lo largo del eje de la pluma (arriba) y el perfil hasta la toma CPB (abajo).

[Handwritten signature]

10.2.2 Escenario Invierno

La Figura 39 muestra la pluma salina a la altura del intradós de la toma para las condiciones con difusor de 13 m: ancho en interfase con campo lejano de 16,7 m, espesor de 1,8 m y exceso de concentración de 2,14 PSU según resultados derivados de la implementación del modelo CORMIX.

En la Figura 40 se presenta el perfil a lo largo del eje de la pluma y el perfil hasta la toma CPB.

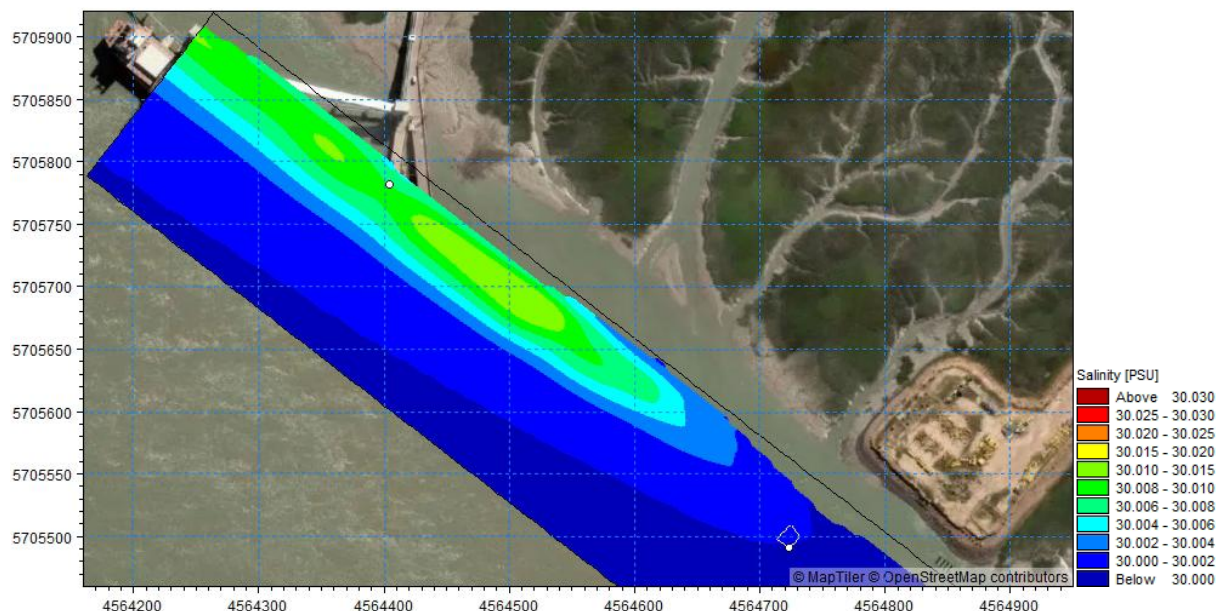


Figura 39. Escenario Invierno con Difusor de 13 m. Salinidad a la altura del intradós de la toma CPB.

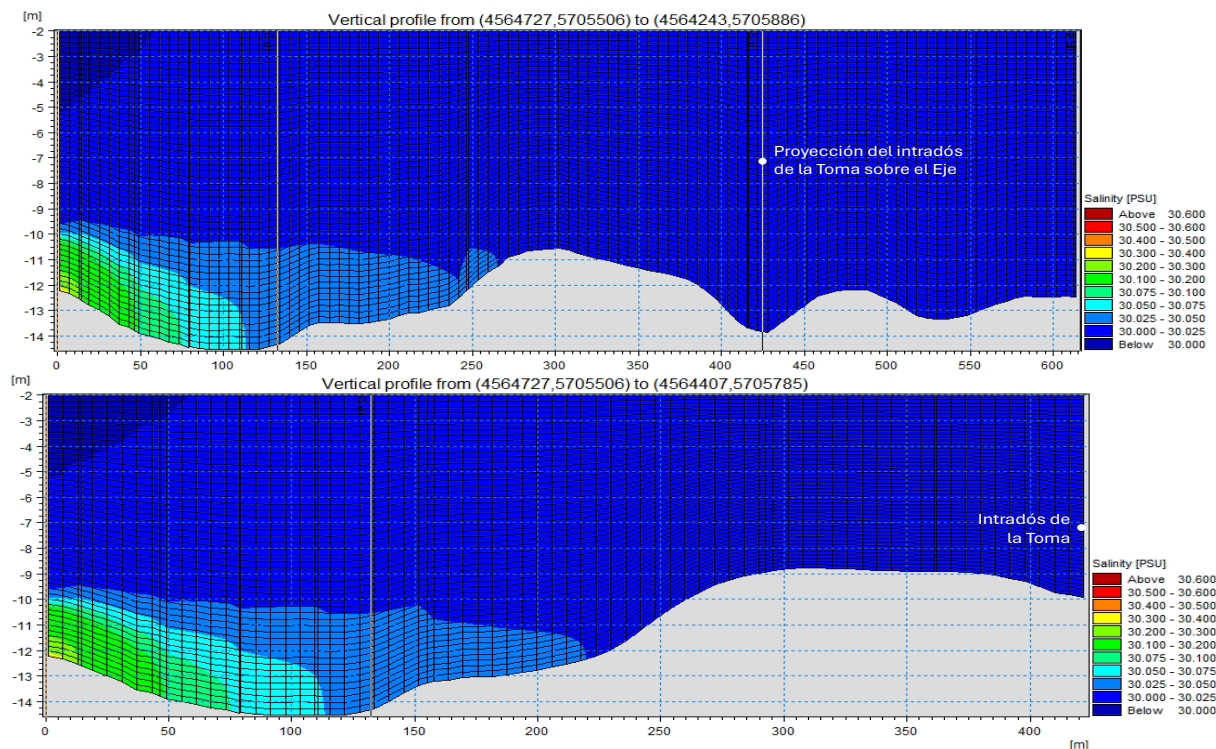


Figura 40. Escenario Invierno con Difusor de 13 m. Perfil a lo largo del eje de la pluma (arriba) y el perfil hasta la toma CPB (abajo).

[Signature]

10.3 COMPARACIÓN CON COEFICIENTE DE DISPERSIÓN ESCALADO SEGÚN VISCOSIDAD

En este apartado se evalúa el efecto de aplicar coeficientes de dispersión horizontal y vertical escalados según viscosidad en un factor de 1,3. Se aplicaron las condiciones de difusor de 13 m: ancho en interfase con campo lejano de 15,6 m, espesor de 1,3 m y exceso de concentración de 4,4 PSU según resultados derivados de la implementación del modelo CORMIX. La Figura 41 presenta la pluma salina a la altura del intradós de la toma y la Figura 42 muestra el perfil a lo largo del eje de la pluma y el perfil hasta la toma CPB.

Se puede notar que la pluma alcanza un menor desarrollo en horizontal y una mayor estratificación, por lo que a la altura del intradós de la toma presenta menores valores de concentración: la salinidad en el intradós de la toma es de 42,0013 PSU y en la proyección del intradós sobre el eje de la pluma es de 42,0095 PSU.

Considerando las evidencias que dan las estelas de turbidez que se producen en el canal principal de la ría por la interferencia con estructuras dentro de la misma, resulta poco realista el escaso desarrollo horizontal de la pluma que se obtiene de la aplicación de coeficientes escalados según viscosidad, aun cuando el factor de escala se adopta mayor a 1 como en este caso. A ello se agrega que se alcanza un resultado no conservador, ya que se obtiene una menor concentración en la toma. Por lo tanto, resulta más adecuado aplicar coeficientes de dispersión fijos, con valores del orden de los implementados anteriormente, que han sido aplicados en estudios precedentes para simular la dispersión de plumas de sedimentos puestos en suspensión por dragado.

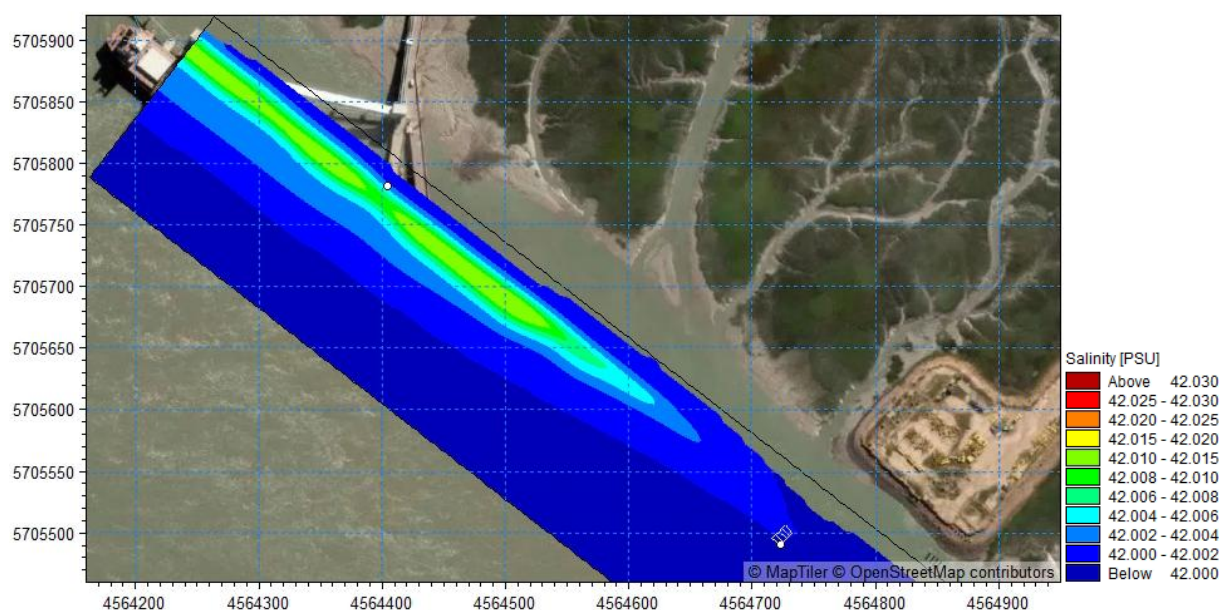


Figura 41. Difusor de 13 m. Salinidad a la altura del intradós de la toma CPB para coeficiente de dispersión escalado según viscosidad.

[Signature]

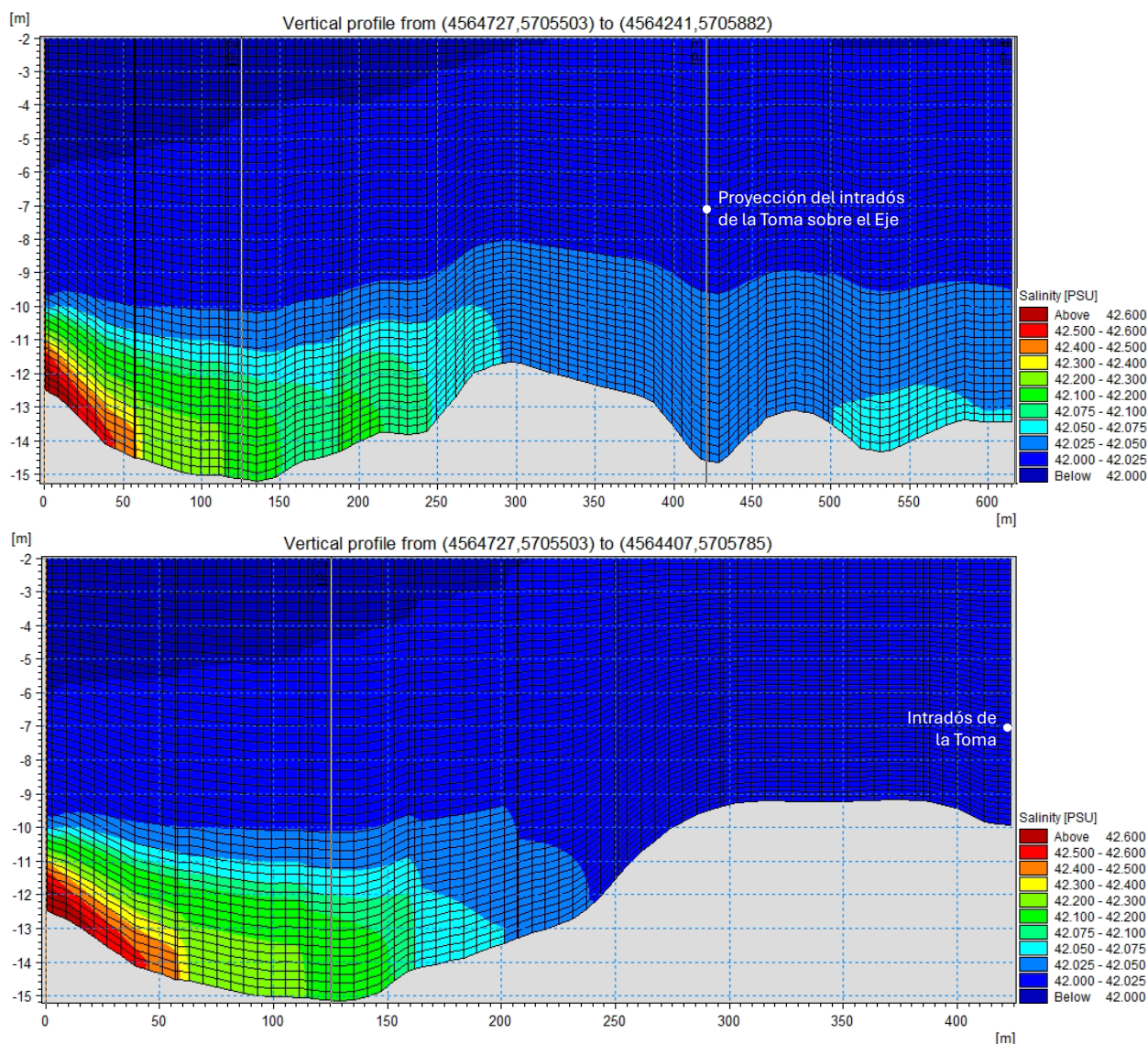


Figura 42. Difusor de 13 m. Perfil a lo largo del eje de la pluma (arriba) y el perfil hasta la toma CPB (abajo) para coeficiente de dispersión escalado según viscosidad.

La concentración en la capa sobre el lecho en la sección de la Toma y la concentración media en vertical, en el eje de mayores concentraciones de la pluma, es del orden de 1,0005 para un emisario de unos 10 m de longitud, lo cual implica que hay una muy baja estratificación.

10.3.1 Conclusiones sobre la Longitud del Difusor

Las concentraciones en la capa y posición donde está el intradós de la Toma son similares para los seis casos. Al acortar la longitud del difusor la concentración en la toma disminuye porque la pluma transita más alejada de ésta. Sin embargo, las concentraciones del centro de la pluma aumentan en gran medida. La dirección de la pluma puede variar en un rango de pocos grados en el modelo bidimensional dependiendo de las condiciones de marea y viento, por lo que se puede acercarse más a la toma. Si bien puede parecer una buena opción reducir el ancho del difusor para alejar la pluma de la toma, eso implica asumir un mayor riesgo de cortocircuito si por condiciones de marea o viento la pluma se acerca a la toma. Aquí vale recordar que en el presente análisis no se representó la acumulación de salinidad en la estoa de bajamar previa al instante modelado.

[Signature]

En la Tabla 11 se presenta la relación entre la salinidad en el punto del intradós de la toma y la salinidad promedio en la vertical. La diferencia entre la concentración promedio y la de ingreso a la toma resulta muy pequeña, del orden de 0,005% más en la toma.

Tabla 11. Relación de salinidades en el punto de la toma.

Escenario	Longitud difusor (m)	Ancho inicial (m)	Salinidad intradós Toma (PSU)	Salinidad promedio en la vertical (PSU)	Relación Toma / Promedio
Verano	30	32,0	42,0153	42,0122	1,00007
Verano	20	22,2	42,0120	42,0098	1,00005
Verano	13	15,6	42,0093	42,0078	1,00004
Verano	6,5	7,8	42,0082	42,0072	1,00002
Verano	3,25	3,9	42,0074	42,0067	1,00002
Invierno	13	16,7	30,0072	30,0059	1,00004

Dado que el modelo 3D no considera las variaciones laterales en el movimiento de la pluma que se dan en diferentes condiciones mareológicas, sino que permite conocer la estructura vertical de la pluma, se considera más adecuado tener en cuenta las condiciones de esta estructura en el centro de la pluma.

Como se puede apreciar a continuación en la Tabla 12, de todas formas, la pluma presenta una estratificación muy leve en su centro para las condiciones de dispersión modeladas, con una diferencia entre el fondo y el promedio que se puede caracterizar como un 0,05% para un difusor cuya longitud sea del orden de 10 metros.

Tabla 12. Relación de salinidades de fondo y promedio sobre el eje de la pluma en la sección de toma.

Escenario	Longitud difusor (m)	Ancho inicial (m)	Salinidad Fondo (PSU)	Salinidad promedio en la vertical (PSU)	Relación Fondo / Promedio
Verano	30	32,0	42,0255	42,0147	1,00026
Verano	20	22,2	42,0293	42,0164	1,00031
Verano	13	15,6	42,0376	42,0203	1,00041
Verano	6,5	7,8	42,0687	42,0357	1,00078
Verano	3,25	3,9	42,1232	42,0616	1,00146
Invierno	13	16,7	30,0183	30,0102	1,00027

11 INFLUENCIA DE LA DESCARGA DEL EFLUENTE CON SALINIDAD INCREMENTADA

Se analiza la influencia de la descarga con salinidad incrementada sobre la salinidad de la ría para los escenarios de invierno y de verano.

En la Figura 43 se presenta la ubicación de cinco puntos de monitoreo de resultados. Los mismos son: el punto de Toma CPB ubicado 430 m al noroeste de la descarga, la desembocadura del arroyo Napostá ubicado 1,4 km al sudeste de la descarga, un punto intermedio del arroyo y dos puntos alejados de la zona de descarga (en el canal 15 km al Noroeste de la descarga y en el canal 20 km al Sudeste de la descarga).



En el apartado 0 se presentan las diferencias de salinidad entre la situación con descarga y la situación base obtenidas mediante la modelación matemática, tanto para el escenario de invierno como para el de verano.

Junto con los resultados del presente informe, en el que la descarga se ubica en el canal principal de la ría de Bahía Blanca, se presentan los resultados de la modelización previa para la descarga ubicada en el canal de salida de la Central Termoeléctrica con vertido en el canal de mareas donde desemboca el arroyo Napostá, presentados en el Anexo 12 el Estudio de Impacto Ambiental de la Planta de Fertilizantes Fertil Pampa.

Los resultados en otros puntos dentro de la ría se presentan en el Adjunto del presente informe.



Figura 43. Puntos de monitoreo de los resultados de la modelación.

[Handwritten signature]

11.1 SERIES TEMPORALES DE LAS DIFERENCIAS ENTRE ESCENARIOS BASE Y CON DESCARGA

11.1.1 Escenario de Invierno

Se presentan los resultados con la descarga ubicada en el canal principal de la ría de Bahía Blanca: se liberan 2.300 m³/h (0,64 m³/s) con una relación entre la salinidad de entrada y de salida de 1,5. A su vez se presentan los resultados de la modelización previa para la descarga ubicada en el canal de salida de la Central Termoeléctrica con vertido en el canal de mareas donde desemboca el arroyo Napostá de un caudal de 4.030 m³/h (1,12 m³/s) con una relación entre la salinidad de entrada y de salida de 1,524. Cabe aclarar que los escenarios evaluados para simular la descarga en el canal principal abarcan 150 días, mientras que los resultados para la descarga en el canal de salida de CPB corresponden a un período de 120 días de simulación.

Se puede observar que durante los primeros 60 días la salinidad presenta oscilaciones de menor orden que el resto del período simulado. Esto se explica porque hasta el día 60 ingresan caudales mínimos a través de los afluentes de agua dulce a la ría, que generan las fluctuaciones en la salinidad y a su vez promueven una tendencia decreciente en sus valores. A partir del día 61, los afluentes dulces pasan de presentar caudales mínimos a caudales medios, con ocurrencia además de precipitación, lo que genera oscilaciones de mayor magnitud en los valores de salinidad y un descenso más marcado de sus valores absolutos. Dicha dinámica se observa en mayor o menor medida en los puntos analizados según cuán cerca se ubiquen de los afluentes dulces.

A continuación, se presentan los impactos de la descarga de agua de la planta de Fertilizantes con salinidad incrementada con respecto a la situación base “natural”. En las figuras se presentan los resultados obtenidos por el modelo en distintos puntos de monitoreo de resultados. Se incluye la salinidad obtenida para el escenario base (línea verde) y con descarga (línea violeta), y el delta de salinidad resultante de la diferencia entre ambas situaciones (Situación con descarga – Situación Base, en línea naranja).

11.1.1.1 Punto de Toma CPB

En la Figura 44 se muestra la salinidad obtenida en el punto de toma CPB para descarga en el canal principal. Se puede observar que:

- Para caudales de estiaje, la salinidad fluctúa en un rango de 29,75-30 PSU en la situación base y 29,9-30,25 PSU para la situación con Descarga. Para caudales medios, la salinidad fluctúa en un rango de 27,25-29,45 PSU en la situación base y 27,4-29,75 PSU para la situación con Descarga.
- **El incremento en el nivel máximo de salinidad en estiaje es igual a 30,25-30 = 0,25 PSU**
- **El incremento en el nivel máximo de salinidad para caudales medios es igual a 29,45-29,75 = 0,3 PSU**

Luego, en la Figura 45 se presenta la diferencia de salinidad (Con Descarga – Base). Hacia el final del período simulado, las fluctuaciones en los valores de diferencia de salinidad son del orden de 0,15 PSU. al superponerse sobre una tendencia de largo plazo que a su vez tiene una modulación quincenal con un pico mensual (efecto de mareas de sicigias y cuadraturas), cuya amplitud alcanza unos 0,15 PSU, la diferencia ronda los 0,3 PSU (con picos de aproximadamente 0,35 PSU).



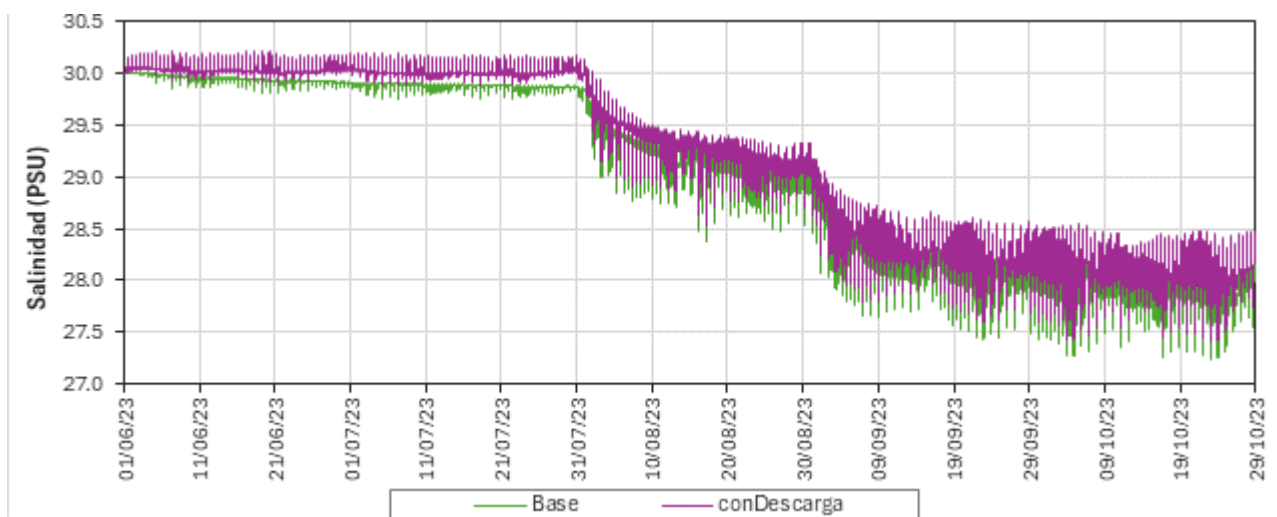


Figura 44. Salinidad obtenida en el Punto "Toma" – Escenario Invierno para descarga en el canal principal

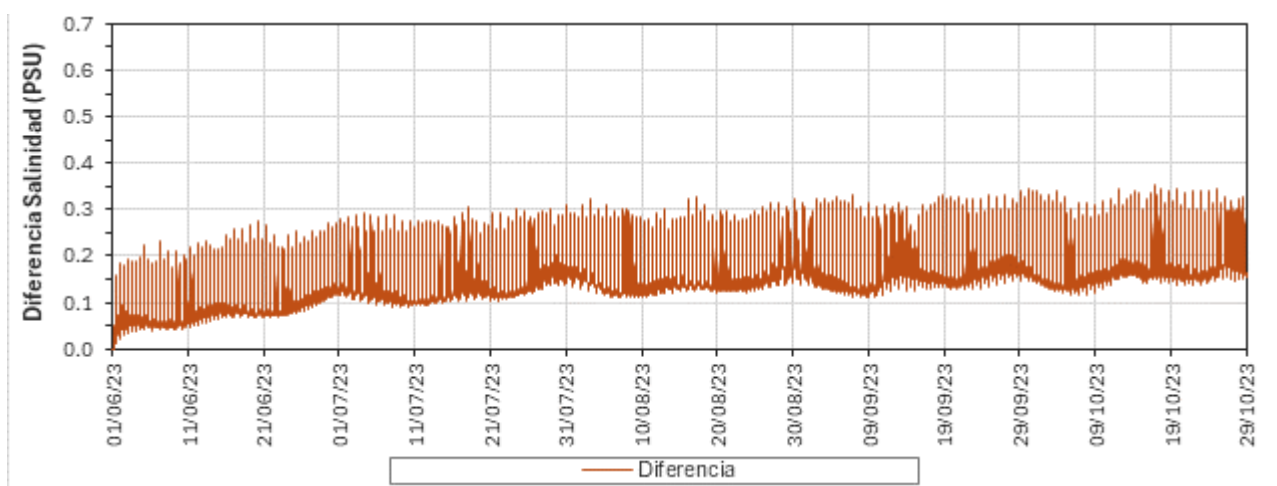


Figura 45. Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto "Toma" – Escenario Invierno para descarga en el canal principal

La Figura 46 muestra los resultados previos en la Toma CPB para la descarga en el canal de salida de la CPB:

- El incremento en el nivel máximo de salinidad en estiaje era igual a $30,5 - 30 = 0,5$ PSU
- El incremento en el nivel máximo de salinidad para caudales medios era igual a $30,4 - 29,9 = 0,5$ PSU
- Hacia el final del período simulado, la diferencia de salinidad entre el escenario base y con Descarga alcanza picos de 0,8 PSU, que incluye un incremento de salinidad a largo plazo de 0,25 PSU aproximadamente.

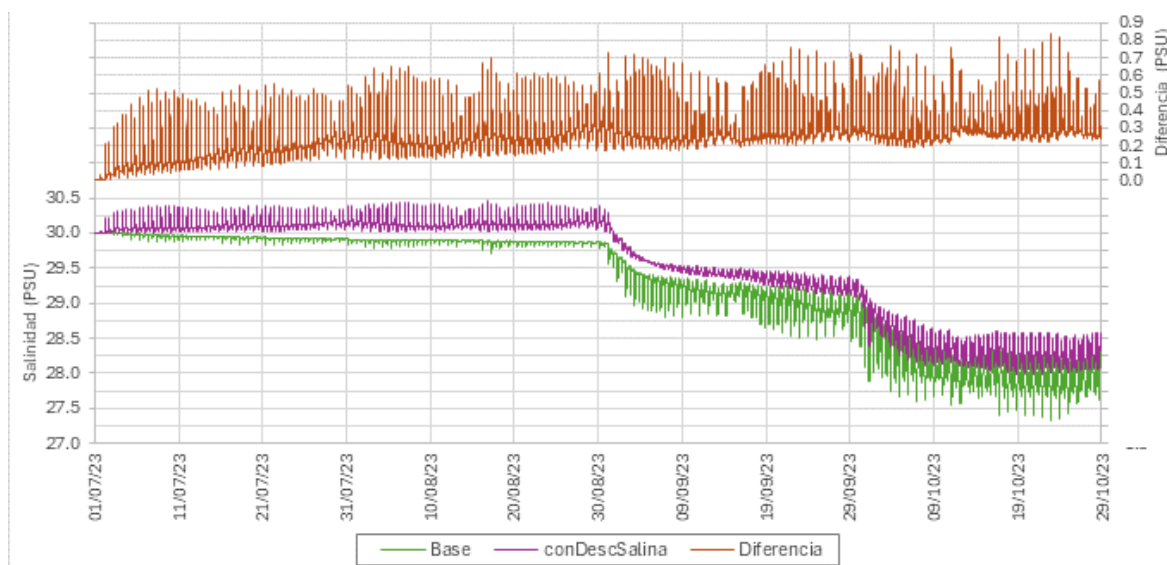


Figura 46. Salinidad y Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto “Toma” – Escenario Invierno para descarga en el canal de salida de la CPB

11.1.1.2 Desembocadura del Canal de Mareas donde Desemboca el Arroyo Napostá

La Figura 47 muestra la salinidad obtenida en la desembocadura del Napostá en el canal principal para descarga en el canal principal. Se puede observar que:

- Para caudales de estiaje, la salinidad fluctúa en un rango de 22,9-30 PSU en la situación base y 22,95-30,05 PSU para la situación con Descarga. Para caudales medios, la salinidad fluctúa en un rango de 4,85-29,45 PSU en la situación base y 4,9-29,55 PSU para la situación con Descarga.
- **El incremento en el nivel máximo de salinidad en estiaje es igual a $30,05 - 30 = 0,05$ PSU**
- **El incremento en el nivel máximo de salinidad para caudales medios es igual a $29,55 - 29,45 = 0,1$ PSU**

Luego, en la Figura 48 se presenta la diferencia de salinidad (Con Descarga – Base). Hacia el final del período simulado, las fluctuaciones en los valores de diferencia de salinidad son del orden de 0,1 PSU. al superponerse sobre una tendencia de largo plazo que a su vez tiene una modulación quincenal con un pico mensual (efecto de mareas de sicigias y cuadraturas), cuya amplitud alcanza unos 0,05 PSU, la diferencia ronda los 0,15 PSU.

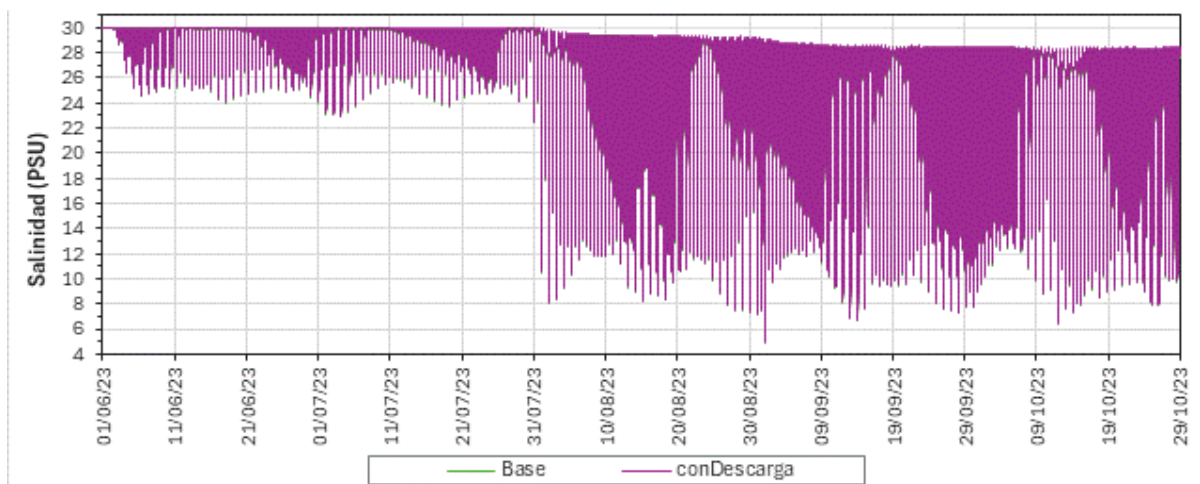


Figura 47. Salinidad obtenida en el Punto “Desembocadura Napostá” – Escenario Invierno para descarga en el canal principal

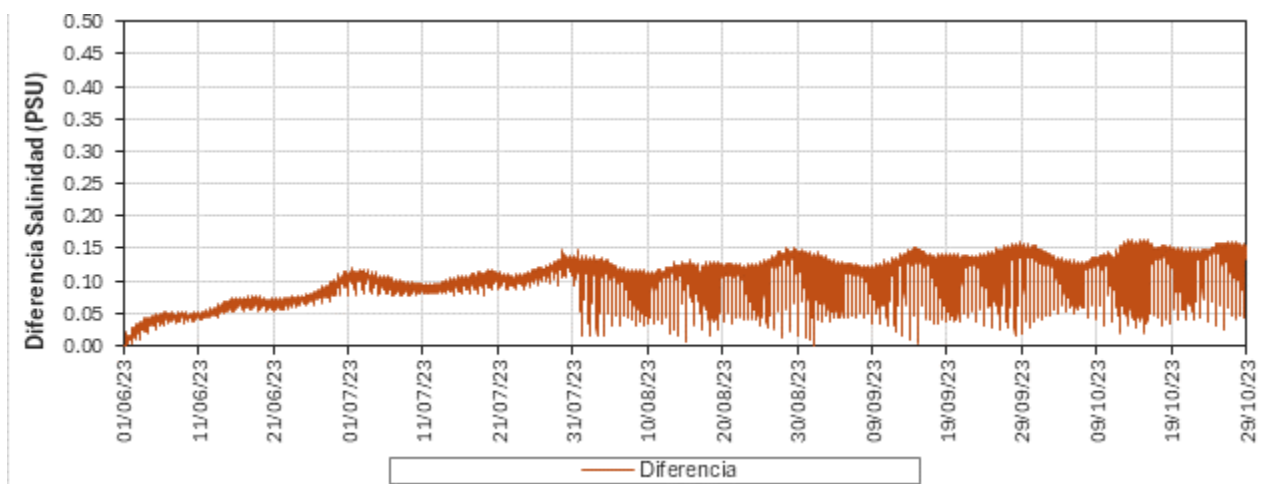


Figura 48. Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto “Desembocadura Napostá” – Escenario Invierno para descarga en el canal principal

La Figura 49 muestra los resultados previos en la desembocadura del Napostá para la descarga en el canal de salida de la CPB:

- El incremento en el nivel máximo de salinidad en estiaje era igual a $41,9 - 30 = 11,9$ PSU
- El incremento en el nivel máximo de salinidad para caudales medios era igual a $40,1 - 29,9 = 10,2$ PSU
- La diferencia de salinidad entre el escenario base y con Descarga alcanzaba picos 19,5 PSU aproximadamente.

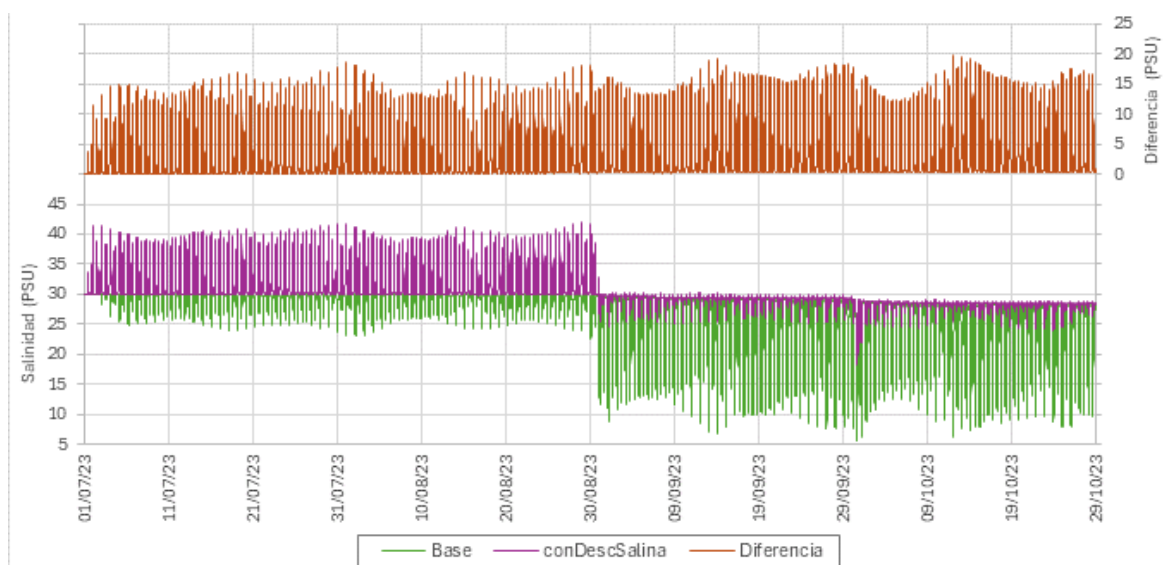


Figura 49. Salinidad y Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto “Desembocadura Napostá” – Escenario Invierno para descarga en el canal de salida de la CPB

11.1.1.3 Mitad Napostá

En la Figura 50 se muestra la salinidad obtenida en el punto denominado “Mitad Naposta” para descarga en el canal principal, el cual se corresponde aproximadamente a la mitad de la distancia entre la desembocadura del canal de mareas en el canal principal y la desembocadura del canal de descarga de la CPB. Se puede observar que:

[Firma manuscrita]

- Para caudales de estiaje, la salinidad fluctúa en un rango de 17,7-30 PSU en la situación base y 17,8-30,05 PSU para la situación con Descarga. Para caudales medios, la salinidad fluctúa en un rango de 2,75-29,4 PSU en la situación base y 2,75-29,55 PSU para la situación con Descarga.
- **El incremento en el nivel máximo de salinidad en estiaje es igual a $30,05 - 30 = 0,05$ PSU**
- **El incremento en el nivel máximo de salinidad para caudales medios es igual a $29,55 - 29,4 = 0,15$ PSU**

Luego, en la Figura 51 se presenta la diferencia de salinidad (Con Descarga – Base). Hacia el final del período simulado, las fluctuaciones en los valores de diferencia de salinidad son del orden de 0,15 PSU. En este punto, la acumulación a largo plazo de salinidad introducida por la descarga y que no llega a ser removida de la ría por advección ni diluida lo suficiente por la dispersión es despreciable.

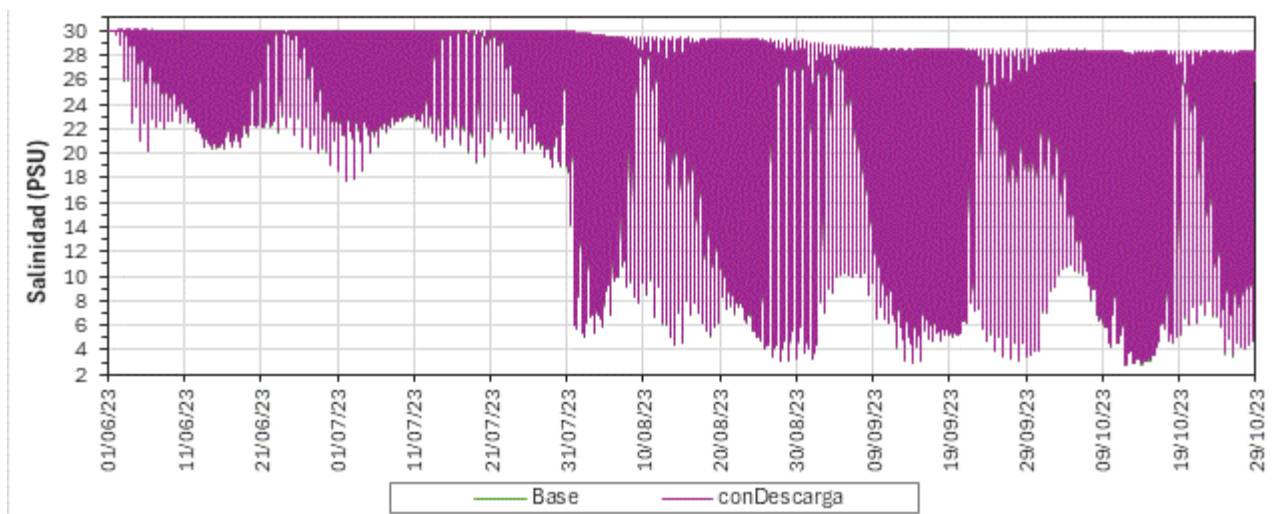


Figura 50. Salinidad obtenida en el Punto “Mitad Napostá” – Escenario Invierno para descarga en el canal principal

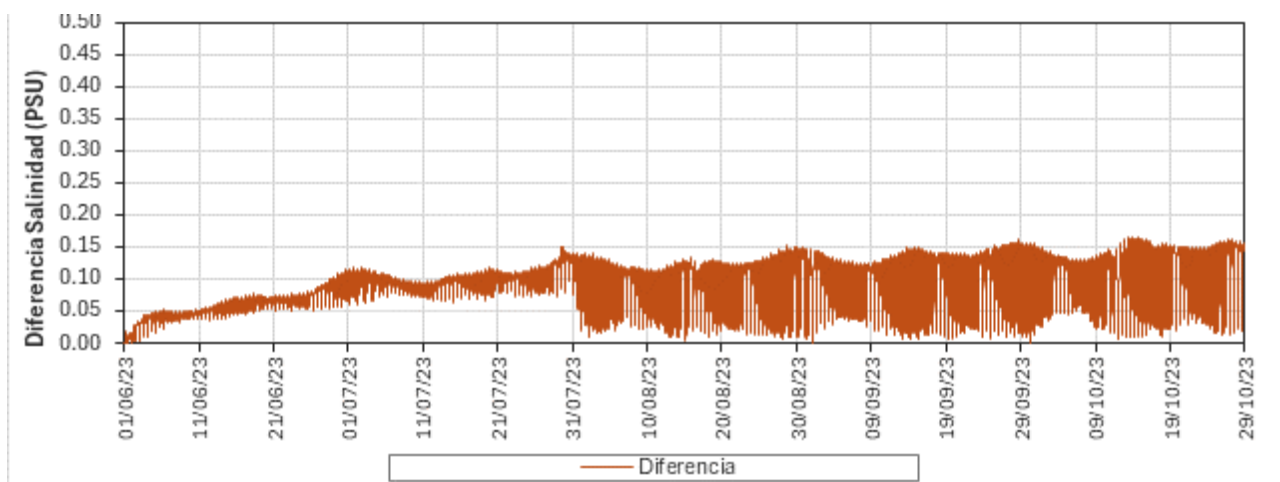


Figura 51. Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto “Mitad Napostá” – Escenario Invierno para descarga en el canal principal

[Firma manuscrita]

La Figura 52 muestra los resultados previos en el punto denominado “Mitad Napostá” para la descarga en el canal de salida de la CPB:

- El incremento en el nivel máximo de salinidad en estiaje era igual a $42,3 - 30 = 12,3$ PSU
- El incremento en el nivel máximo de salinidad para caudales medios era igual a $41,5 - 29,9 = 11,6$ PSU
- La diferencia de salinidad entre el escenario base y con Descarga alcanza picos de 21 PSU.

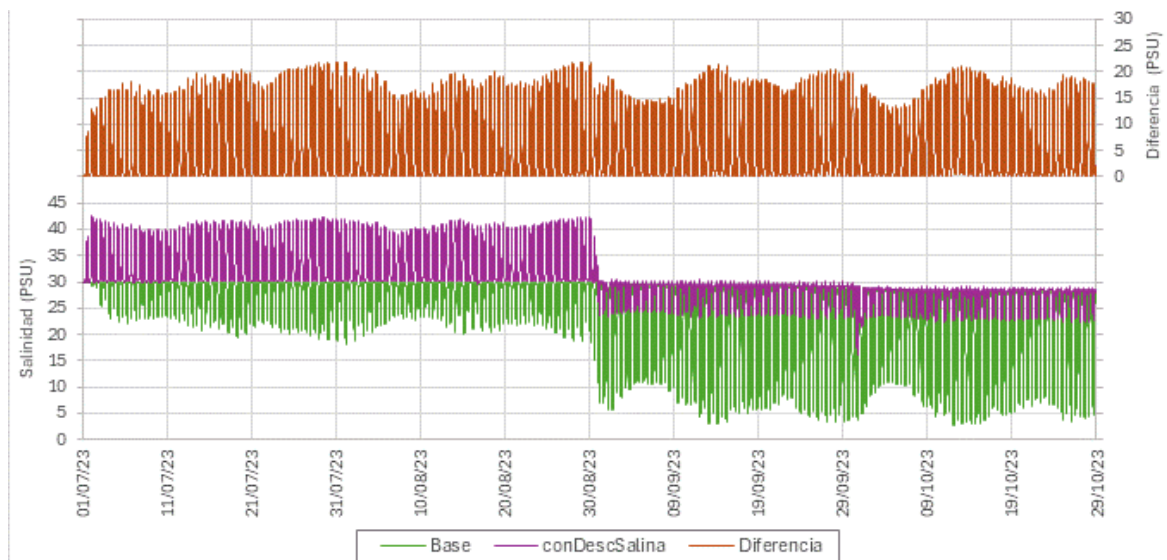


Figura 52. Salinidad y Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto “Mitad Napostá” – Escenario Invierno para descarga en el canal de salida de la CPB

11.1.1.4 Canal 15 km Noroeste

La Figura 53 muestra la salinidad obtenida en el punto “Canal 15 km Noroeste” y en la Figura 54 se presenta la diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) para descarga en el canal principal.

Hacia el final del período simulado, las fluctuaciones en los valores de diferencia de salinidad son menores a 0,05 PSU. al superponerse sobre una tendencia de largo plazo que a su vez tiene una modulación quincenal con un pico mensual (efecto de mareas de sicigias y cuadraturas), cuya amplitud alcanza unos 0,1 PSU, la diferencia ronda los 0,15 PSU.

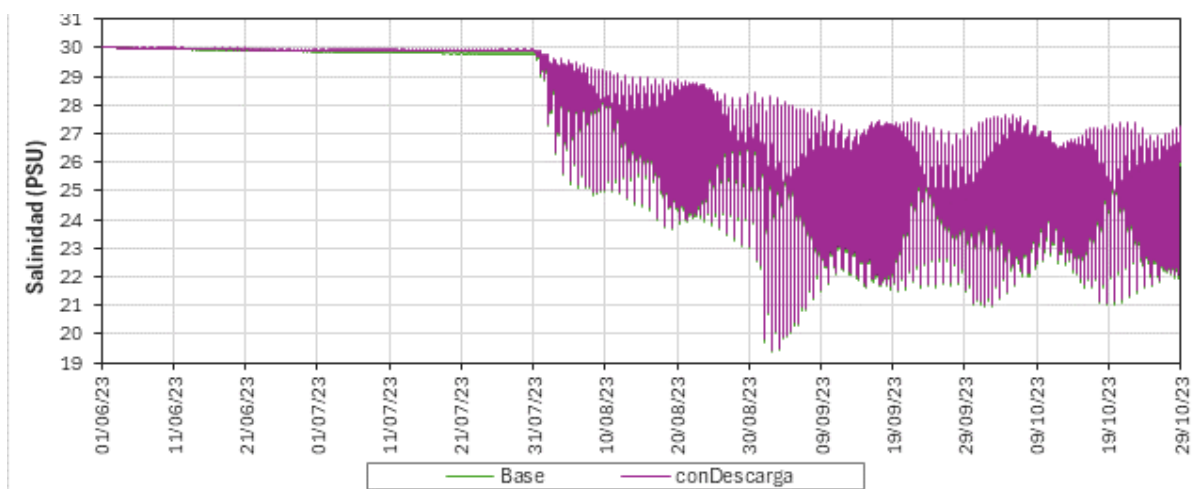


Figura 53. Salinidad obtenida en el Punto “Canal 15 km Noroeste” – Escenario Invierno para descarga en el canal principal

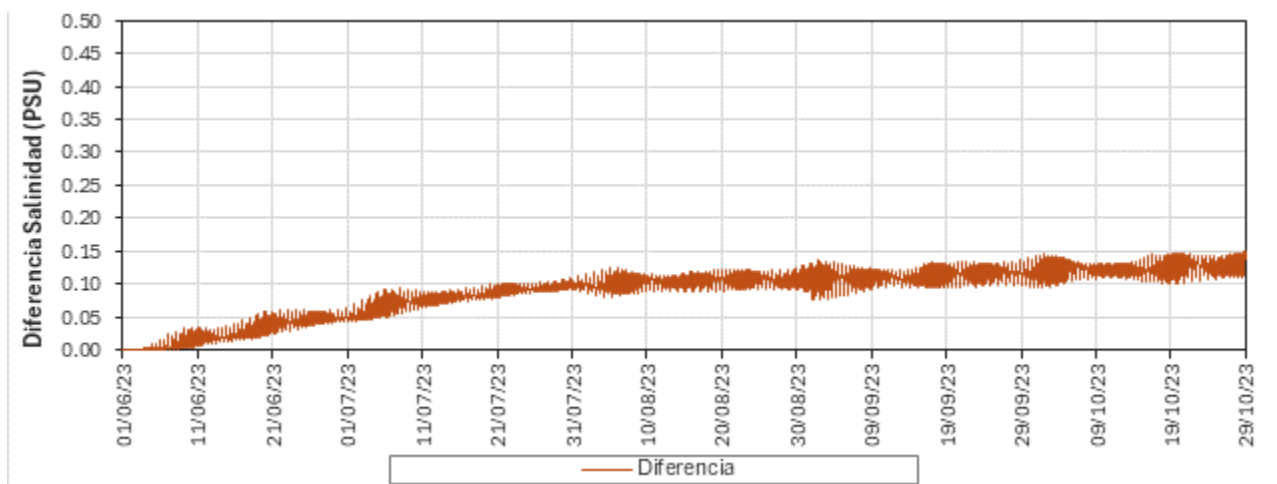


Figura 54. Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto “Canal 15 km Noroeste” – Escenario Invierno para descarga en el canal principal

La Figura 55 muestra los resultados previos en el punto “Canal 15 km Noroeste” para la descarga en el canal de salida de la CPB. Hacia el final del período simulado, la diferencia de salinidad entre el escenario base y con Descarga alcanzaba picos de 0,25 PSU, que incluía una acumulación de salinidad a largo plazo de 0,2 PSU aproximadamente.

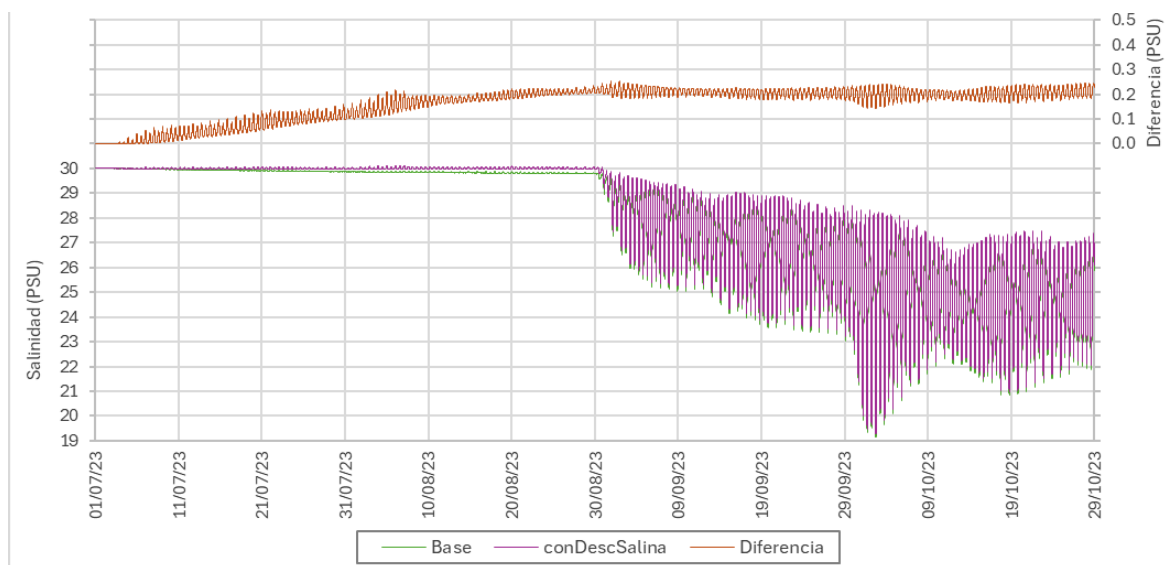


Figura 55. Salinidad y Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto “Canal 15 km Noroeste” – Escenario Invierno para descarga en el canal de salida de la CPB

11.1.1.5 Canal 20 km Sudeste

La Figura 56 muestra la salinidad obtenida en el punto “Canal 20 km Sudeste” y en la Figura 57 se presenta la diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) para descarga en el canal principal.

Hacia el final del período de 150 días, las fluctuaciones en los valores de diferencia de salinidad son menores a 0,03 PSU. Dichas fluctuaciones se superponen a una tendencia de largo plazo que alcanza una amplitud de 0,03 PSU, alcanzando una diferencia total de 0,06 PSU.

[Firma manuscrita]

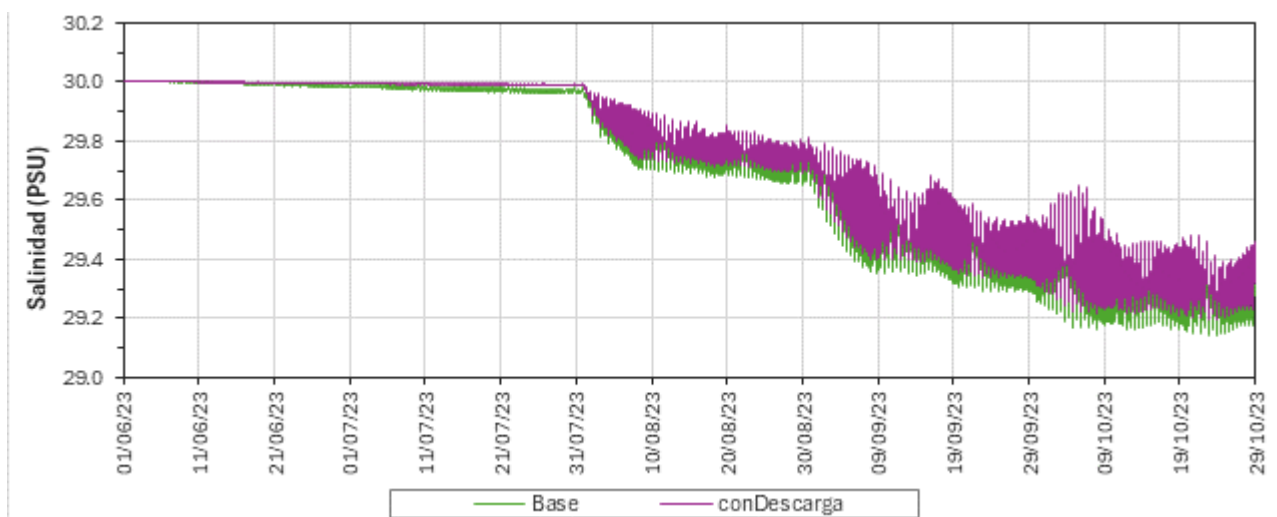


Figura 56. Salinidad obtenida en el Punto “Canal 20 km Sudeste” – Escenario Invierno para descarga en el canal principal

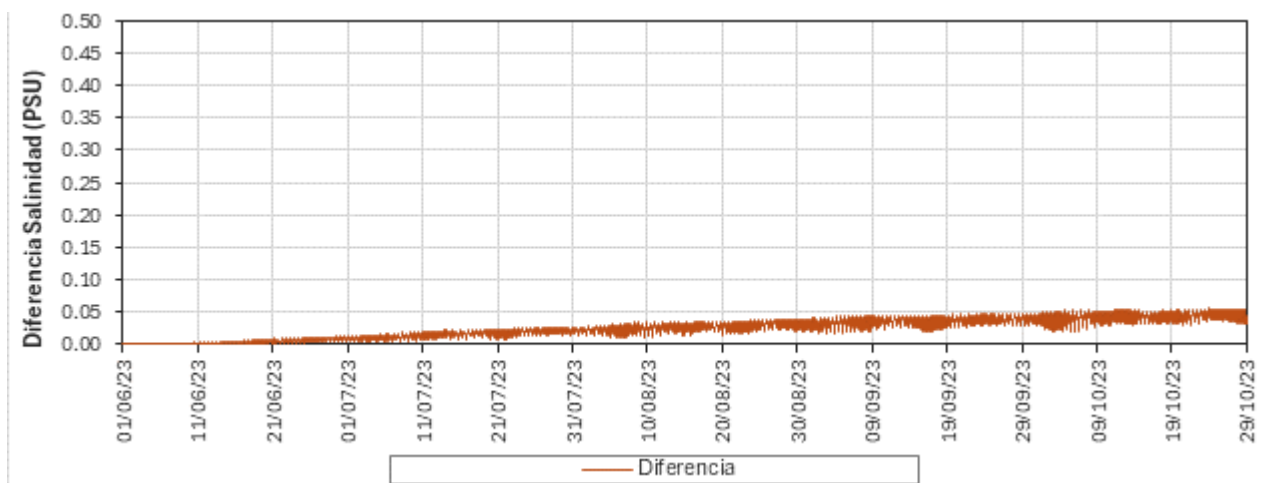


Figura 57. Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto “Canal 20 km Sudeste” – Escenario Invierno para descarga en el canal principal

La Figura 58 muestra los resultados previos en el punto “Canal 20 km Sudeste” para la descarga en el canal de salida de la CPB. En ese caso, la diferencia de salinidad entre el escenario base y con Descarga alcanzaba picos de 0,09 PSU, que incluía una acumulación de salinidad a largo plazo de 0,05 PSU aproximadamente.

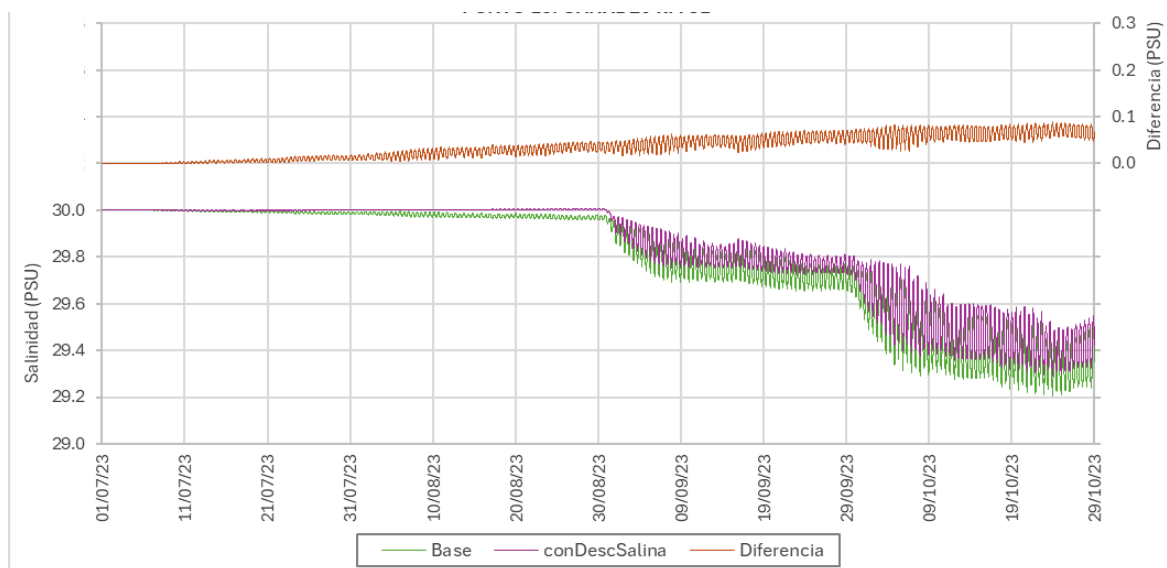


Figura 58. Salinidad y Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto “Canal 20 km Sudeste” – Escenario Invierno para descarga en el canal de salida de la CPB

11.1.2 Escenario de Verano

Se presentan los resultados con la descarga ubicada en el canal principal de la ría de Bahía Blanca: se liberan $2.300 \text{ m}^3/\text{h}$ ($0,64 \text{ m}^3/\text{s}$) con una relación entre la salinidad de entrada y de salida de 1,5. A su vez se contrastan con los resultados de la modelización previa para la descarga ubicada en el canal de salida de la Central Termoeléctrica con vertido en el canal de mareas donde desemboca el arroyo Napostá de un caudal de $4.030 \text{ m}^3/\text{h}$ ($1,12 \text{ m}^3/\text{s}$) con una relación entre la salinidad de entrada y de salida de 1,514. Cabe aclarar que los escenarios evaluados para simular la descarga en el canal principal abarcan 150 días, mientras que los resultados para la descarga en el canal de salida de CPB corresponden a un período de 120 días de simulación.

Se puede observar la misma evolución señalada para el escenario de invierno: durante los primeros 60 días la salinidad presenta oscilaciones de menor orden debido al ingreso de caudales mínimos a través de los afluentes de agua dulce a la ría, que generan las fluctuaciones en la salinidad y a su vez promueven una tendencia decreciente en sus valores. Luego, a partir del día 61 los afluentes dulces presentan caudales medios. Dicha dinámica se observa en mayor o menor medida en los puntos analizados según cuán cerca se ubiquen de los afluentes dulces. Las oscilaciones son mayores a las obtenidas para invierno, ya que la brecha entre la salinidad del medio (42 PSU) y la salinidad de los afluentes dulces es mayor.

A continuación, se presentan los impactos de la descarga de agua de la planta de Fertilizantes con salinidad incrementada con respecto a la situación base “natural”. En las figuras se presentan los resultados obtenidos por el modelo en distintos puntos de monitoreo de resultados. Se incluye la salinidad obtenida para el escenario base (línea verde) y con descarga (línea violeta), y el delta de salinidad resultante de la diferencia entre ambas situaciones (Situación con descarga – Situación Base, en línea naranja).

[Firma manuscrita]

11.1.2.1 Punto de Toma CPB

En la Figura 59 se muestra la salinidad obtenida en el punto de toma CPB para descarga en el canal principal. Se puede observar que:

- Para caudales de estiaje, la salinidad fluctúa en un rango de 41,6-42 PSU en la situación base y 41,75-42,25 PSU para la situación con Descarga. Para caudales medios, la salinidad fluctúa en un rango de 38,35-29,45 PSU en la situación base y 38,6-29,75 PSU para la situación con Descarga.
- **El incremento en el nivel máximo de salinidad en estiaje es igual a $42,25 - 42 = 0,25$ PSU**
- **El incremento en el nivel máximo de salinidad para caudales medios es igual a $29,75 - 29,45 = 0,3$ PSU**

Luego, en la Figura 60 se presenta la diferencia de salinidad (Con Descarga – Base). Hacia el final del período simulado, las fluctuaciones en los valores de diferencia de salinidad son del orden de 0,2 PSU. al superponerse sobre una tendencia de largo plazo que a su vez tiene una modulación quincenal con un pico mensual (efecto de mareas de sicigias y cuadraturas), cuya amplitud alcanza unos 0,2 PSU, la diferencia ronda los 0,4 PSU (con picos de aproximadamente 0,45 PSU).

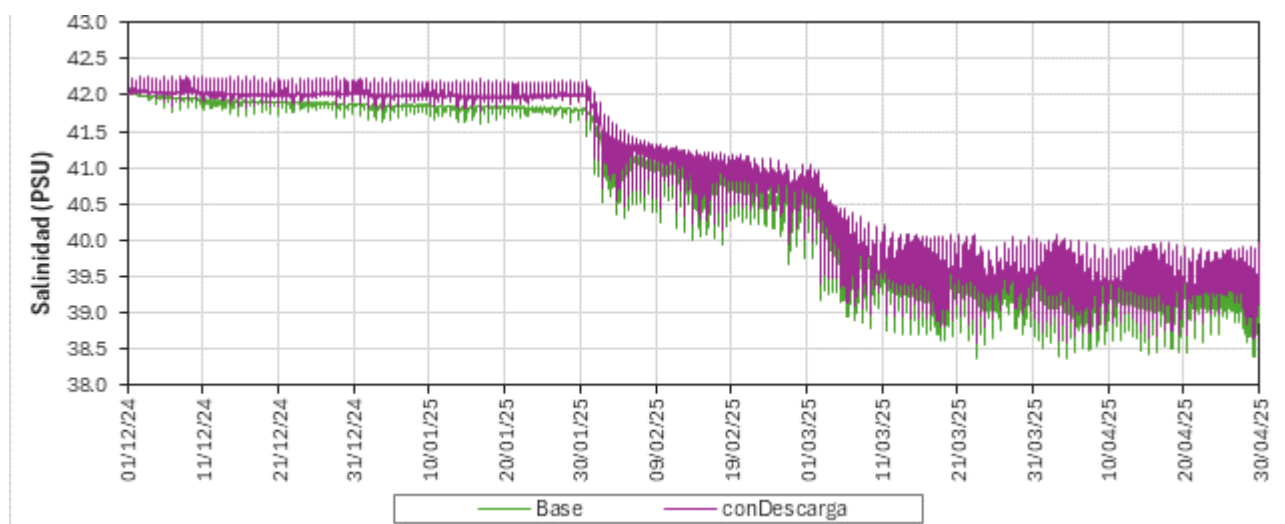


Figura 59. Salinidad obtenida en el Punto “Toma” – Escenario Verano para descarga en el canal principal

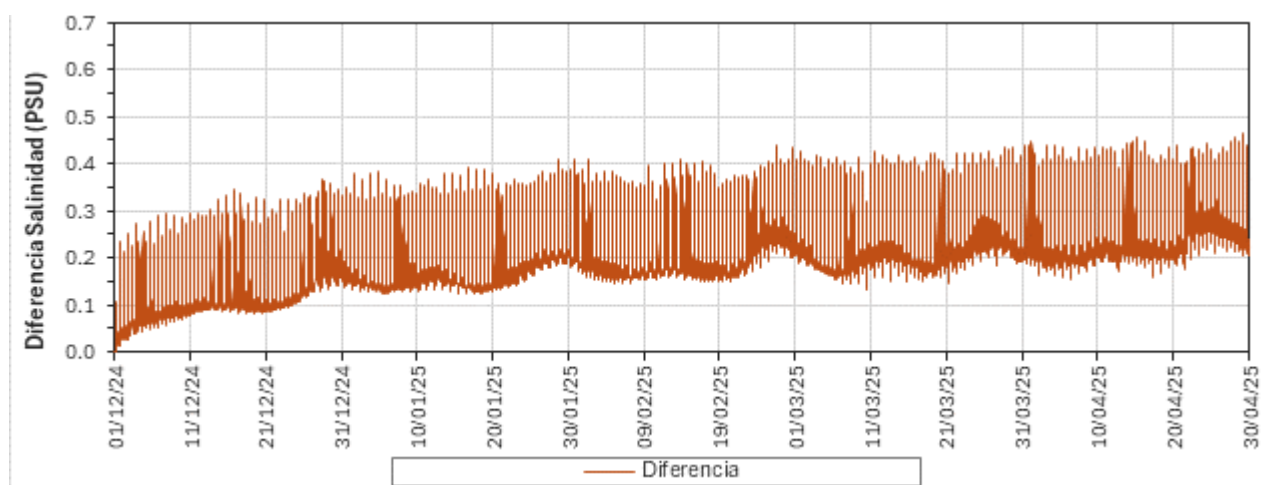


Figura 60. Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto “Toma” – Escenario Verano para descarga en el canal principal

[Firma manuscrita]

La Figura 61 muestra los resultados previos en la Toma CPB para la descarga en el canal de salida de la CPB:

- El incremento en el nivel máximo de salinidad en estiaje era igual a $42,7 - 42 = 0,7$ PSU
- El incremento en el nivel máximo de salinidad para caudales medios era igual a $42,5 - 41,8 = 0,7$ PSU
- Hacia el final del período simulado, la diferencia de salinidad entre el escenario base y con Descarga alcanza picos de 1,1 PSU, que incluye un incremento de salinidad a largo plazo de 0,32 PSU aproximadamente.

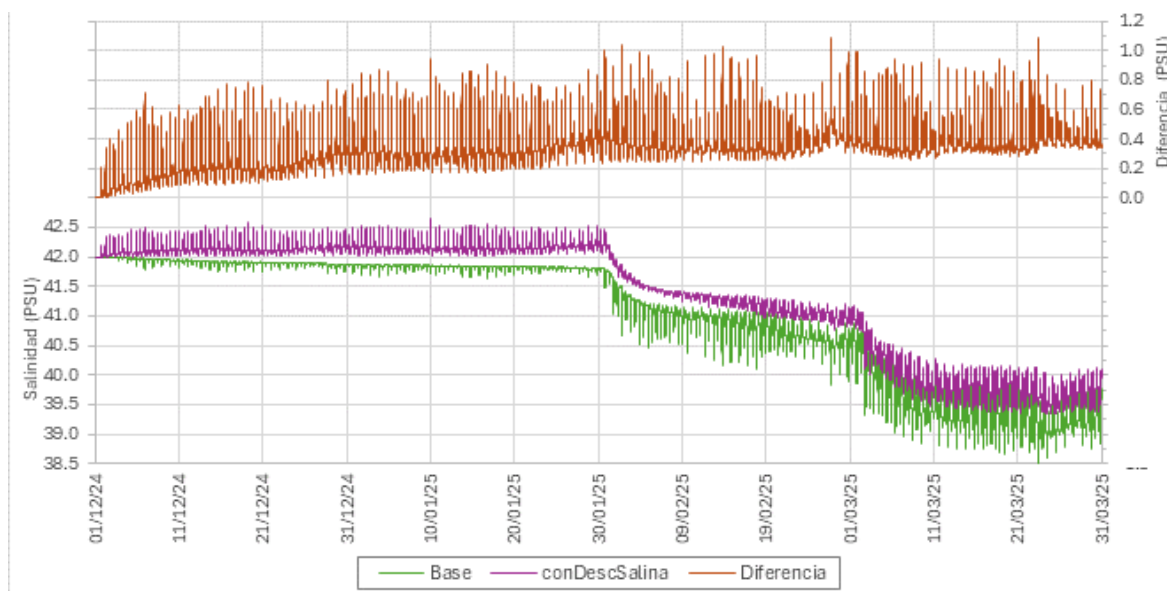


Figura 61. Salinidad y Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto “Toma” – Escenario Verano para descarga en el canal de salida de la CPB

11.1.2.2 Desembocadura Napostá

La Figura 62 muestra la salinidad obtenida en la desembocadura del canal de mareas del Napostá en el canal principal, para descarga en el canal principal. Se puede observar que:

- Para caudales de estiaje, la salinidad fluctúa en un rango de 31,2-41,95 PSU en la situación base y 31,35-42,05 PSU para la situación con Descarga. Para caudales medios, la salinidad fluctúa en un rango de 6,9-41,2 PSU en la situación base y 6,9-41,35 PSU para la situación con Descarga.
- **El incremento en el nivel máximo de salinidad en estiaje es igual a $42,05 - 41,95 = 0,1$ PSU**
- **El incremento en el nivel máximo de salinidad para caudales medios es igual a $41,35 - 41,2 = 0,15$ PSU**

Luego, en la Figura 63 se presenta la diferencia de salinidad (Con Descarga – Base). Hacia el final del período simulado, las fluctuaciones en los valores de diferencia de salinidad son del orden de 0,17 PSU. al superponerse sobre una tendencia de largo plazo que a su vez tiene una modulación quincenal con un pico mensual (efecto de mareas de sicigias y cuadraturas), cuya amplitud alcanza unos 0,05 PSU, la diferencia ronda los 0,22 PSU.

[Firma manuscrita]

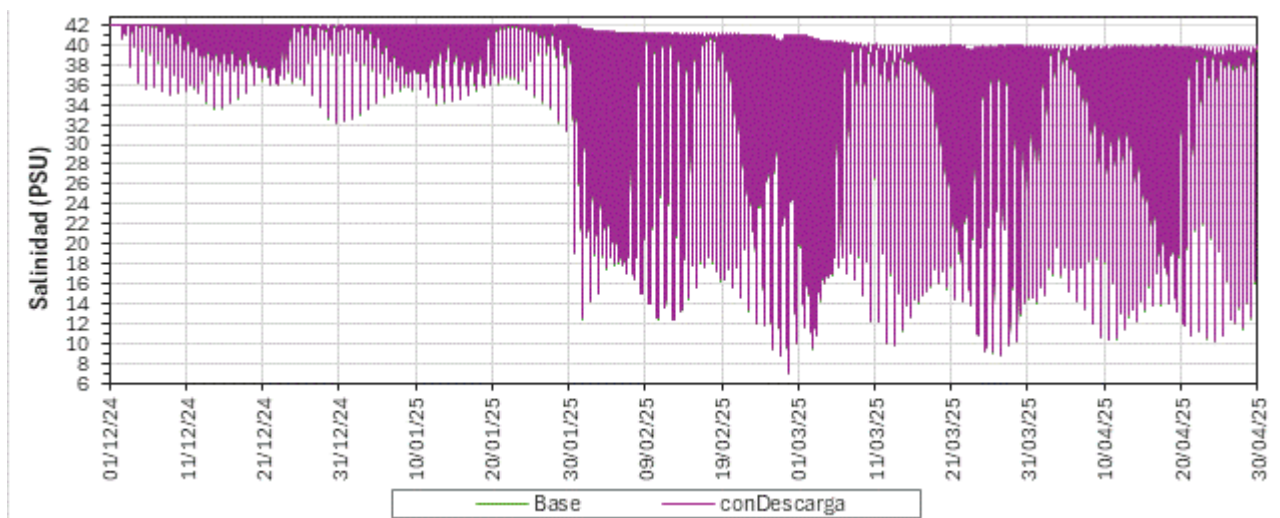


Figura 62. Salinidad obtenida en el Punto “Desembocadura Napostá” – Escenario Verano para descarga en el canal principal

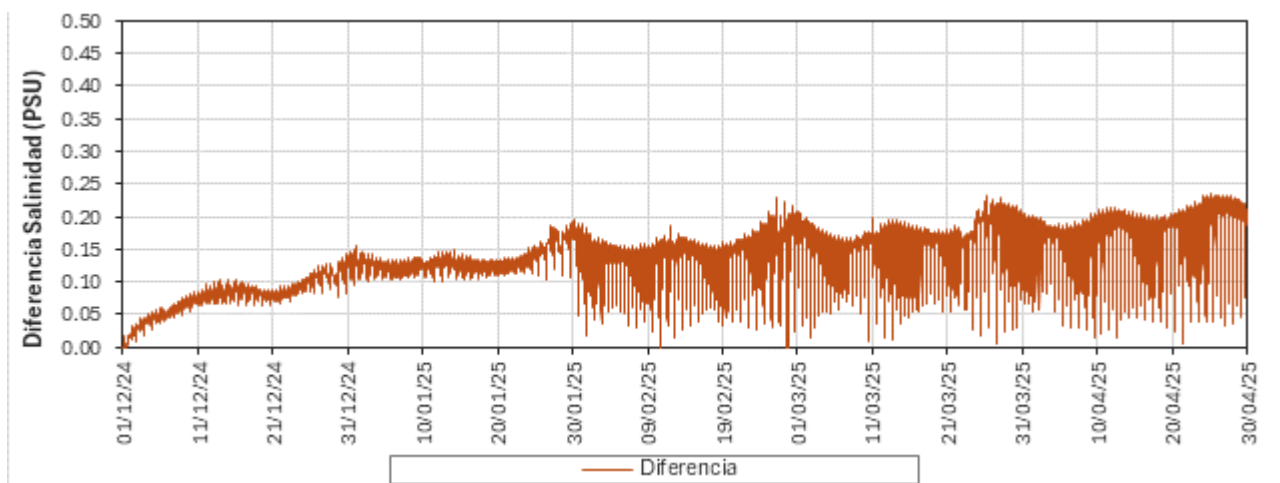


Figura 63. Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto “Desembocadura Napostá” – Escenario Verano para descarga en el canal principal

La Figura 64 muestra los resultados previos en la desembocadura del Napostá para la descarga en el canal de salida de la CPB:

- El incremento en el nivel máximo de salinidad en estiaje era igual a $58,3 - 42 = 16,3$ PSU
- El incremento en el nivel máximo de salinidad para caudales medios era igual a $52,5 - 41,9 = 10,6$ PSU
- La diferencia de salinidad entre el escenario base y con Descarga alcanza picos 27 PSU aproximadamente.

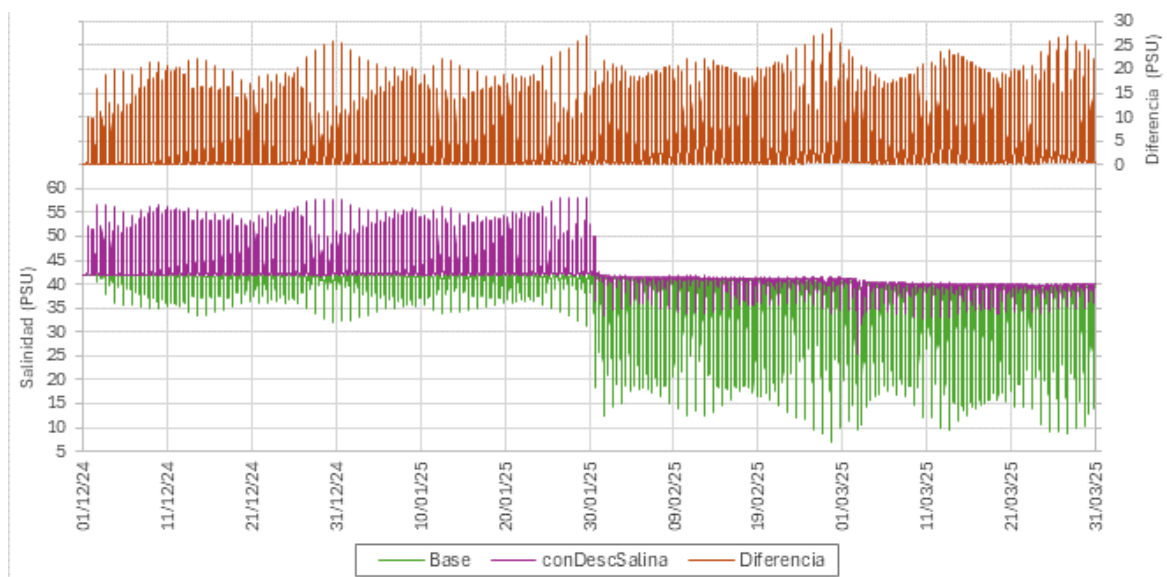


Figura 64. Salinidad y Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto “Desembocadura Napostá” – Escenario Verano para descarga en el canal de salida de la CPB

11.1.2.3 Mitad Napostá

En la Figura 65 se muestra la salinidad obtenida en el punto denominado “Mitad Napostá” para descarga en el canal principal. Se puede observar que:

- Para caudales de estiaje, la salinidad fluctúa en un rango de 23,8-42 PSU en la situación base y 23,9-42,05 PSU para la situación con Descarga. Para caudales medios, la salinidad fluctúa en un rango de 2,8-41,2 PSU en la situación base y 2,8-41,35 PSU para la situación con Descarga.
- **El incremento en el nivel máximo de salinidad en estiaje es igual a $42,05 - 42 = 0,05$ PSU**
- **El incremento en el nivel máximo de salinidad para caudales medios es igual a $41,35 - 41,2 = 0,15$ PSU**

Luego, en la Figura 66 se presenta la diferencia de salinidad (Con Descarga – Base). Hacia el final del período simulado, las fluctuaciones en los valores de diferencia de salinidad son del orden de 0,22 PSU. En este punto, la acumulación a largo plazo de salinidad introducida por la descarga y que no llega a ser removida de la ría por advección ni diluida lo suficiente por la dispersión es despreciable.

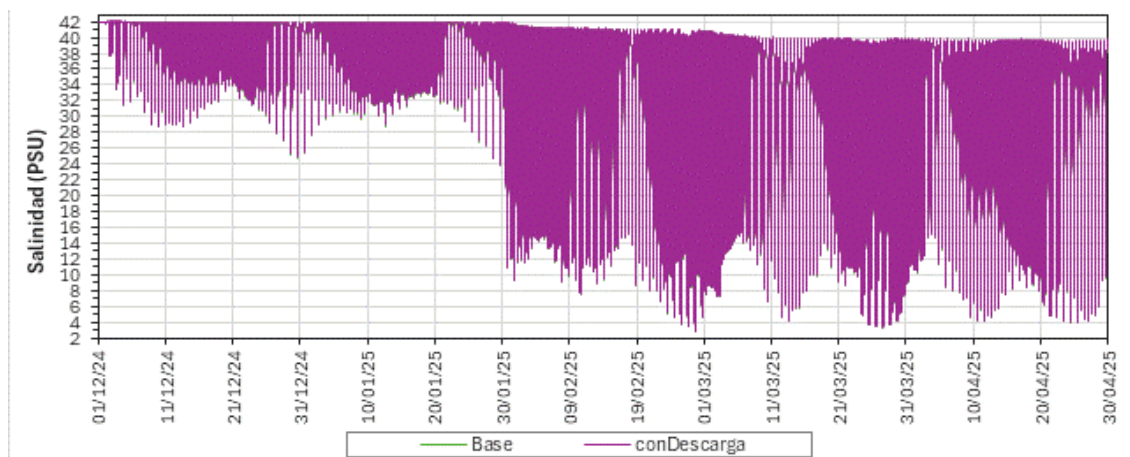


Figura 65. Salinidad obtenida en el Punto “Mitad Napostá” – Escenario Verano para descarga en el canal principal

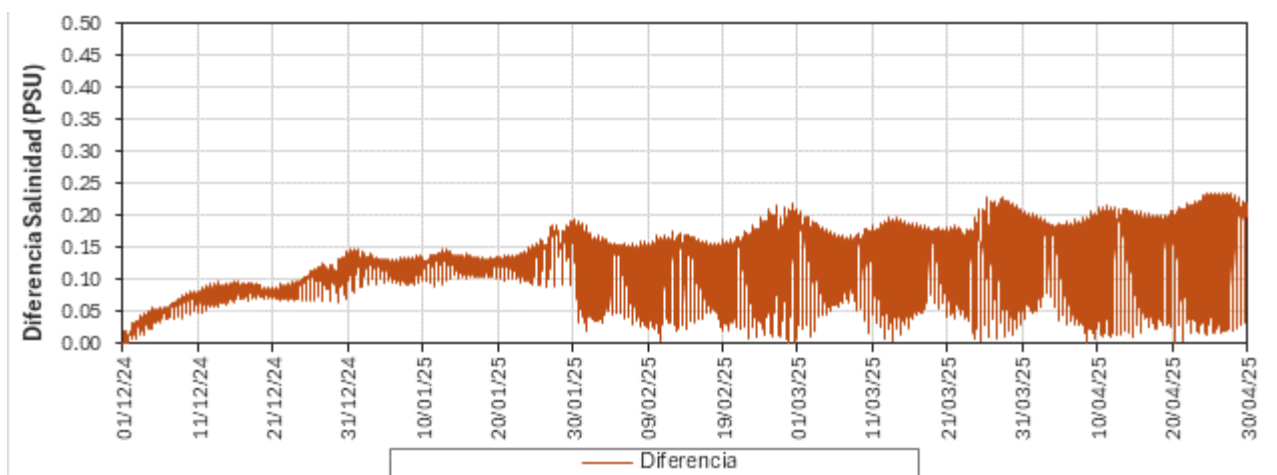


Figura 66. Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto “Mitad Napostá” – Escenario Verano para descarga en el canal principal

La Figura 67 muestra los resultados previos en el punto denominado “Mitad Napostá” para la descarga en el canal de salida de la CPB:

- El incremento en el nivel máximo de salinidad en estiaje era igual a $58,8 - 42 = 16,8$ PSU
- El incremento en el nivel máximo de salinidad para caudales medios era igual a $57,5 - 41,8 = 15,7$ PSU
- La diferencia de salinidad entre el escenario base y con Descarga alcanza picos de 30 PSU.

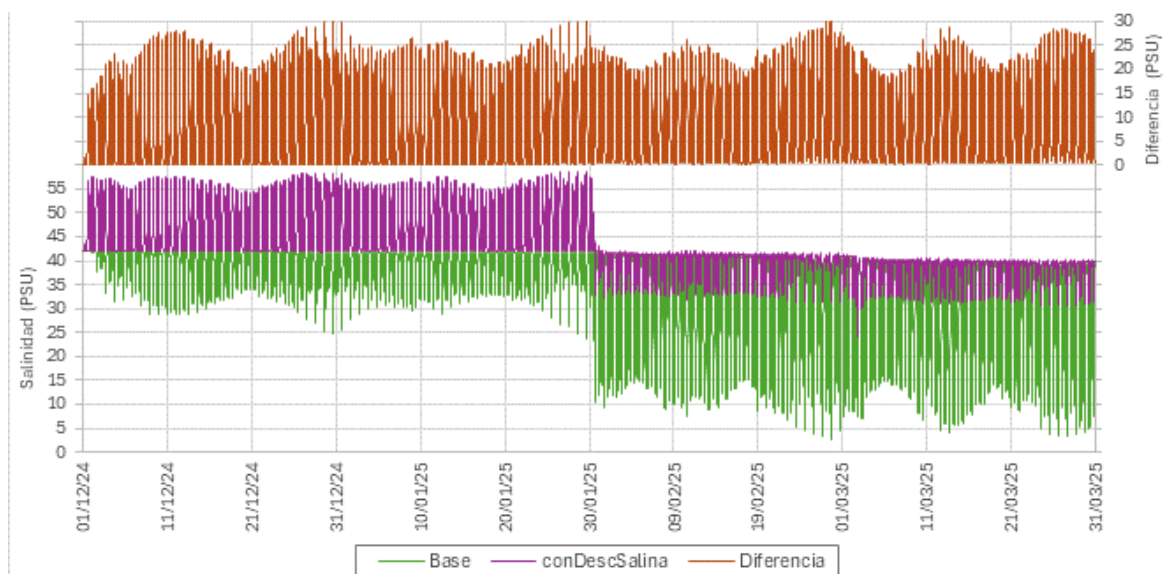


Figura 67. Salinidad y Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto “Mitad Napostá” – Escenario Verano para descarga en el canal de salida de la CPB

11.1.2.4 Canal 15 km Noroeste

La Figura 68 muestra la salinidad obtenida en el punto “Canal 15 km Noroeste” y en la Figura 69 se presenta la diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) para descarga en el canal principal.

[Firma manuscrita]

Hacia el final del período simulado, las fluctuaciones en los valores de diferencia de salinidad son de 0,05 PSU. al superponerse sobre una tendencia de largo plazo que a su vez tiene una modulación quincenal con un pico mensual (efecto de mareas de sicigias y cuadraturas), cuya amplitud alcanza unos 0,15 PSU, la diferencia ronda los 0,2 PSU.

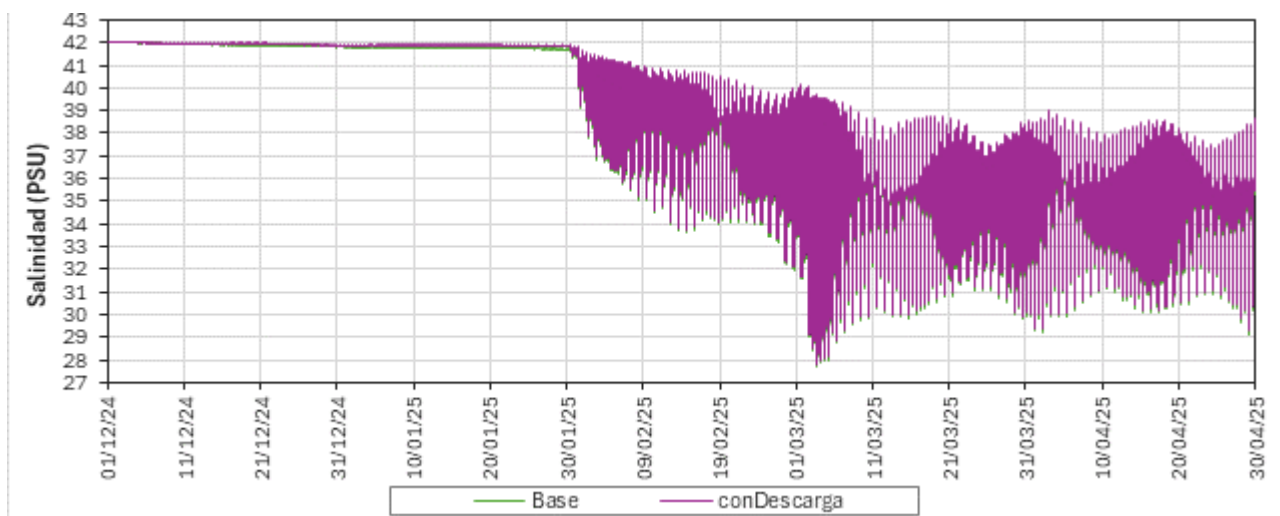


Figura 68. Salinidad obtenida en el Punto “Canal 15 km Noroeste” – Escenario Verano para descarga en el canal principal

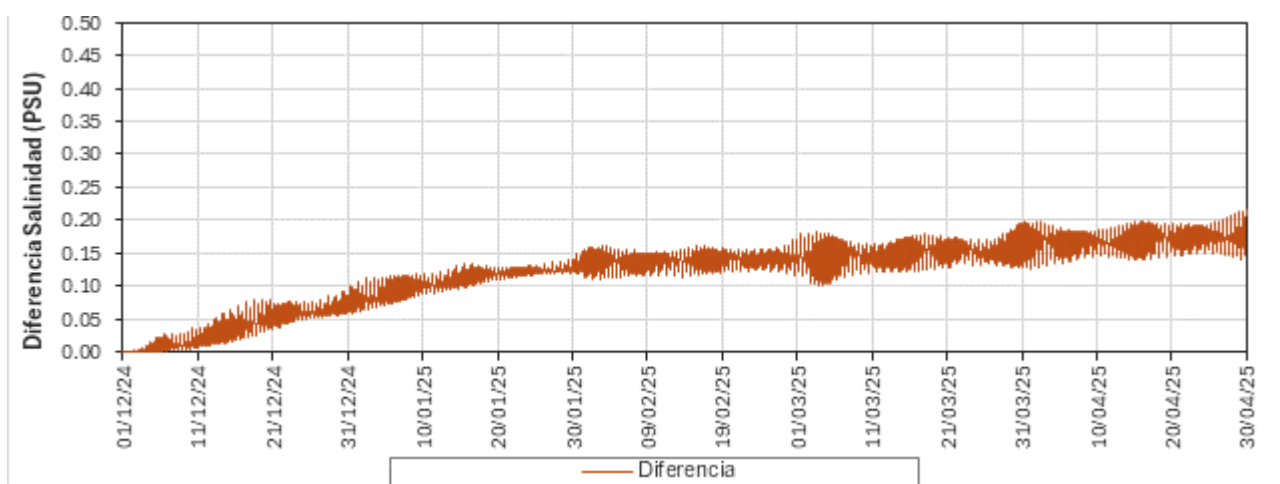


Figura 69. Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto “Canal 15 km Noroeste” – Escenario Verano para descarga en el canal principal

La Figura 70 muestra los resultados previos en el punto “Canal 15 km Noroeste” para la descarga en el canal de salida de la CPB. Hacia el final del período simulado, la diferencia de salinidad entre el escenario base y con Descarga alcanzaba picos de 0,3 PSU, que incluía una acumulación de salinidad a largo plazo de 0,25 PSU aproximadamente.

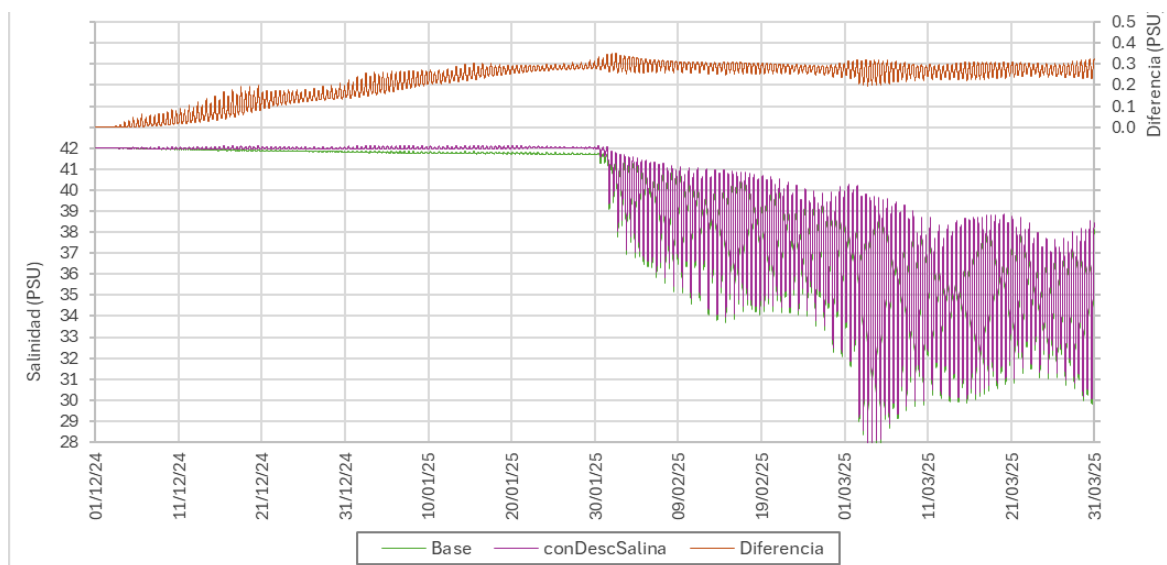


Figura 70. Salinidad y Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto “Canal 15 km Noroeste” – Escenario Verano para descarga en el canal de salida de la CPB

11.1.2.5 Canal 20 km Sudeste

La Figura 71 muestra la salinidad obtenida en el punto “Canal 20 km Sudeste” y en la Figura 72 se presenta la diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) para descarga en el canal principal.

Hacia el final del período de 150 días, las fluctuaciones en los valores de diferencia de salinidad son de 0,03 PSU. Dichas fluctuaciones se superponen a una tendencia de largo plazo que alcanza una amplitud de 0,04 PSU, alcanzando una diferencia total de 0,07 PSU.

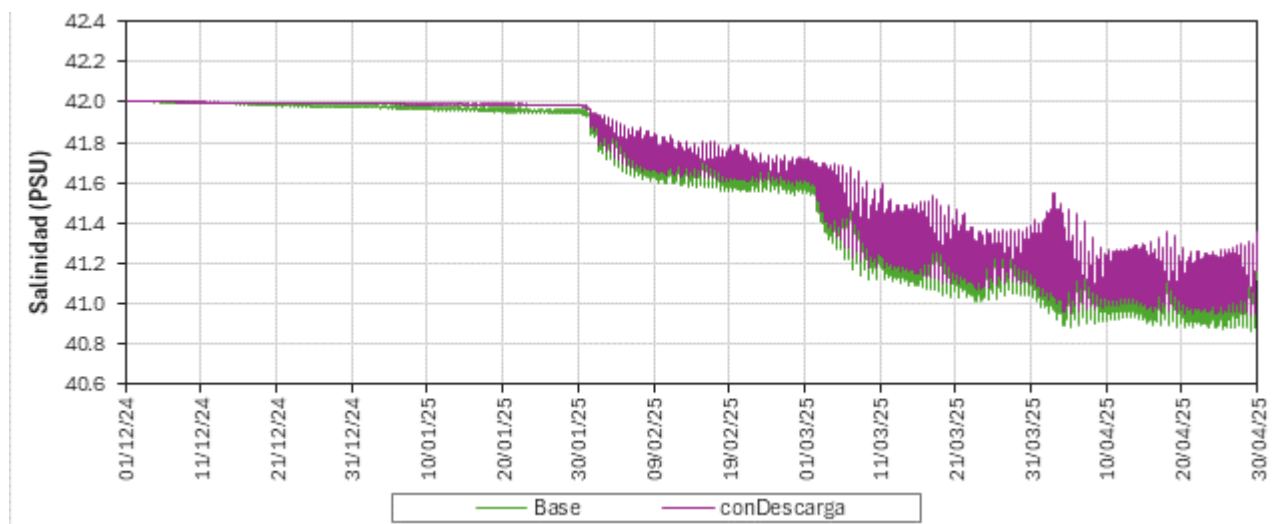


Figura 71. Salinidad obtenida en el Punto “Canal 20 km Sudeste” – Escenario Verano para descarga en el canal principal

[Signature]

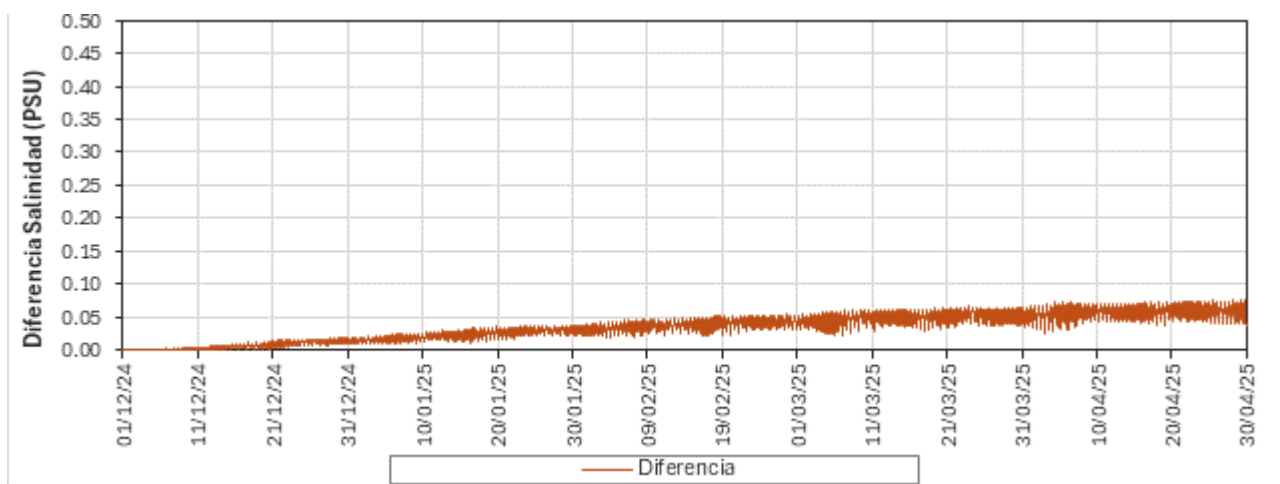


Figura 72. Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto “Canal 20 km Sudeste” – Escenario Verano para descarga en el canal principal

La Figura 73 muestra los resultados previos en el punto “Canal 20 km Sudeste” para la descarga en el canal de salida de la CPB. En ese caso, la diferencia de salinidad entre el escenario base y con Descarga alcanzaba picos de 0,1 PSU, que incluía una acumulación de salinidad a largo plazo de 0,07 PSU aproximadamente.

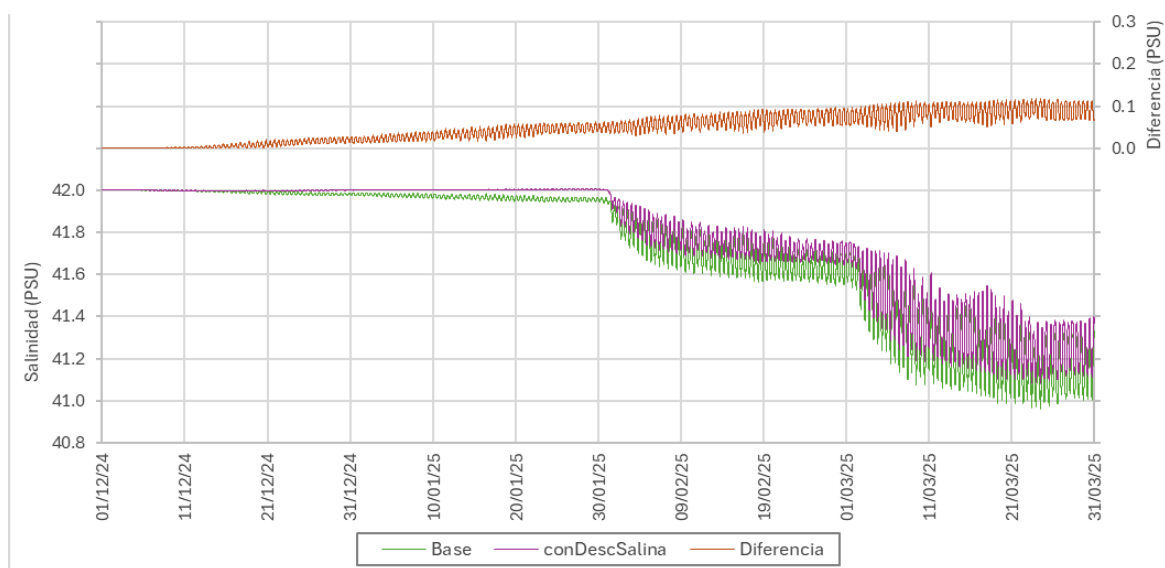


Figura 73. Salinidad y Diferencia de salinidad (Con Descarga – Base) obtenida en el Punto “Canal 20 km Sudeste” – Escenario Verano para descarga en el canal de salida de la CPB

11.2 DISTRIBUCIONES EN PLANTA DE LAS DIFERENCIAS ENTRE ESCENARIOS BASE Y CON DESCARGA

11.2.1 Escenario de Invierno

Los resultados para pleamar, bajamar y media marea creciente para el escenario de invierno se presentan en la Figura 74 a la Figura 79.

Para el escenario de invierno, un incremento de 0,1 PSU llega hasta cercanías de Puerto Belgrano durante bajamar y hasta la zona de Villa del Mar durante pleamar. Además, un incremento de salinidad de 0,2 PSU se produce a una distancia máxima de 2,2 km aguas arriba de la descarga, durante la media marea creciente.

La Figura 80 y la Figura 81 ilustran la diferencia entre los valores máximos (pico) de salinidad para escenario con descarga con respecto a los valores base, para caudal de estiaje y caudal medio de los afluentes a la ría. Se puede apreciar que el incremento de salinidad máxima se concentra principalmente en la margen norte de la ría, y que los incrementos en los valores máximos de salinidad se limitan en general a valores menores a 0,15 PSU, excepto en inmediaciones de la descarga, donde se observan incrementos en los valores máximos de 0,3 PSU 650 m aguas arriba y 170 m aguas abajo de descarga y de 0,5 PSU 150 m aguas arriba y 40 m aguas abajo de descarga.

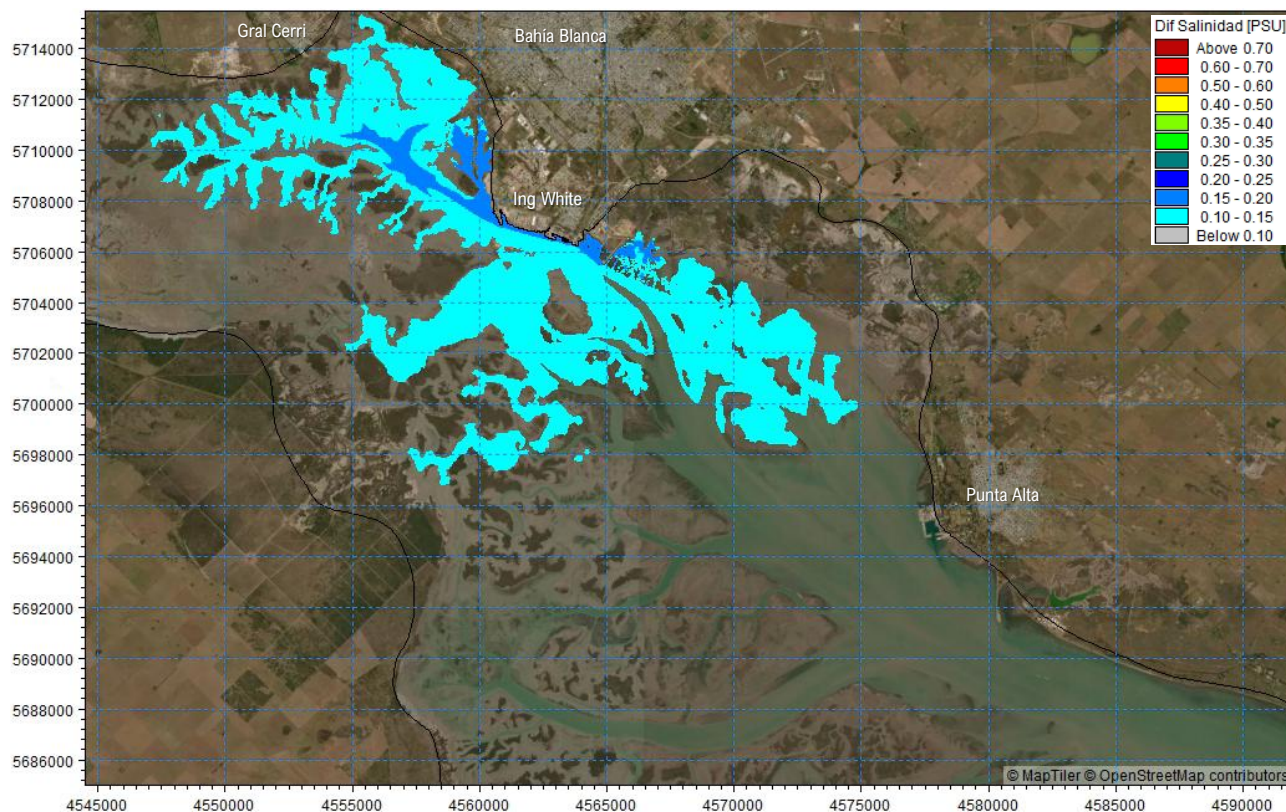


Figura 74. Escenario de Invierno. Máxima excursión de la pluma de descarga hacia el interior de la ría (pleamar). Diferencias de salinidad respecto de la situación base

[Firma manuscrita]

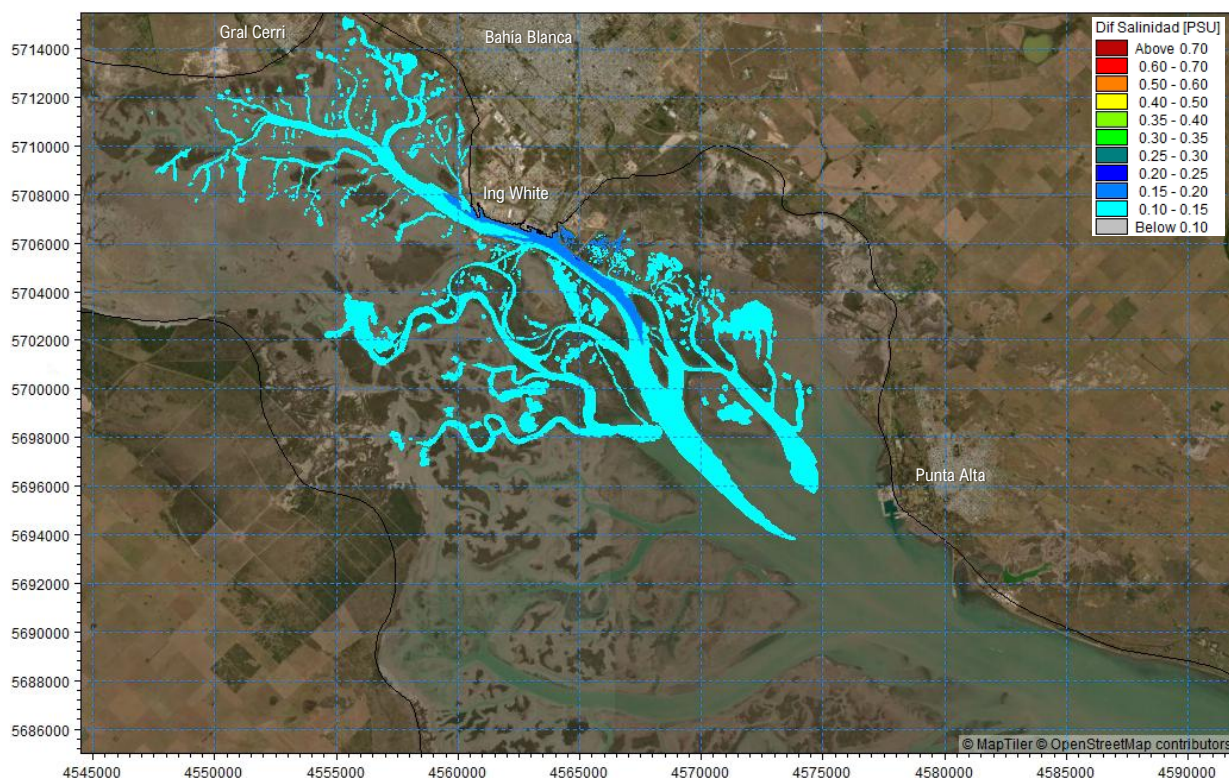


Figura 75. Escenario de Invierno. Máxima excursión de la pluma de descarga hacia la desembocadura (bajamar). Diferencias de salinidad respecto de la situación base

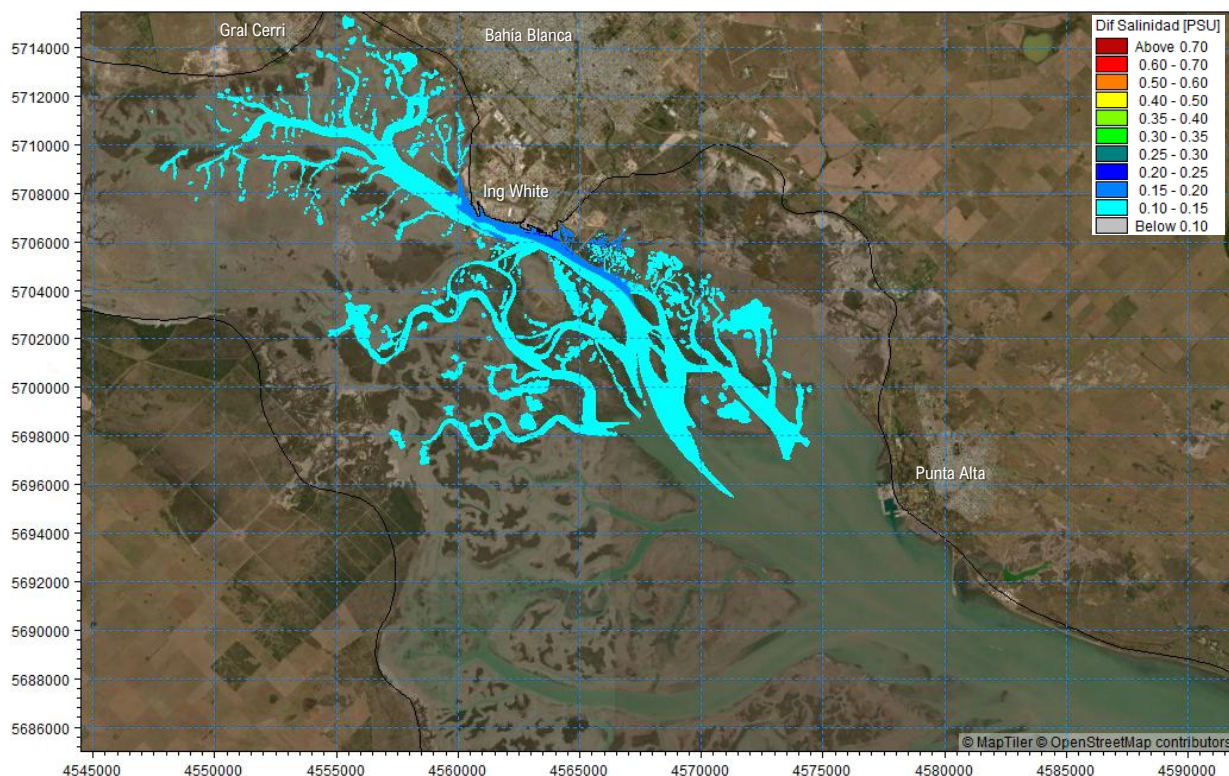


Figura 76. Escenario de Invierno. Excursión de la pluma de descarga durante el momento de máximas velocidades hacia el interior de la ría (media creciente). Diferencias de salinidad respecto de la situación base

[Firma manuscrita]

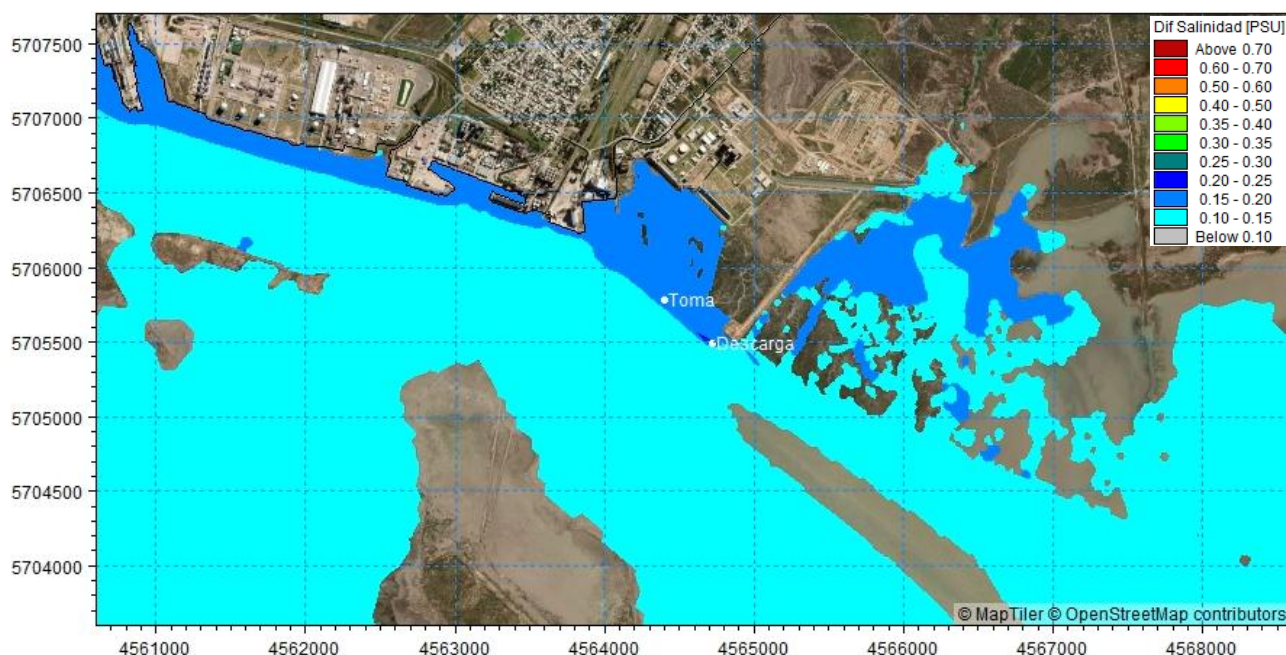


Figura 77. Escenario de Invierno. Detalle de la máxima excursión de la pluma de descarga hacia el interior de la ría (pleamar). Diferencias de salinidad respecto de la situación base

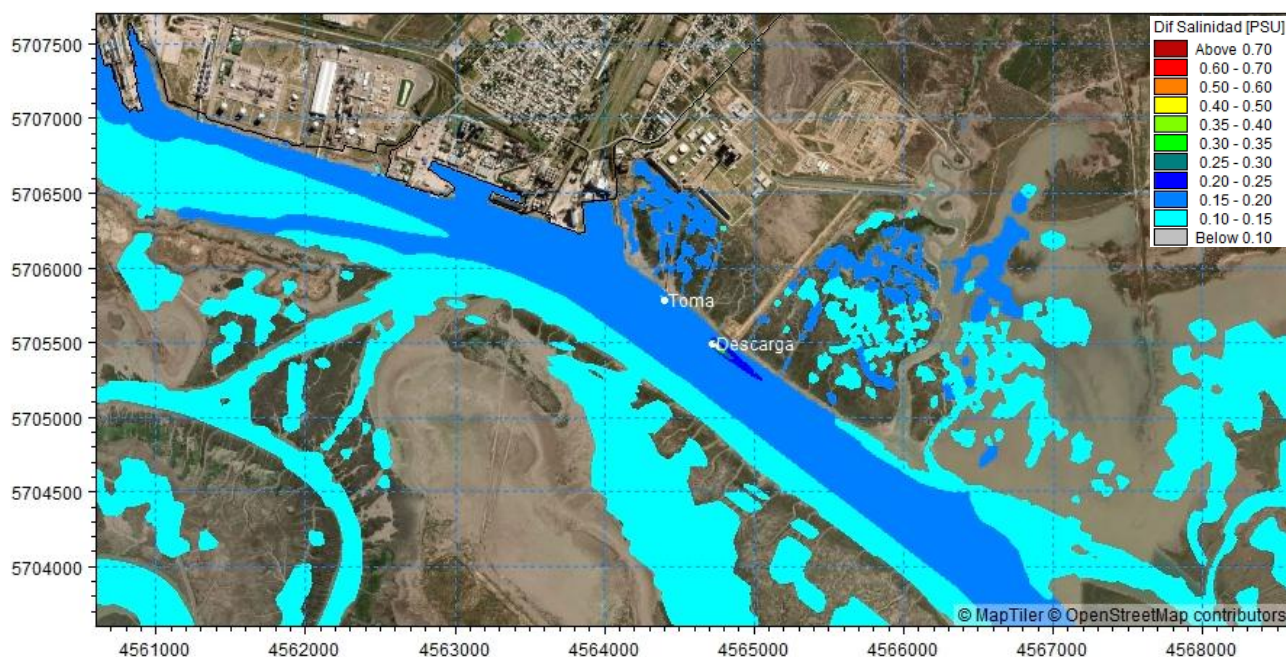


Figura 78. Escenario de Invierno. Detalle de la máxima excursión de la pluma de descarga hacia la desembocadura (bajamar). Diferencias de salinidad respecto de la situación base

[Firma manuscrita]

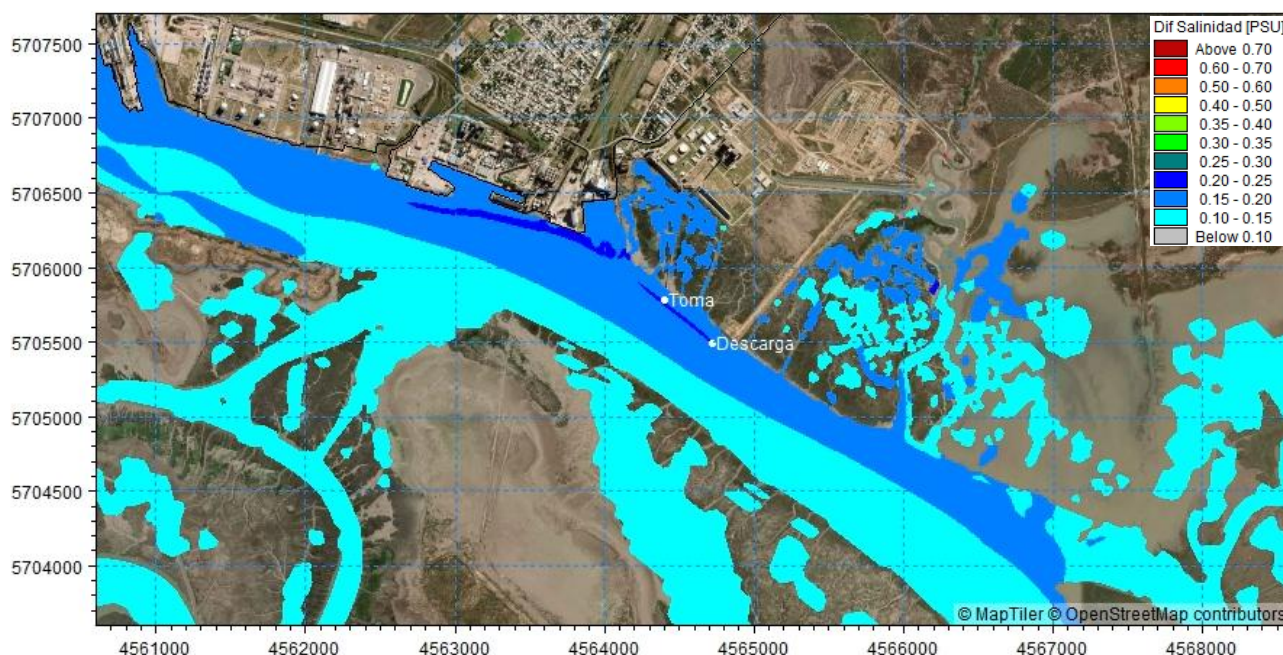


Figura 79. Escenario de Invierno. Detalle de la excursión de la pluma de descarga durante el momento de máximas velocidades hacia el interior de la ría (media creciente). Diferencias de salinidad respecto de la situación base

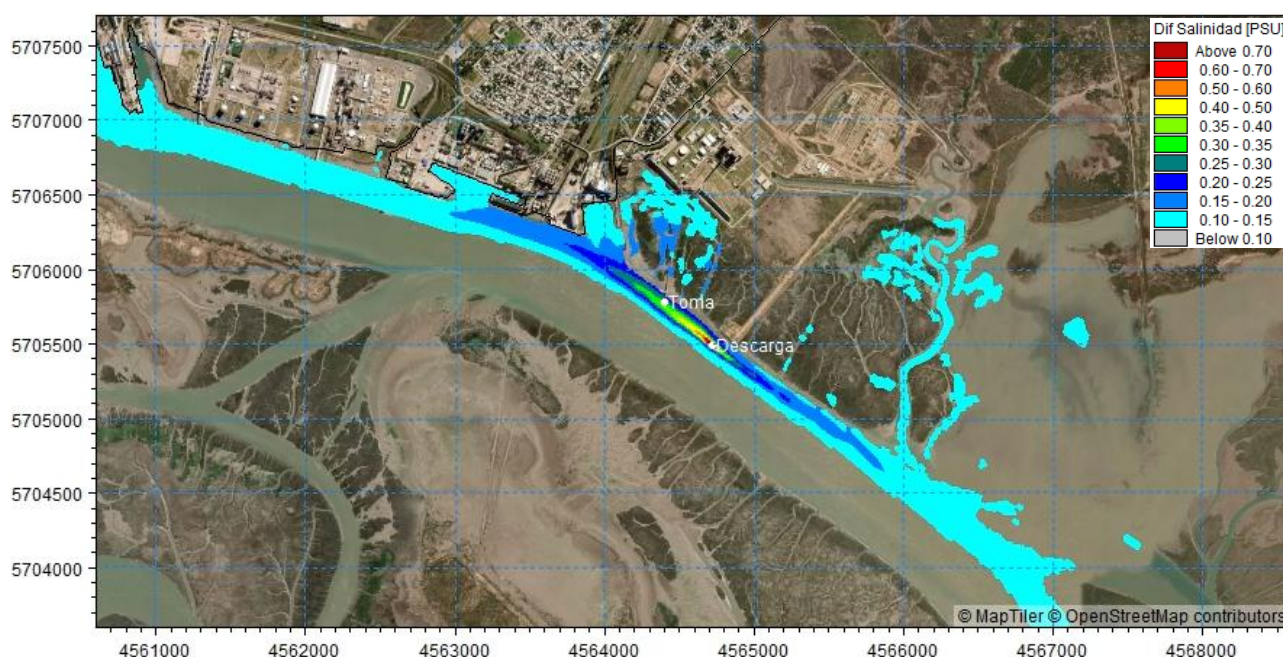


Figura 80. Escenario Invierno para Caudal de Estiaje. Diferencia de Envoltentes de Salinidad Máxima (Con Descarga – Base)

[Firma manuscrita]

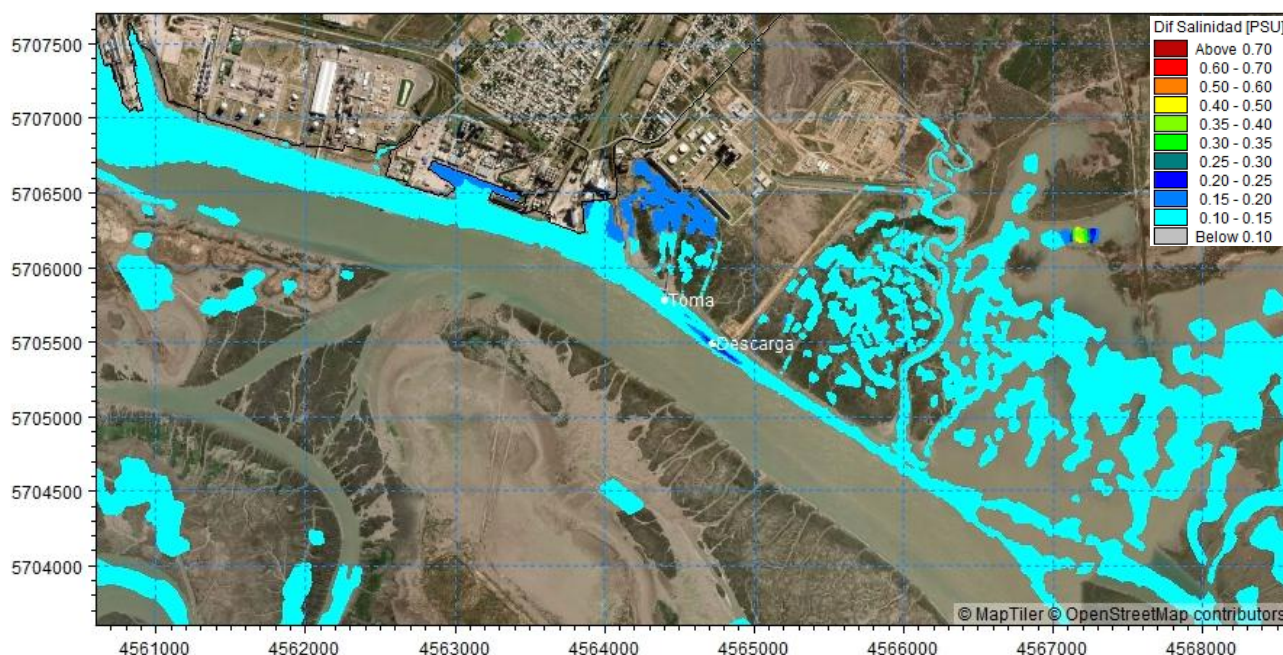


Figura 81. Escenario Invierno para Caudal Medio. Diferencia de Envolventes de Salinidad Máxima (Con Descarga – Base)

11.2.2 Escenario de Verano

En este apartado se ilustran los incrementos de salinidad del agua para los escenarios modelados en diferentes instantes característicos. Los resultados para pleamar, bajamar y media marea creciente se presentan de la Figura 82 a la Figura 87.

Para el escenario de verano, un incremento de 0,1 PSU alcanza la zona de Puerto Rosales durante bajamar y llega hasta cercanías de la zona de Puerto Belgrano durante pleamar. Además, un incremento de salinidad de 0,25 PSU se produce a una distancia máxima de 3,5 km aguas arriba de la descarga, durante la media marea creciente.

La Figura 88 y la Figura 89 ilustran la diferencia entre los valores máximos (pico) de salinidad para escenario con descarga con respecto a los valores base, para caudal de estiaje y caudal medio de los afluentes a la ría. Se puede apreciar que el incremento de salinidad máxima se concentra principalmente en la margen norte de la ría, y que los incrementos en los valores máximos de salinidad se limitan en general a valores menores a 0,2 PSU, excepto en inmediaciones de la descarga, donde se observan incrementos en los valores máximos de 0,3 PSU 1 km aguas arriba y 400 m aguas abajo de descarga y de 0,5 PSU 350 m aguas arriba y 100 m aguas abajo de descarga.

[Firma manuscrita]

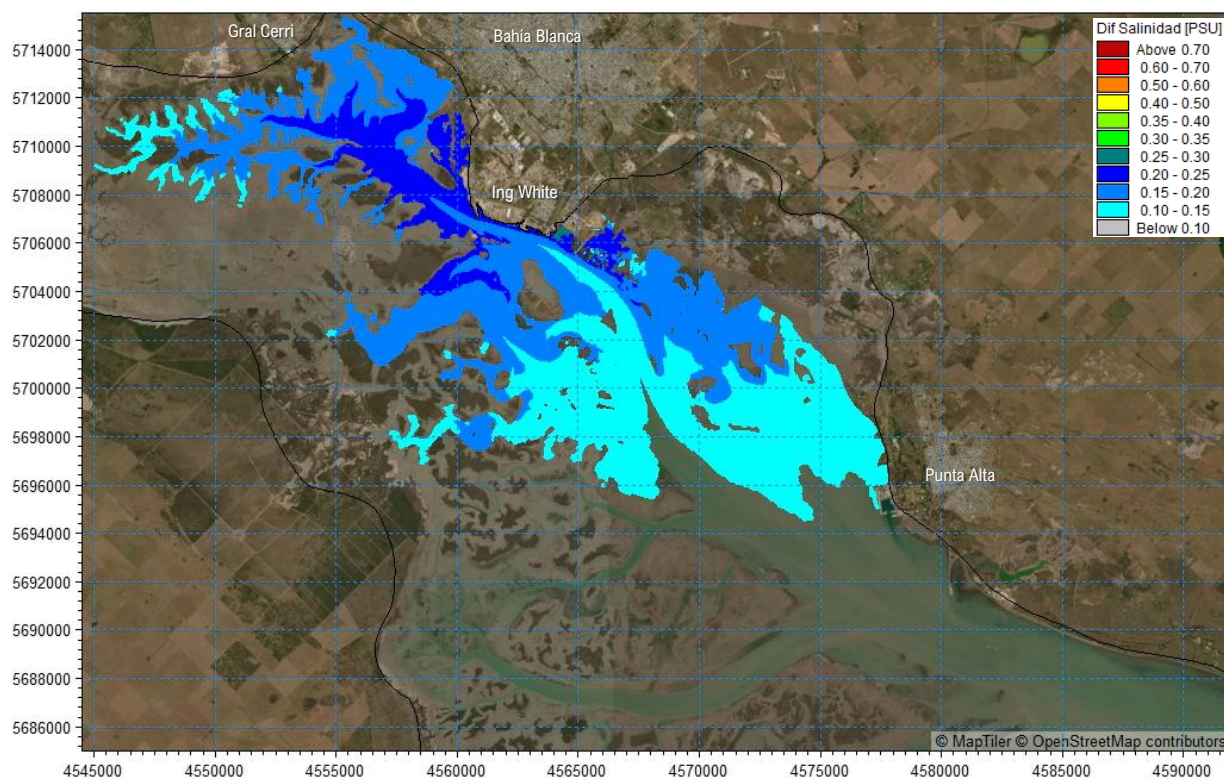


Figura 82. Escenario de Verano. Máxima excursión de la pluma de descarga hacia el interior de la ría (pleamar). Diferencias de salinidad respecto de la situación base

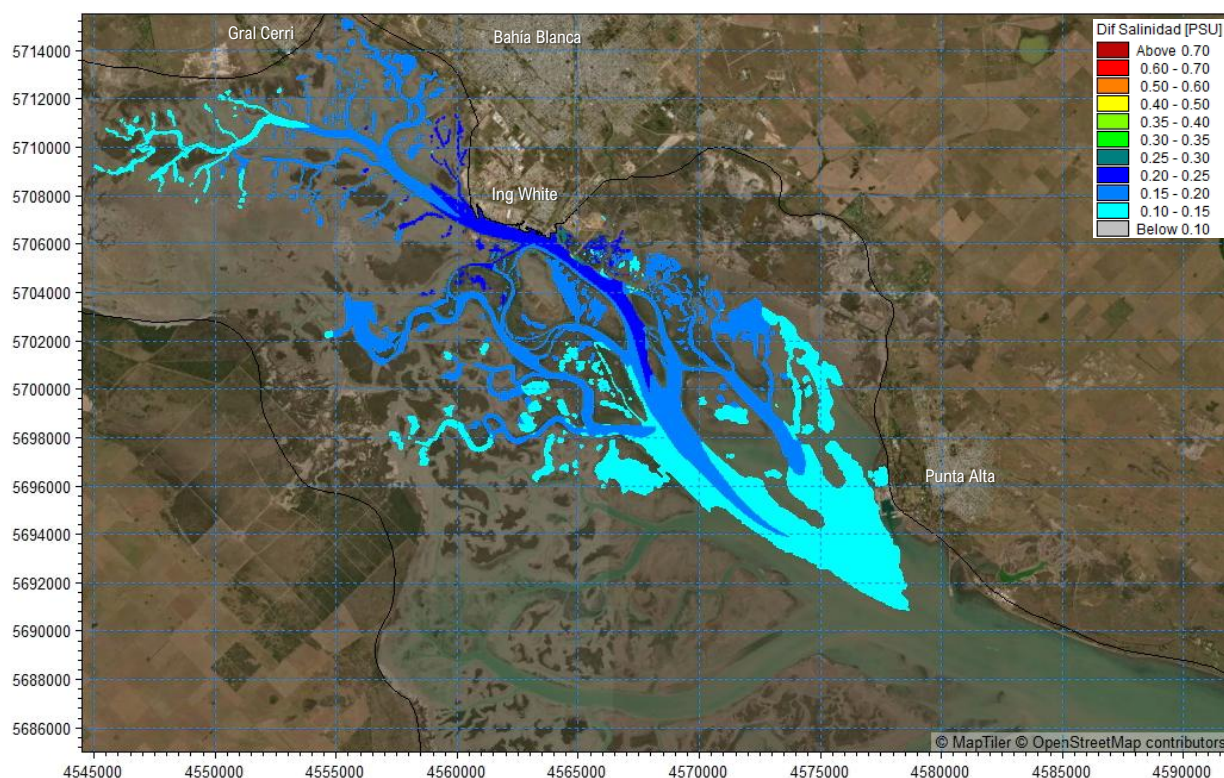


Figura 83. Escenario de Verano. Máxima excursión de la pluma de descarga hacia la desembocadura (bajamar). Diferencias de salinidad respecto de la situación base

[Firma manuscrita]

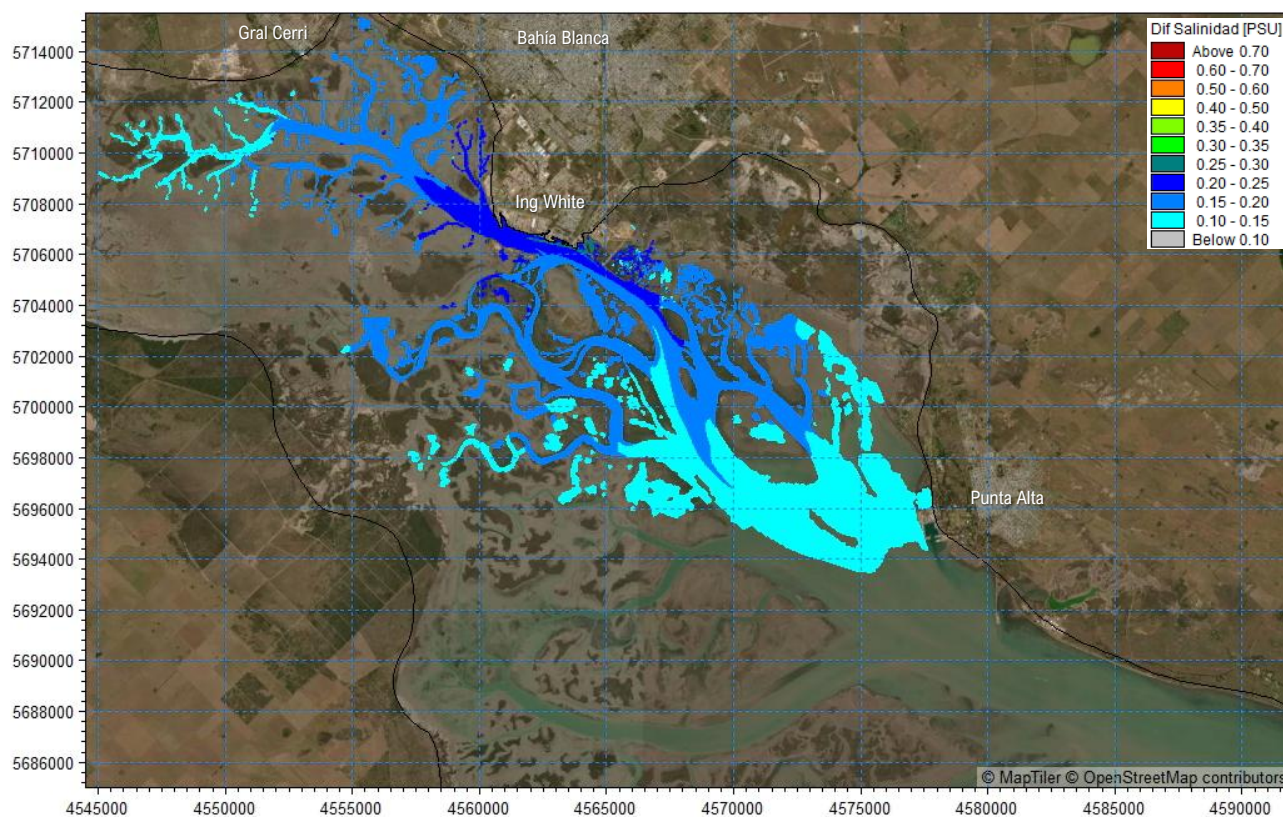


Figura 84. Escenario de Verano. Excursión de la pluma de descarga durante el momento de máximas velocidades hacia el interior de la ría (media creciente). Diferencias de salinidad respecto de la situación base

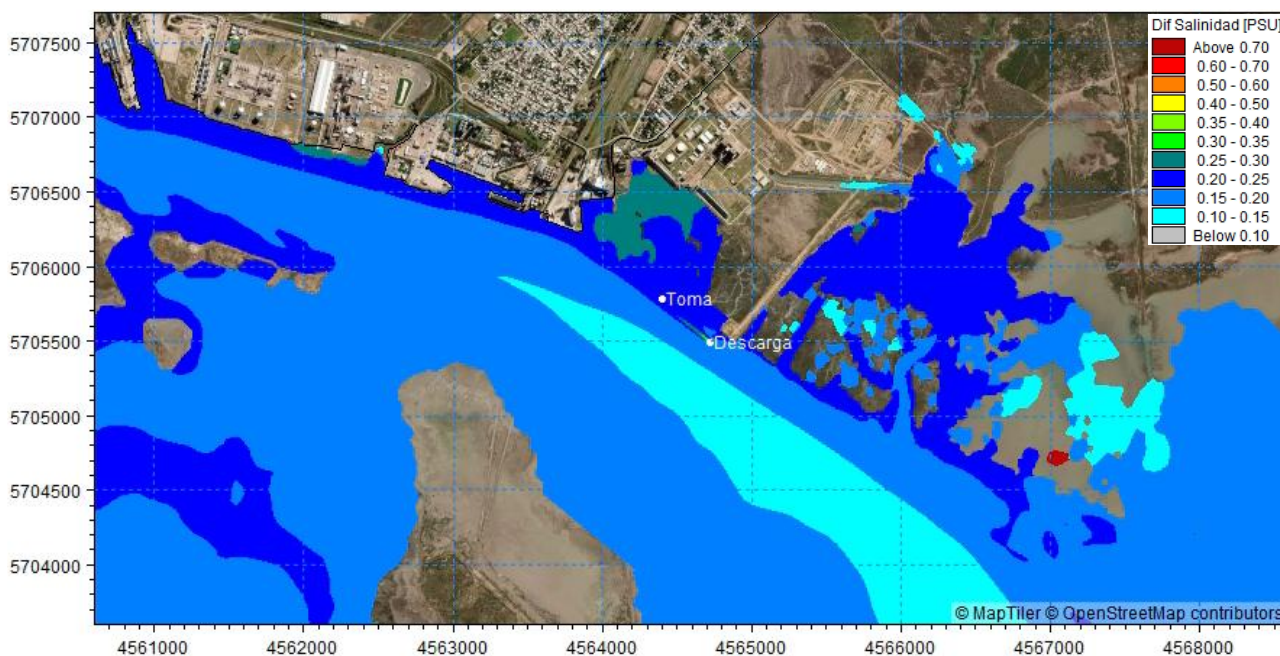


Figura 85. Escenario de Verano. Detalle de la máxima excursión de la pluma de descarga hacia el interior de la ría (pleamar). Diferencias de salinidad respecto de la situación base

[Firma manuscrita]

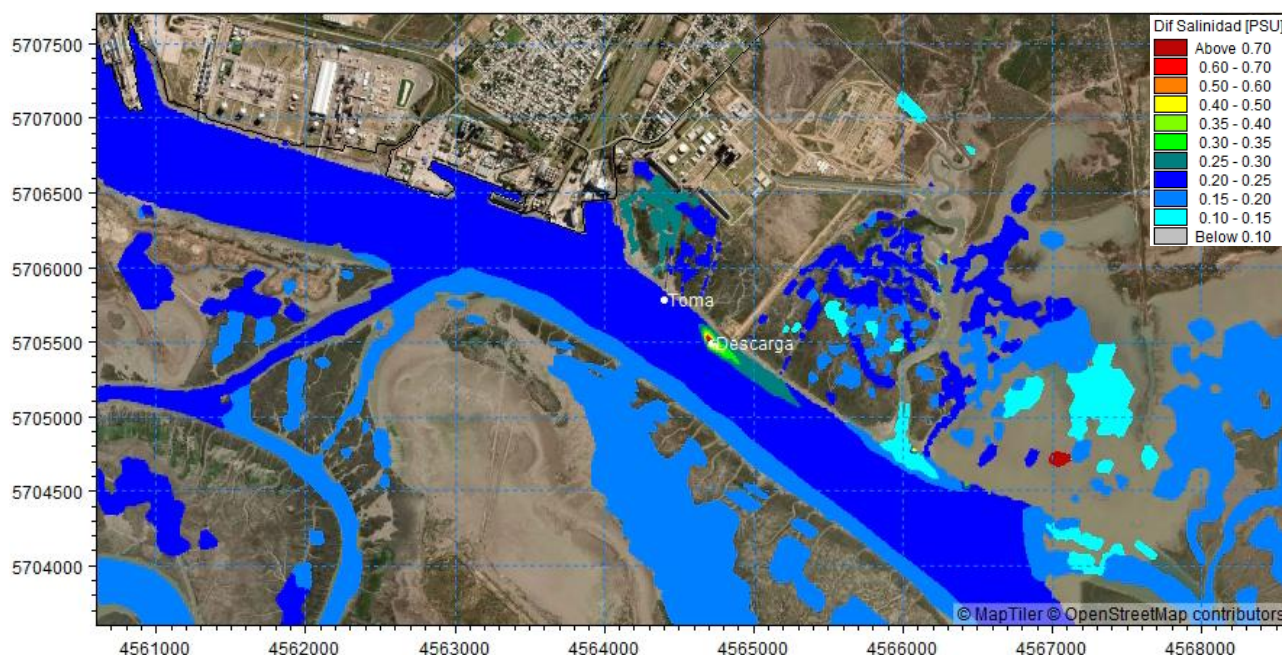


Figura 86. Escenario de Verano. Detalle de la máxima excursión de la pluma de descarga hacia la desembocadura (bajamar). Diferencias de salinidad respecto de la situación base

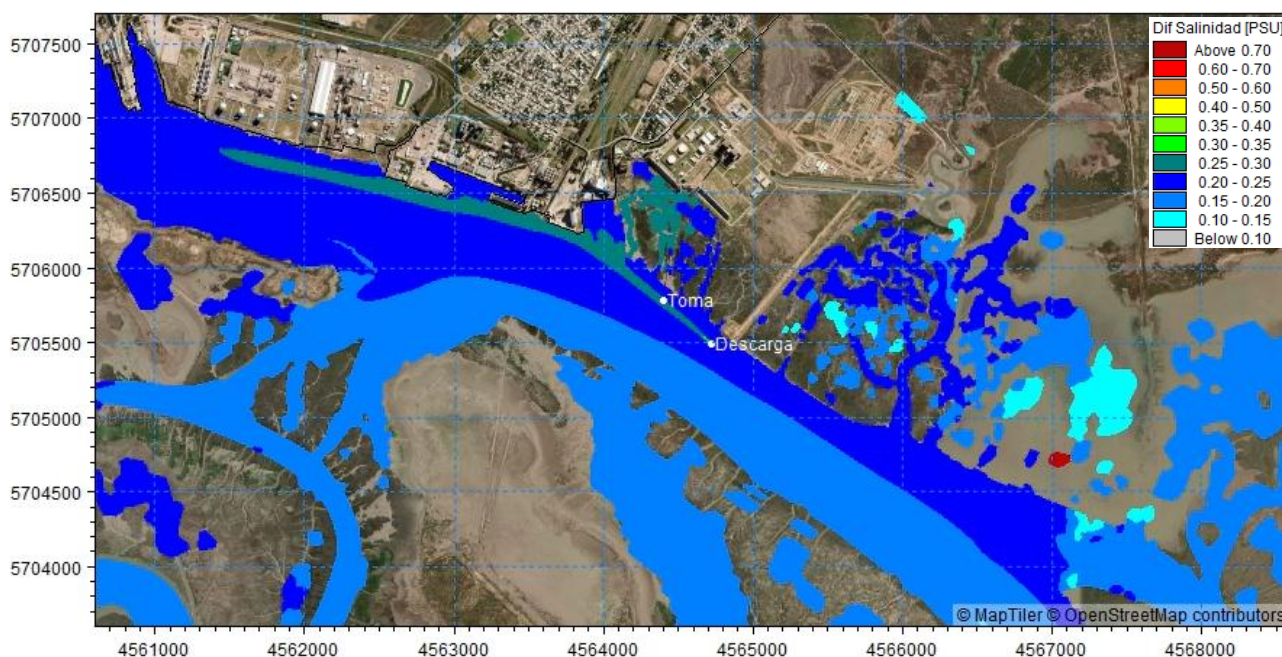


Figura 87. Escenario de Verano. Detalle de la excursión de la pluma de descarga durante el momento de máximas velocidades hacia el interior de la ría (media creciente). Diferencias de salinidad respecto de la situación base

[Firma manuscrita]

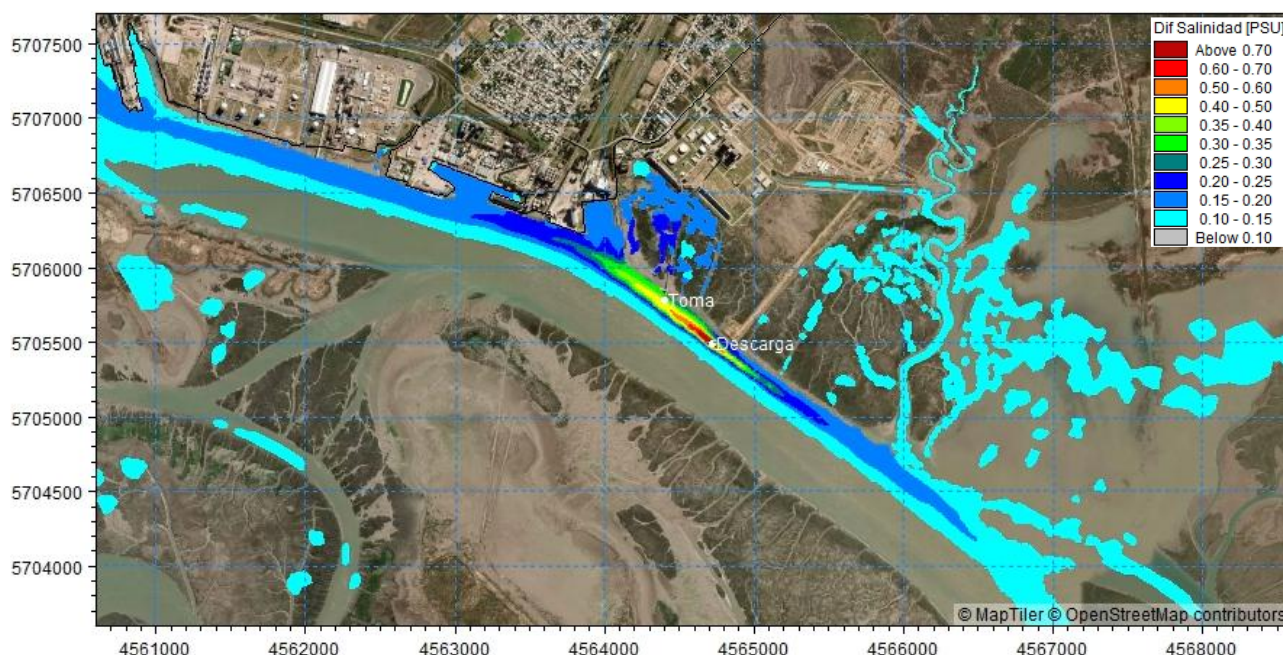


Figura 88. Escenario Verano para Caudal de Estiaje. Diferencia de Envoltentes de Salinidad Máxima (Con Descarga – Base)

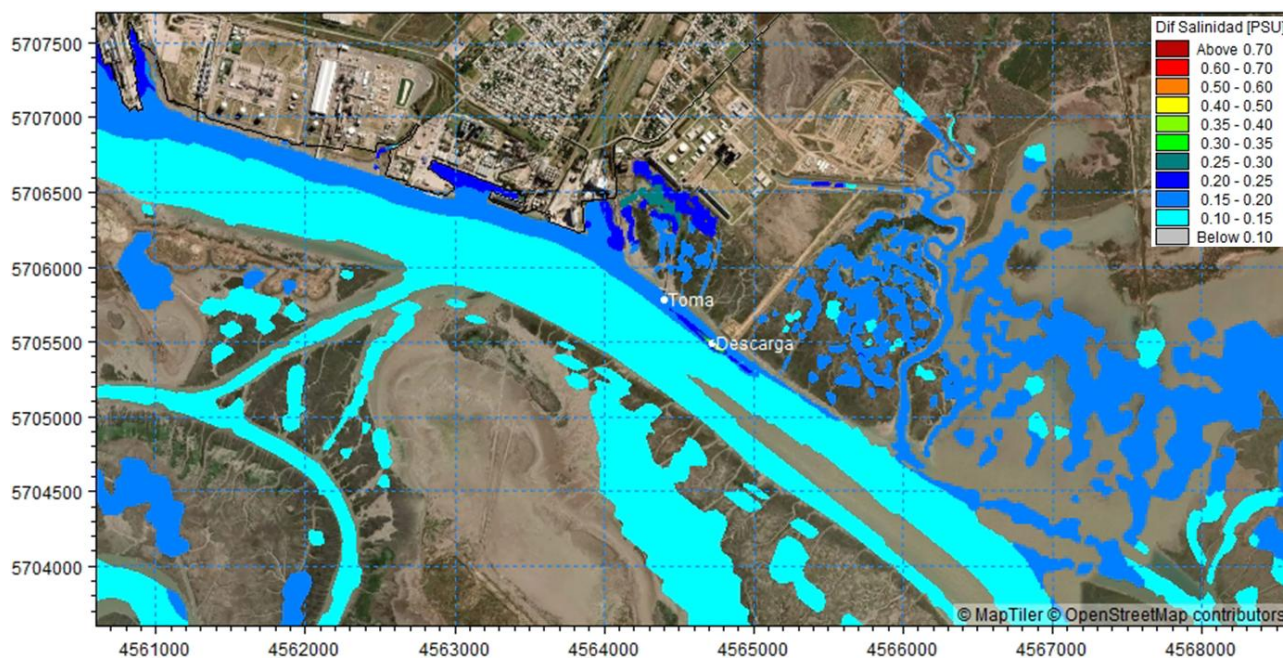


Figura 89. Escenario Verano para Caudal Medio. Diferencia de Envoltentes de Salinidad Máxima (Con Descarga – Base)

12 CONCLUSIONES

Se evaluaron las concentraciones salinas en la ría de Bahía Blanca para una condición de descarga de los efluentes de rechazo de la planta de desalinización en el canal principal.

El caudal descargado es igual a 2300 m³/hora y la salinidad del efluente de la planta se consideró igual a la del agua que ingresa por la toma, multiplicada por 1,5.

Se simularon tanto el escenario de verano que es el más conservativo y como el escenario de invierno, con una ventana temporal de 150 días.

A través de un análisis inicial bidimensional (2D) efectuado mediante el modelo MIKE 21 se evaluaron distintas posiciones de la descarga de la planta en el canal principal de la ría de Bahía Blanca: a 50, 70, 90 y 110 m del macizo, utilizando una relación preliminar entre la salinidad de la toma y de la descarga. Los ensayos se realizaron para una condición de verano con una salinidad de base igual a 42 PSU. La salinidad máxima promediada en la vertical en la toma CPB decrece al alejar la descarga de la costa: desde 42,7 PSU a 50 m hasta 42,2 PSU a 110 m.

Considerando el resultado anterior, se realizó un prediseño geométrico e hidráulico de un emisario cuya zona de difusión se plantea en los últimos 10 m a 20 m del emisario, aproximadamente entre las progresivas 90/100 m y 110 m medidas desde el inicio del tramo submarino. En esta zona se proyecta una configuración preliminar compuesta por cinco risers distribuidos equidistantemente, con separaciones variables entre 2,5 m y 5 m según la alternativa analizada hidráulicamente.

Mediante el modelo CORMIX se obtuvieron las características de la pluma en la interfase del campo cercano y lejano, para emisarios de 13, 20 y 30 metros de longitud, y se realizaron análisis de sensibilidad. No se realizaron ensayos para 10 metros de longitud porque el modelo no permite que el difusor sea más corto que la profundidad de agua. Los resultados obtenidos con este modelo son las dimensiones y posición espacial vertical de la pluma en el final del campo cercano, y la dilución inicial obtenida hasta ese punto.

A partir de una modelación tridimensional (3D) realizada mediante el modelo MIKE 3 ejecutado en estado estacionario al inicio de la creciente, se pudo observar que la pluma está suficientemente uniformizada en la vertical al llegar a la toma. La diferencia entre la salinidad en el intradós y el promedio vertical es del orden de 0,005%, y en el eje de la pluma es del orden del 0,05% lo que valida el uso directo de los resultados del modelo 2D sin utilizar un factor de corrección por estratificación vertical.

A su vez, se evaluaron con el modelo 3D diferentes longitudes de difusores de 3,25 a 30 m, estimando las dimensiones y dilución al final del campo cercano para las longitudes inferiores a 13 metros: los resultados obtenidos mediante la modelación 3D en la zona de toma son similares en todos los casos, aunque los difusores más cortos concentran la pluma en mayor medida y aumentan el riesgo de cortocircuito ante condiciones de marea y/o viento que puedan llegar a acercar la pluma a la toma. Se consideró que lo más adecuado es utilizar un difusor con 10 metros de longitud.

La modelación se realizó considerando caudales de estiaje de los afluentes durante los primeros 60 días (lo cual es fuertemente conservativo), y la ocurrencia de lluvias de baja intensidad a los 61 y 91 días, más caudales medios representativos de los efluentes en el segundo período entre los días 60 y 150.

Si bien este período total de 150 días excede el correspondiente a las estaciones de verano e invierno, la extensión se realizó para verificar la estabilidad del incremento de salinidad.

La eventual ocurrencia de alguna precipitación importante podría “resetear” el sistema (volverlo prácticamente a condiciones naturales) si aporta un caudal suficiente directamente sobre la ría y a través de los afluentes como para desplazar un volumen de agua significativo hacia el mar.

Se compararon dos situaciones: escenario base sin descarga y escenario con descarga de 2.300 m³/h con una salinidad del efluente equivalente a 1,5 veces la de la toma.



Los aportes de los sistemas de tratamiento cloacal de la ciudad de Bahía Blanca se han simulado con valores de descarga mínimos también muy conservativos en el período de estiaje ($0,3 \text{ m}^3/\text{s}$) y valores medios posteriormente ($0,6 \text{ m}^3/\text{s}$). Siguiendo de igual manera un criterio conservativo, los aportes del Parque industrial de Ing. White se han minimizado, dada la variabilidad e incerteza sobre sus condiciones.

La comparación fue realizada en un conjunto de puntos que abarca tanto la zona cercana a la descarga y la toma de la planta, como zonas sensibles de la ría de Bahía Blanca y zonas alejadas hacia los extremos de ésta. Los incrementos de salinidad inducidos por la descarga presentan un patrón consistente en los puntos evaluados. Se resumen a continuación los principales resultados.

Para el **escenario de invierno** en la toma CPB se registra un incremento semi-permanente del orden de $0,2\text{--}0,25 \text{ PSU}$, producto de la acumulación gradual de sal en la ría, sobre el cual se superponen picos transitorios de magnitud similar que ocurren con una periodicidad de aproximadamente 12 ± 1 horas (coincidiendo con el inicio de la creciente luego de la estoa de bajar) y que llevan a una diferencia total máxima del orden de $0,45 \text{ PSU}$.

En la desembocadura del canal de mareas del Napostá el incremento es de similar magnitud a la toma ($0,2 \text{ PSU}$), mientras que en el canal ubicado 15 km al noroeste desciende a $0,18 \text{ PSU}$ con menor amplitud en los picos. El impacto es menor en el canal 20 km al sudeste ($0,06 \text{ PSU}$), lo que refleja una atenuación del efecto hacia el exterior de la ría.

Para el **escenario de verano** en la toma CPB se registra un incremento semi-permanente del orden de $0,2\text{--}0,25 \text{ PSU}$, producto de la acumulación gradual de sal en la ría, sobre el cual se superponen picos transitorios de magnitud similar que ocurren con una periodicidad de aproximadamente 12 ± 1 horas (coincidiendo con el inicio de la creciente luego de la estoa de bajar) y que llevan a una diferencia total máxima del orden de $0,45 \text{ PSU}$.

En la desembocadura del Napostá el incremento es de similar magnitud a la toma ($0,2 \text{ PSU}$), mientras que en el canal ubicado 15 km al noroeste desciende a $0,18 \text{ PSU}$ con menor amplitud en los picos. El impacto es menor en el canal 20 km al sudeste ($0,06 \text{ PSU}$), lo que refleja una atenuación del efecto hacia el exterior de la ría.

A los efectos prácticos y considerando los factores de incerteza que pueden afectar el resultado de las modelaciones, se considera adecuado considerar una tendencia de largo plazo en el incremento de la salinidad de $0,25 \text{ PSU}$ en la zona media de la ría de Bahía Blanca, antes de que el proceso de acumulación se reduzca significativamente por la ocurrencia de alguna precipitación de magnitud relativamente importante o debido al descenso de la temperatura y la salinidad naturales en época invernal, y dado que los picos transitorios en la toma podrían alcanzar una amplitud de $0,25 \text{ PSU}$ como promedio en la vertical, se alcanzarían unos $0,5 \text{ PSU}$ de incremento total de salinidad durante el pasaje de los picos por la toma en condiciones típicas de verano.

En relación todos los sitios sensibles desde el punto de vista ambiental que se presentan en la Figura 90, sus resultados se presentan en el documento adjunto y se resumen a continuación.

En la Tabla 13 se presenta la **máxima diferencia entre la salinidad con y sin descarga en cada instante** de la simulación. En la Tabla 14 en cambio, se presenta la **diferencia entre la envolvente temporal de los valores máximos de salinidad durante todo el período de simulación**.

Este último indicador es el más representativo del impacto a largo plazo sobre los niveles de salinidad de la ría de Bahía Blanca, y es inferior al anterior.





Figura 90. Puntos de monitoreo de los resultados de la modelación.

En Verano, los incrementos en los valores máximos de salinidad en los puntos más cercanos a la descarga, incluyendo los puntos ubicados en el entorno del Napostá, resultan menores a 0,2 PSU. Tomando como referencia la zona de descarga, los incrementos hacia el interior de la ría resultan de 0,15 PSU y los incrementos que se obtienen hacia el exterior de la ría presentan valores menores a 0,1 PSU.

Algo similar ocurre con las diferencias entre los valores de salinidad entre la situación con descarga y la situación base en Verano: en el entorno de la descarga y del arroyo Napostá, se obtuvieron fluctuaciones cuyos valores máximos al final del período evaluado son de 0,2 a 0,3 PSU. Hacia el interior de la ría, las máximas diferencias al final de los 150 días rondan 0,2 PSU y hacia el exterior de la ría los máximos incrementos descienden hasta 0,07 PSU en la zona de Punta Alta.

En Invierno, los incrementos en los valores máximos de salinidad en los puntos más cercanos a la descarga, incluyendo los puntos ubicados en el entorno del Napostá, resultan menores a 0,15 PSU. Tomando como referencia la zona de descarga, los incrementos hacia el interior de la ría resultan de 0,10 PSU y los incrementos que se obtienen hacia el exterior de la ría presentan valores menores a 0,05 PSU.

[Firma manuscrita]

Algo similar ocurre con las diferencias entre los valores de salinidad entre la situación con descarga y la situación base en Invierno: en el entorno de la descarga y del arroyo Napostá, se obtuvieron fluctuaciones cuyos valores máximos al final del período evaluado son de 0,15 a 0,20 PSU. Hacia el interior de la ría, las máximas diferencias al final de los 150 días rondan 0,15 PSU y hacia el exterior de la ría los máximos incrementos descienden hasta 0,05 PSU en la zona de Punta Alta.

Tabla 13. Máxima diferencia de la salinidad (en PSU) a largo plazo en diferentes puntos de la ría de Bahía Blanca, para la descarga en el canal Principal (CP).

Punto	Verano	Invierno
CP 15 km Noroeste de la desembocadura del Napostá	0,20	0,15
WHSRN AR08 A	0,21	0,15
CP 10 Km al Noroeste de la desembocadura del Napostá	0,23	0,16
Margen CP 10 Km al Noroeste de la desembocadura del Napostá	0,23	0,16
Arroyo Maldonado	0,21	0,15
Toma	0,45	0,35
Isla Gaviota Cangrejera A	0,20	0,14
Margen CP 1 Km al Noroeste de la desembocadura del Napostá	0,28	0,19
Barranco Arroyo Napostá	0,23	0,22
Mitad Arroyo Napostá	0,22	0,15
Desembocadura Napostá	0,22	0,15
Mitad del Canal Principal Frente a la desembocadura del Napostá	0,24	0,15
Margen Opuesta del CP Frente de la desembocadura del Napostá	0,20	0,14
Margen CP 1 Km al Sudeste de la desembocadura del Napostá	0,25	0,15
Isla Gaviota Cangrejera B	0,16	0,12
WHSRN AR08 B	0,15	0,10
Brazo 10 Km al Sudeste de la desembocadura del Napostá	0,16	0,11
CP 10 Km al Sudeste de la desembocadura del Napostá	0,16	0,11
Punta Alta	0,08	0,05
Margen CP 20 Km al Sudeste de la desembocadura del Napostá	0,07	0,05
CP 20 Km al Sudeste de la desembocadura del Napostá	0,07	0,05

Tabla 14. Máximo incremento absoluto de la salinidad (en PSU) a largo plazo en diferentes puntos de la ría de Bahía Blanca, para la descarga en el canal Principal (CP).

Punto	Verano	Invierno
CP 15 km Noroeste de la desembocadura del Napostá	0,15	0,10
WHSRN AR08 A	0,15	0,10
CP 10 Km al Noroeste de la desembocadura del Napostá	0,15	0,10
Margen CP 10 Km al Noroeste de la desembocadura del Napostá	0,15	0,10
Arroyo Maldonado	0,15	0,10
Toma	0,30	0,30
Isla Gaviota Cangrejera A	0,10	0,10
Margen CP 1 Km al Noroeste de la desembocadura del Napostá	0,15	0,15
Barranco Arroyo Napostá	0,15	0,10
Mitad Arroyo Napostá	0,15	0,15
Desembocadura Napostá	0,15	0,10
Mitad del Canal Principal Frente a la desembocadura del Napostá	0,10	0,10
Margen Opuesta del CP Frente de la desembocadura del Napostá	0,10	0,05
Margen CP 1 Km al Sudeste de la desembocadura del Napostá	0,15	0,15
Isla Gaviota Cangrejera B	0,10	0,05
WHSRN AR08 B	<0,05	0,05
Brazo 10 Km al Sudeste de la desembocadura del Napostá	<0,05	<0,05
CP 10 Km al Sudeste de la desembocadura del Napostá	<0,05	<0,05
Punta Alta	<0,05	<0,05
Margen CP 20 Km al Sudeste de la desembocadura del Napostá	<0,05	<0,05
CP 20 Km al Sudeste de la desembocadura del Napostá	<0,05	<0,05

