



PROYECTO: DRAGADO PUERTO DE COMODORO RIVADAVIA

Estudio de la Pluma de Dragado

Mayo, 2023

Rev. A

Lic. Natalia Suárez del Solar
Responsable Técnico
SERMAN & ASOCIADOS S.A.

INDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	4
2	CONDICIONES DE VIENTO EN LA ZONA DE COMODORO RIVADAVIA	5
2.1	INFORMACIÓN ANTECEDENTE	5
2.2	ESTADÍSTICA DE VIENTOS EN LA ZONA DE COMODORO RIVADAVIA.....	7
3	PROCEDIMIENTO DE DRAGADO Y ZONAS DE DESCARGA EVALUADAS	16
4	MODELO HIDRODINÁMICO DEL GOLFO SAN JORGE	29
5	MODELACIÓN DE LAS PLUMAS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN.....	41
5.1	TRAYECTORIAS Y CONCENTRACIONES DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN	41
5.2	ESTIMACIÓN DEL ESPESOR DEL DEPÓSITO DE SEDIMENTOS EN INMEDIACIONES DE LA ZONA DE DESCARGA.....	53
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	55

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Discontinuidades en el registro de datos de viento.	9
Tabla 2. Frecuencia (%) de la intensidad del viento (m/s) según rosa de 16 direcciones	12
Tabla 3. Frecuencia (%) acumulada de la intensidad del viento (m/s) según rosa de 16 direcciones_	13
Tabla 4. Frecuencia acumulada (días) de la intensidad del viento (m/s) según rosa de 16 direcciones	14
Tabla 5. Secuencias de intensidad del viento (m/s) según rosa de 16 direcciones para la modelización matemática	15
Tabla 6. Datos (posición de la embarcación; condiciones de viento, nivel y profundidad del mar y corriente calculada) de la campaña de medición del día 26 de abril 2023. Fuente: Puerto de Comodoro Rivadavia	34
Tabla 7. Datos resultantes de la modelación hidrodinámica para el escenario sin viento para el día 26 de abril 2023.	37
Tabla 8. Granulometría de las muestras de material del lecho	41
Tabla 9. Rangos típicos de tamaño de sedimentos y velocidades de caída asociadas	43

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Rosa de vientos para Comodoro Rivadavia período 1983-2012 – Fuente NCEP	6
Figura 2. Frecuencias de intensidad del viento para el período 1983- 2012 – Fuente NCEP	6
Figura 3. Frecuencias acumuladas para la intensidad del viento para el período 1983-2012 – Fuente NCEP	7
Figura 4. Distribución por direcciones de incidencia para el período 1983-2012 – Fuente NCEP	7
Figura 5. Ubicación de los puntos de pronóstico de vientos de la UKWM.	8
Figura 6. Comparación de la distribución por direcciones de incidencia para el período 1986-1996 (UKWM) y 1983-2012 (NECP)	9
Figura 7. Rosa de vientos para Comodoro Rivadavia período 2018-2023	10
Figura 8. Comparación de la distribución por direcciones de incidencia para el período 1986-1996 (UKWM), 1983-2012 (NECP) y 2018-2023 (registro del Puerto de Comodoro Rivadavia)	11
Figura 9. Frecuencias acumuladas para la intensidad del viento para el período 2018-2023.	11

Figura 10. Secuencias de intensidad del viento (m/s) según rosa de 16 direcciones para la modelización matemática.	15
Figura 11. Draga de succión por arrastre en marcha con Cántara (DSAH).	17
Figura 12. Cántara.	17
Figura 13. Cañería de succión.	18
Figura 14. Sistema de rebalse.	19
Figura 15. Draga Afonso de Albuquerque	22
Figura 16. Draga Beachway	23
Figura 17. Draga HANG JUN 4011	23
Figura 18. Draga Ortelius	24
Figura 19. Ciclo de Dragado	25
Figura 20. Ubicación de áreas de disposición evaluadas	26
Figura 21. Ubicación del área de disposición del dragado en Puerto Quequén	27
Figura 22. Malla del modelo hidrodinámico MIKE 21 HD	31
Figura 23. Detalle de la Malla del modelo hidrodinámico MIKE 21 HD. Zona de mayor discretización	31
Figura 24. Batimetría de la zona modelada con MIKE 21 HD	32
Figura 25. Comparación de Niveles de agua predichos por el Servicio de Hidrografía Naval en Puerto Comodoro Rivadavia y resultados de la modelación matemática	33
Figura 26. Condiciones de Viento e Intensidad Calculada de la Corriente, durante la navegación a la deriva del día 26-abril-2023.	35
Figura 27. A: zona de medición durante la campaña del 26-abril-23. B: Ubicación de los puntos de medición, y su correspondencia con los puntos de extracción de resultados de la modelación hidrodinámica (sin viento). C: En blanco trayectoria de la embarcación navegando a la deriva e intensidad de la corriente. En amarillo resultados del modelo (dirección e intensidad de la corriente).	36
Figura 28. Comparación de Intensidad de la Corriente modelada versus medida.	38
Figura 29. Campo de velocidades típico hacia el Norte modelado con MIKE 21 HD	39
Figura 30. Campo de velocidades típico hacia el Sur modelado con MIKE 21 HD	40
Figura 31. Ubicación de estaciones de muestreo	42
Figura 32: Influencia de las dimensiones de las partículas sobre la velocidad de caída de los flóculos en agua de mar	44
Figura 33: Escenario Sin viento, máximo avance de la pluma hacia el NE	46
Figura 34: Escenario Sin viento, máximo avance de la pluma hacia el SO	46
Figura 35: Escenario Sin viento, máximo avance de la pluma hacia la costa	47
Figura 36: Escenario E1, máximo avance de la pluma hacia el NE	47
Figura 37: Escenario E1, máximo avance de la pluma hacia el SO	48
Figura 38: Escenario E1, máximo avance de la pluma hacia la costa	48
Figura 39: Escenario E2, máximo avance de la pluma hacia el NE	49
Figura 40: Escenario E2, máximo avance de la pluma hacia el SO	49
Figura 41: Escenario E2, máximo avance de la pluma hacia la costa	50
Figura 42: Escenario E3, máximo avance de la pluma hacia el NE	50
Figura 43: Escenario E3, máximo avance de la pluma hacia el SO	51
Figura 44: Escenario E3, máximo avance de la pluma hacia la costa	51
Figura 45: Escenario E4, máximo avance de la pluma hacia el NE	52
Figura 46: Escenario E4, máximo avance de la pluma hacia el SO	52
Figura 47: Escenario E4, máximo avance de la pluma hacia la costa	53
Figura 48: Espesor sobre el fondo marino del depósito de los sedimentos descargados	54

1 INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente estudio de dragado del Puerto de Comodoro Rivadavia es identificar una forma de disposición en el mar del material dragado que no implique impactos significativos sobre el medio ambiente.

En el Capítulo 2 se presenta información sobre las condiciones de viento imperantes en la zona, las que luego son empleadas para la simulación de las trayectorias de las plumas de sedimentos en suspensión movilizadas por las corrientes de marea considerando diferentes secuencias de intensidades y direcciones de viento.

En el Capítulo 3 se describen los equipos y procedimientos de dragado previstos y las zonas de descarga de los sedimentos que han sido evaluadas.

En el Capítulo 4 se presenta el modelo hidrodinámico del Golfo San Jorge implementado, el cual fue verificado mediante mediciones de velocidad de la corriente efectuadas en inmediaciones de la zona de descarga.

En el Capítulo 5 se desarrolla la modelación de la evolución de las plumas de sedimentos en suspensión y la estimación del espesor del depósito que podría quedar sobre el lecho en inmediaciones de la zona de descarga.

En el Capítulo 6 se resumen las conclusiones alcanzadas y se efectúan las recomendaciones pertinentes.

2 CONDICIONES DE VIENTO EN LA ZONA DE COMODORO RIVADAVIA

2.1 INFORMACIÓN ANTECEDENTE

En el estudio “Sistemas Primarios Cloacales y Emisarios Submarinos de Descarga Zona Norte y Sur de la ciudad de Comodoro Rivadavia - Provincia de Chubut. Modelación Matemática para el Estudio de las Condiciones Hidrodinámicas en el Área de Vertimiento. RED Estudios y Proyectos Hidráulicos S.A. CFI, julio 2014”, Se presenta información de corrientes y vientos que es de interés para el presente estudio. Esta información se basa parcialmente en los siguientes estudios antecedentes generados por el INA:

- Estudio mediante modelación matemática de olas y corrientes en el área costera de Restinga del Medio. Informe Final. Informe LHA- 276-02-08, Octubre 2008.
- Puerto de Comodoro Rivadavia. Estudio Mediante Modelación Matemática de Nuevas Obras de Abrigo. Parte I – Clima de Olas INA. Informe LHA- 273-01-08. Junio, 2008.

La siguiente información de vientos se extrae del informe del CFI (2014):

“La información de vientos para este estudio fue obtenida de la base de datos de re-análisis del Centro Nacional para la Predicción Ambiental de los EE.UU. (NCEP). La base de datos de re-análisis consiste en una simulación numérica de condiciones atmosféricas globales, cuya resolución temporal es de 6 horas y abarca más de 50 años. Se extrajeron los campos de vientos U (este-oeste) y V (norte-sur), a una elevación de 10 m sobre el nivel del mar. La grilla de datos cubre toda la región del Atlántico Sur con una resolución espacial que es de aproximadamente 1,9° en Latitud y en Longitud.

Para este estudio se utilizaron los vientos correspondientes a un nodo próximo a la ciudad de Comodoro Rivadavia, con coordenadas 46° 39' 57" Latitud Sur y 65° 37' 30" Longitud Oeste. Los datos analizados correspondieron a una serie cronológica de 30 años que abarca el período 1983-2012

La síntesis del resultado del análisis sobre la información de vientos utilizada se presenta en los gráficos de la Figura 1 a la Figura 4, donde se muestran, respectivamente, la rosa de vientos, frecuencias de intensidad, frecuencia acumulada de intensidades y distribución por direcciones.

Los resultados del análisis muestran un claro predominio de los vientos provenientes del sector Oeste, con un porcentaje de incidencia desde esta dirección del orden del 17 % del tiempo. Acumulando los porcentajes comprendidos entre las direcciones SW y NW la suma alcanza el 70%.

En cuanto a las intensidades, los valores más frecuentes se encuentran entre los 5 y 7.5 m/s, existiendo velocidades de viento por encima de los 10 m/s en un 20 % del tiempo (según Figura 10). Cabe recordar que, dado el origen de la información (NCEP), estos valores corresponden a intensidades promediadas en intervalos de 6 horas, con lo cual se supone que en períodos de tiempo más cortos pueden esperarse intensidades más elevadas.”

Con respecto al último comentario, debe considerarse que la modelación matemática de corrientes es más sensible a vientos de duración prolongada que a condiciones que ocurren durante períodos de tiempo cortos.

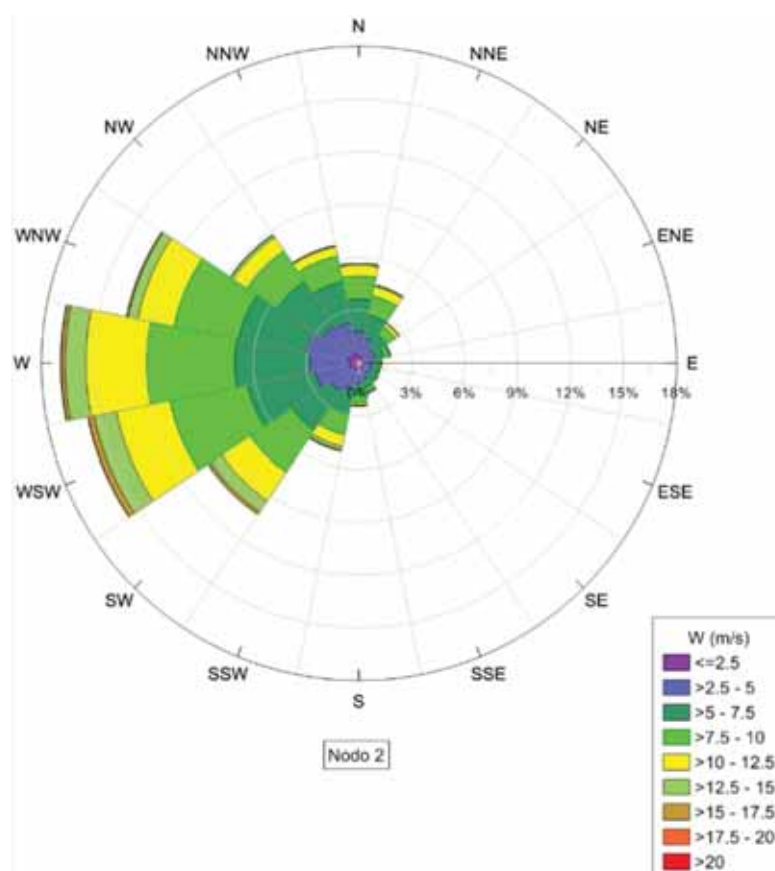


Figura 1. Rosa de vientos para Comodoro Rivadavia período 1983-2012 – Fuente NCEP

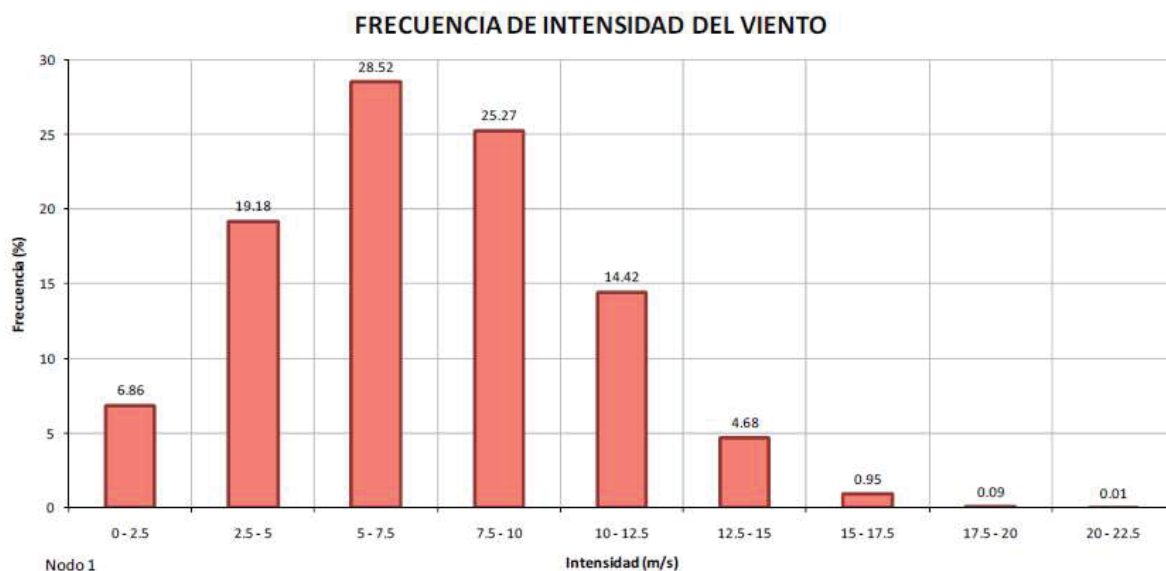


Figura 2. Frecuencias de intensidad del viento para el período 1983- 2012 – Fuente NCEP

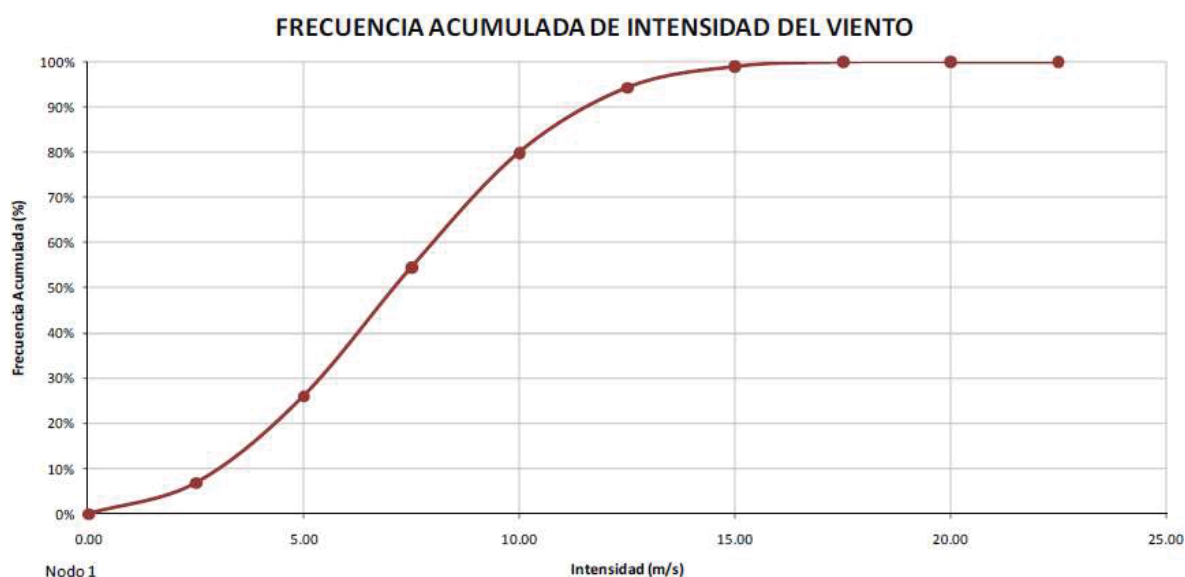


Figura 3. Frecuencias acumuladas para la intensidad del viento para el período 1983-2012 – Fuente NCEP

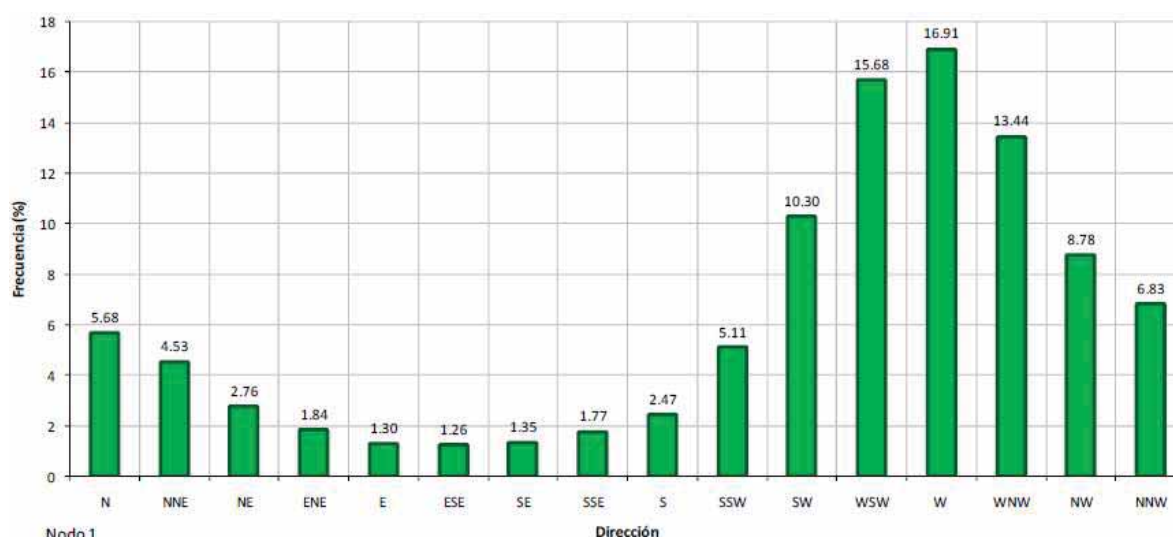


Figura 4. Distribución por direcciones de incidencia para el período 1983-2012 – Fuente NCEP

2.2 ESTADÍSTICA DE VIENTOS EN LA ZONA DE COMODORO RIVADAVIA

La información antecedente de vientos previamente citada es solamente gráfica e ilustrativa y no incluye tablas con información numérica sobre los porcentajes de superación de diferentes intensidades de viento por dirección.

Por consiguiente, en primer lugar, se realizó un análisis estadístico de datos de viento para una década de información (suficiente a los efectos del presente estudio), basado en el Modelo U.K. Global Wave Model -UKWM-, de la U.K. Met. Office, para el período 15/10/86 – 31/08/96.

La serie de datos fue construida a partir de la información generada por el UK Met. Office Global Wave Model en los siguientes puntos de grilla (Figura 5), validada y corregida en cuanto al oleaje

en base a los datos altimétricos de los satélites GEOSAT (Noviembre 1986-Septiembre 1989) y Topex/Poseidon (1992-1996) por OCEANOR (*"Directional Wave Statistics Offshore Rawson, Argentina"*, Oceanographic Company of Norway). 2001):

Coordenadas	Período
44,25° S, 64,69° W	15/10/86 al 12/06/91
43,69° S, 64,38° W	13/06/91 al 31/08/96



Figura 5. Ubicación de los puntos de pronóstico de vientos de la UKWM.

En la Figura 6 se presentan en forma comparativa las estadísticas de vientos totales por dirección, para NCEP (extractado de la figura presentada en el estudio antecedente) y para UKWM. Se puede apreciar que las mismas son similares, con una preponderancia mayor de vientos del Oeste para NCEP.

Adicionalmente se obtuvo información de vientos registrados desde el año 2018 por parte del Puerto de Comodoro Rivadavia en una estación meteorológica ubicada en la Oficina de Operaciones, próxima al Muelle Pesquero. De acuerdo con lo comunicado por las autoridades portuarias su percepción es que los vientos reinantes provienen del NE y N afectando especialmente a la dársena pesquera, por lo cual, como esto no se refleja de la misma manera en los datos previamente presentados, se decidió realizar una estadística de los datos del registro, si bien es relativamente corto y presenta períodos sin observaciones, a efectos de considerar las condiciones más conservativas en el análisis.

La serie consiste en datos de viento registrados cada 15 minutos en el período enero/2018 – abril/2023. Los valores corresponden a intensidades promediadas en intervalos de 15 minutos y presenta discontinuidades que en total suman aproximadamente 306 días, distribuidas de acuerdo con lo indicado en la Tabla 1.

La síntesis del resultado del análisis sobre la información de vientos utilizada se presenta en la Tabla 2 (frecuencias) y en la Tabla 3 (frecuencias acumuladas). En la Figura 7 se presenta la rosa de vientos correspondiente.

En la Figura 8 se presenta una comparación entre las diferentes fuentes de la distribución direccional de las frecuencias de vientos, mientras que en la Figura 9 se muestra una comparación de la frecuencia acumulada de intensidades entre NCEP y el registro del Puerto.

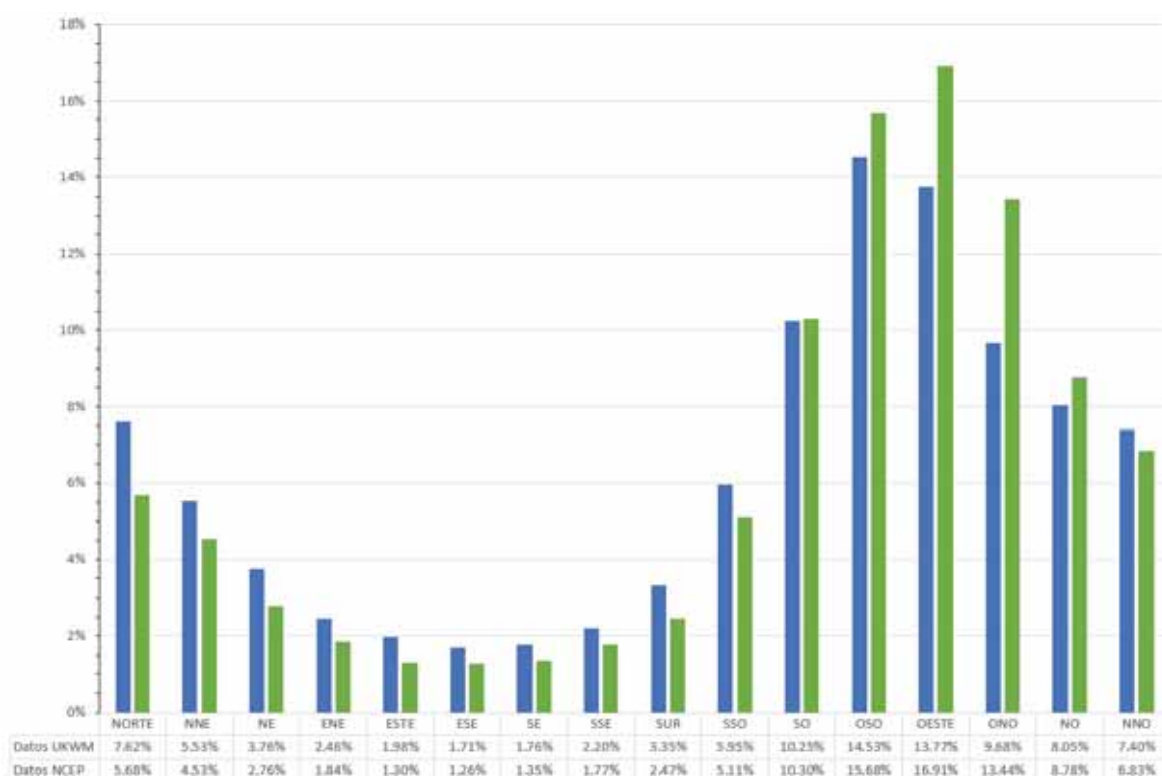


Figura 6. Comparación de la distribución por direcciones de incidencia para el período 1986-1996 (UKWM) y 1983-2012 (NECP)

Tabla 1. Discontinuidades en el registro de datos de viento.

Período de Medición: enero-2018 hasta abril-2023		
Sin datos en el período		Días Sin Datos
Desde	Hasta	
17/12/18 02:00:00	27/12/18 22:45:00	11
27/03/20 17:00:00	19/04/20 05:30:00	23
08/06/20 14:00:00	23/07/20 20:45:00	45
28/09/20 18:30:00	07/12/20 06:30:00	70
09/02/21 14:00:00	16/07/21 18:15:00	157
		306

Los resultados del análisis muestran un claro predominio de los vientos provenientes del sector Oeste, con un porcentaje de incidencia desde esta dirección del orden del 14 % del tiempo. Acumulando los porcentajes comprendidos entre las direcciones SW y NW la suma alcanza el 49%.

En cuanto a las intensidades, los valores más frecuentes se encuentran entre los 4 y 6 m/s, (~22%) seguidos por el rango 6-8 m/s y 8-10 m/s (con porcentajes de 18% y 16% respectivamente). El 85% de los valores registrados tienen velocidades medias de 10 m/s o menores, existiendo velocidades de viento por encima de los 10 m/s en un 15 %.

Se visualizan diferencias significativas en las velocidades y frecuencias de los vientos correspondientes a las direcciones NE, ENE y Este, que son superiores para el registro portuario.

En cuanto a la distribución global de velocidades del viento, las distribuciones de NCEP y del registro portuario resultan muy similares.

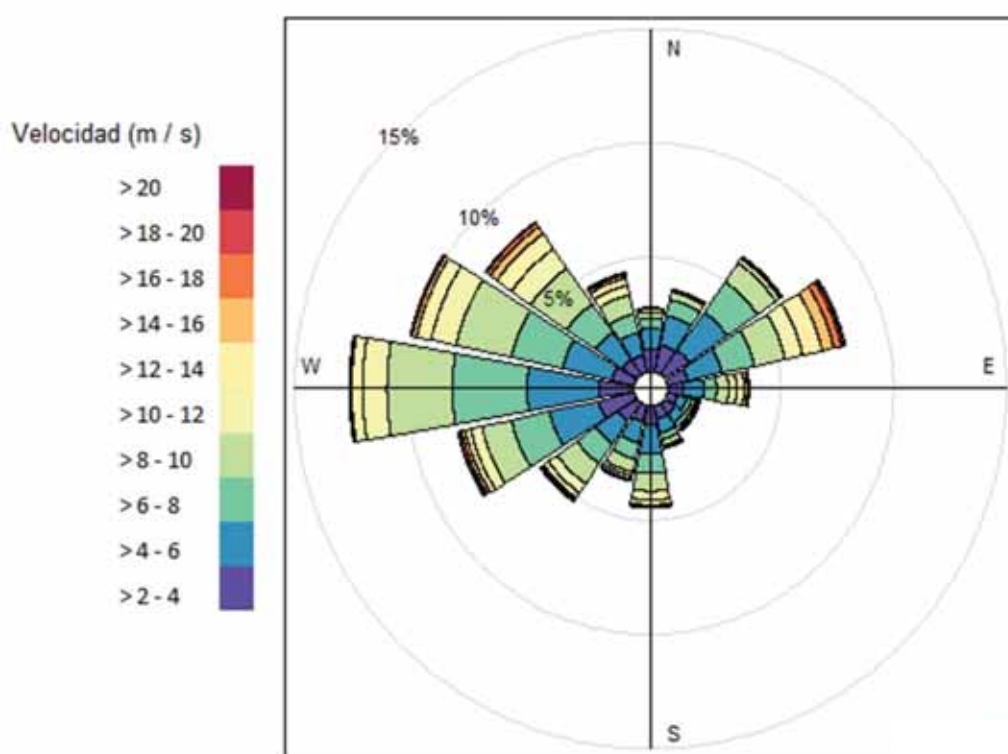


Figura 7. Rosa de vientos para Comodoro Rivadavia período 2018-2023

Teniendo en consideración estos resultados, a los fines de realizar una modelización de la evolución de las plumas de sedimentos en suspensión durante un periodo de 15 días (que incluye condiciones de mareas altas de sicigias y bajas de cuadraturas), se definieron 4 Secuencias de condiciones de intensidad y dirección del viento, cada una con uno o dos días de duración (suficientes para afectar a las corrientes de marea), y con sentidos de rotación horario y antihorario de la dirección. Para ello se seleccionaron intensidades que tengan una frecuencia anual del orden de 4 días en la Tabla 4, estimando a partir del análisis del registro que la máxima permanencia podría ser de 2 días, y en los casos de direcciones con baja frecuencia de ocurrencia, se consideró un solo día. Las secuencias definidas se presentan en la Tabla 5 y en la Figura 10.

El número indicado en cada secuencia representa el orden en el que se imponen las condiciones de viento durante la simulación, cada una de las cuales con la duración especificada en la tabla.

De esta manera se barre una amplia variedad de condiciones de dirección del viento con intensidades entre 5 m/s (18 km/h) desde direcciones con vientos más leves hasta llegar a un máximo de 14 m/s (50 km/h), condiciones bajo las cuales prácticamente no se podría dragar.

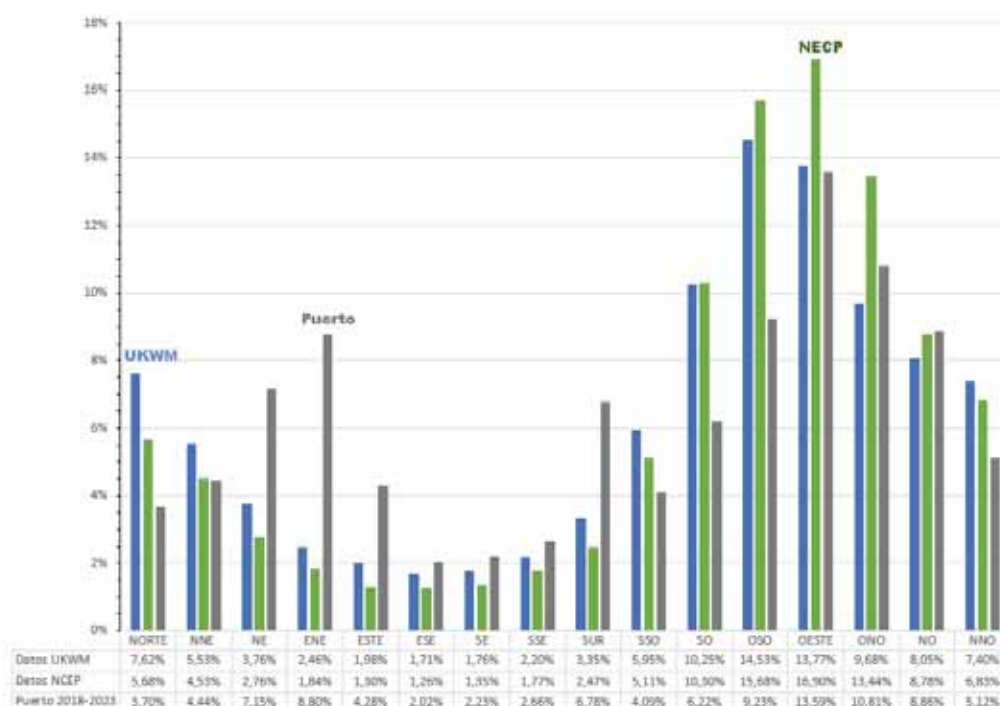


Figura 8. Comparación de la distribución por direcciones de incidencia para el período 1986-1996 (UKWM), 1983-2012 (NECP) y 2018-2023 (registro del Puerto de Comodoro Rivadavia)

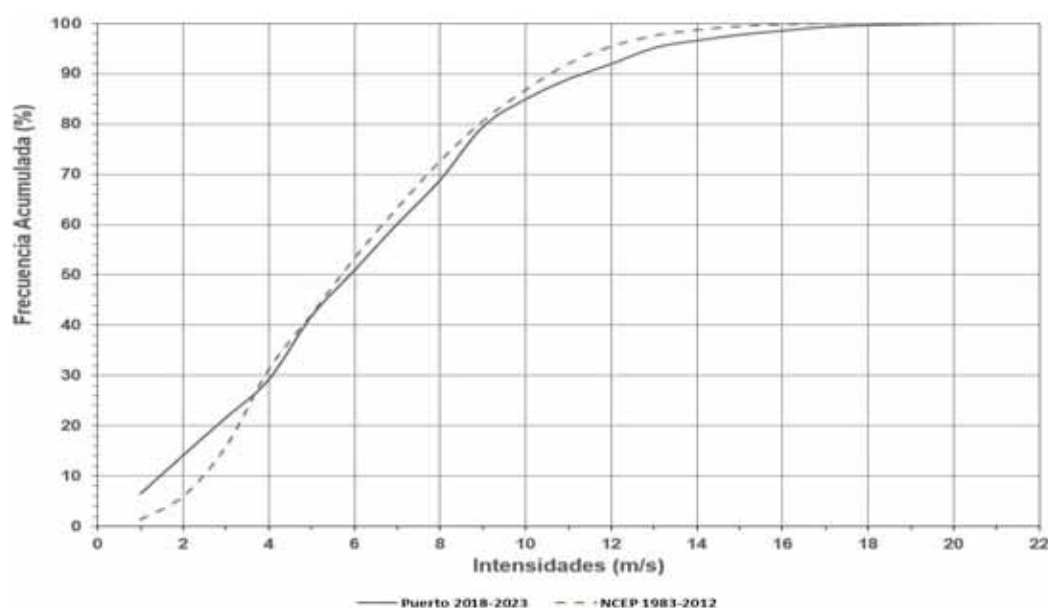


Figura 9. Frecuencias acumuladas para la intensidad del viento para el período 2018-2023.

Tabla 2. Frecuencia (%) de la intensidad del viento (m/s) según rosa de 16 direcciones

Velocidad	NORTE	NNE	NE	ENE	ESTE	ESE	SE	SSE	SUR	SSO	SO	OSO	OESTE	ONO	NO	NNO	Total
0 - 1	0,390	0,296	0,312	0,310	0,295	0,221	0,318	0,314	1,673	0,264	0,372	0,427	0,425	0,266	0,307	0,269	6,46
> 1 - 2	0,499	0,439	0,518	0,434	0,383	0,313	0,403	0,422	0,653	0,437	0,613	0,801	0,566	0,411	0,392	0,388	7,67
> 2 - 3	0,506	0,599	0,622	0,446	0,340	0,236	0,310	0,325	0,444	0,358	0,558	0,838	0,721	0,448	0,371	0,364	7,49
> 3 - 4	0,493	0,611	0,685	0,487	0,381	0,223	0,238	0,266	0,405	0,350	0,437	0,780	0,824	0,564	0,412	0,394	7,55
> 4 - 5	0,573	0,846	1,168	0,886	0,543	0,303	0,317	0,386	0,741	0,577	0,687	1,289	1,685	1,242	0,773	0,589	12,60
> 5 - 6	0,318	0,470	0,875	0,654	0,318	0,126	0,173	0,232	0,492	0,396	0,506	0,942	1,492	1,001	0,684	0,422	9,10
> 6 - 7	0,249	0,428	0,845	0,770	0,297	0,120	0,126	0,163	0,450	0,368	0,514	0,924	1,653	1,148	0,747	0,419	9,22
> 7 - 8	0,185	0,288	0,780	0,698	0,284	0,108	0,098	0,138	0,426	0,344	0,529	0,788	1,654	1,173	0,788	0,427	8,71
> 8 - 9	0,206	0,274	0,751	0,903	0,310	0,103	0,092	0,174	0,495	0,366	0,728	0,879	1,946	1,638	1,201	0,545	10,61
> 9 - 10	0,090	0,082	0,253	0,493	0,206	0,053	0,048	0,105	0,273	0,212	0,341	0,456	0,951	0,862	0,735	0,304	5,46
> 10 - 11	0,068	0,050	0,148	0,421	0,172	0,043	0,039	0,053	0,226	0,111	0,276	0,298	0,651	0,648	0,571	0,241	4,02
> 11 - 12	0,047	0,027	0,081	0,378	0,175	0,040	0,029	0,033	0,149	0,068	0,201	0,208	0,428	0,484	0,461	0,193	3,00
> 12 - 13	0,046	0,023	0,060	0,552	0,217	0,047	0,018	0,033	0,153	0,090	0,184	0,175	0,382	0,473	0,531	0,215	3,20
> 13 - 14	0,013	0,005	0,015	0,327	0,118	0,020	0,003	0,011	0,073	0,055	0,084	0,081	0,096	0,176	0,271	0,102	1,45
> 14 - 15	0,010	0,003	0,017	0,286	0,098	0,019	0,005	0,003	0,044	0,032	0,064	0,094	0,054	0,115	0,219	0,074	1,14
> 15 - 16	0,003	0,001	0,012	0,238	0,056	0,008	0,003	0,002	0,031	0,025	0,039	0,071	0,034	0,081	0,143	0,066	0,81
> 16 - 17	0,002		0,005	0,223	0,052	0,014	0,003	0,001	0,033	0,021	0,038	0,074	0,023	0,058	0,145	0,063	0,76
> 17 - 18	0,001		0,001	0,118	0,017	0,012			0,012	0,007	0,028	0,033	0,004	0,014	0,063	0,025	0,33
> 18 - 19			0,002	0,071	0,010	0,003	0,002		0,009	0,003	0,010	0,023	0,003	0,008	0,029	0,010	0,18
> 19 - 20			0,001	0,055	0,004	0,004			0,001	0,003	0,008	0,019	0,002	0,005	0,010	0,008	0,12
> 20			0,002	0,055	0,008				0,003	0,003	0,005	0,026		0,002	0,011	0,005	0,12
Total	3,70	4,44	7,15	8,80	4,28	2,02	2,23	2,66	6,78	4,09	6,22	9,23	13,59	10,81	8,86	5,12	100

Tabla 3. Frecuencia (%) acumulada de la intensidad del viento (m/s) según rosa de 16 direcciones

Velocidad	NORTE	NNE	NE	ENE	ESTE	ESE	SE	SSE	SUR	SSO	SO	OSO	OESTE	ONO	NO	NNO	TOTAL
> 0	3,699	4,442	7,151	8,804	4,282	2,017	2,226	2,663	6,784	4,091	6,221	9,227	13,594	10,814	8,861	5,123	100,000
> 1	3,308	4,146	6,840	8,494	3,987	1,796	1,908	2,348	5,112	3,827	5,849	8,800	13,169	10,548	8,554	4,854	93,540
> 2	2,810	3,707	6,322	8,060	3,604	1,483	1,505	1,926	4,459	3,390	5,236	7,998	12,603	10,137	8,162	4,466	85,870
> 3	2,303	3,108	5,700	7,614	3,264	1,247	1,195	1,601	4,015	3,032	4,678	7,160	11,882	9,690	7,791	4,102	78,380
> 4	1,810	2,497	5,015	7,127	2,883	1,024	0,957	1,334	3,610	2,683	4,241	6,380	11,058	9,126	7,379	3,707	70,830
> 5	1,237	1,651	3,847	6,241	2,340	0,721	0,640	0,948	2,868	2,106	3,554	5,091	9,373	7,884	6,606	3,118	58,230
> 6	0,920	1,181	2,972	5,587	2,022	0,595	0,467	0,716	2,376	1,710	3,048	4,149	7,882	6,883	5,922	2,696	49,130
> 7	0,670	0,752	2,128	4,817	1,725	0,475	0,341	0,553	1,927	1,341	2,534	3,224	6,229	5,735	5,175	2,277	39,910
> 8	0,485	0,465	1,348	4,119	1,441	0,367	0,243	0,415	1,501	0,998	2,005	2,437	4,575	4,562	4,387	1,850	31,200
> 9	0,279	0,191	0,597	3,216	1,131	0,264	0,151	0,241	1,006	0,631	1,278	1,558	2,629	2,924	3,187	1,306	20,590
> 10	0,189	0,109	0,344	2,724	0,925	0,210	0,103	0,136	0,733	0,419	0,937	1,101	1,677	2,063	2,452	1,002	15,130
> 11	0,121	0,059	0,196	2,303	0,753	0,167	0,064	0,083	0,507	0,307	0,661	0,804	1,026	1,415	1,882	0,761	11,110
> 12	0,074	0,031	0,115	1,925	0,578	0,127	0,036	0,049	0,358	0,239	0,460	0,596	0,599	0,931	1,421	0,568	8,110
> 13	0,028	0,009	0,055	1,373	0,361	0,080	0,017	0,016	0,205	0,150	0,276	0,421	0,217	0,458	0,890	0,353	4,910
> 14	0,015	0,004	0,040	1,045	0,244	0,060	0,014	0,005	0,132	0,095	0,192	0,340	0,120	0,282	0,620	0,251	3,460
> 15	0,005	0,001	0,023	0,760	0,146	0,041	0,008	0,003	0,088	0,063	0,128	0,246	0,066	0,167	0,401	0,177	2,320
> 16	0,003		0,011	0,521	0,090	0,033	0,005	0,001	0,057	0,038	0,090	0,175	0,032	0,086	0,258	0,111	1,510
> 17	0,001		0,006	0,299	0,038	0,018	0,002		0,024	0,017	0,051	0,100	0,009	0,028	0,113	0,048	0,750
> 18			0,005	0,181	0,021	0,007	0,002		0,012	0,010	0,023	0,068	0,005	0,014	0,051	0,023	0,420
> 19			0,003	0,110	0,012	0,004			0,003	0,007	0,013	0,045	0,002	0,007	0,021	0,013	0,240
> 20			0,002	0,055	0,008				0,003	0,003	0,005	0,026		0,002	0,011	0,005	0,120

Tabla 4. Frecuencia acumulada (días) de la intensidad del viento (m/s) según rosa de 16 direcciones

Velocidad	NORTE	NNE	NE	ENE	ESTE	ESE	SE	SSE	SUR	SSO	SO	OSO	OESTE	ONO	NO	NNO	TOTAL
> 0	13,5	16,2	26,1	32,1	15,6	7,4	8,1	9,7	24,8	14,9	22,7	33,7	49,6	39,5	32,3	18,7	365,0
> 1	12,1	15,1	25,0	31,0	14,6	6,6	7,0	8,6	18,7	14,0	21,3	32,1	48,1	38,5	31,2	17,7	341,4
> 2	10,3	13,5	23,1	29,4	13,2	5,4	5,5	7,0	16,3	12,4	19,1	29,2	46,0	37,0	29,8	16,3	313,4
> 3	8,4	11,3	20,8	27,8	11,9	4,6	4,4	5,8	14,7	11,1	17,1	26,1	43,4	35,4	28,4	15,0	286,1
> 4	6,6	9,1	18,3	26,0	10,5	3,7	3,5	4,9	13,2	9,8	15,5	23,3	40,4	33,3	26,9	13,5	258,5
> 5	4,5	6,0	14,0	22,8	8,5	2,6	2,3	3,5	10,5	7,7	13,0	18,6	34,2	28,8	24,1	11,4	212,5
> 6	3,4	4,3	10,8	20,4	7,4	2,2	1,7	2,6	8,7	6,2	11,1	15,1	28,8	25,1	21,6	9,8	179,3
> 7	2,4	2,7	7,8	17,6	6,3	1,7	1,2	2,0	7,0	4,9	9,3	11,8	22,7	20,9	18,9	8,3	145,7
> 8	1,8	1,7	4,9	15,0	5,3	1,3	0,9	1,5	5,5	3,6	7,3	8,9	16,7	16,7	16,0	6,8	113,9
> 9	1,0	0,7	2,2	11,7	4,1	1,0	0,6	0,9	3,7	2,3	4,7	5,7	9,6	10,7	11,6	4,8	75,2
> 10	0,7	0,4	1,3	9,9	3,4	0,8	0,4	0,5	2,7	1,5	3,4	4,0	6,1	7,5	9,0	3,7	55,2
> 11	0,4	0,2	0,7	8,4	2,7	0,6	0,2	0,3	1,9	1,1	2,4	2,9	3,7	5,2	6,9	2,8	40,6
> 12	0,3	0,1	0,4	7,0	2,1	0,5	0,1	0,2	1,3	0,9	1,7	2,2	2,2	3,4	5,2	2,1	29,6
> 13	0,1	0,0	0,2	5,0	1,3	0,3	0,1	0,1	0,7	0,5	1,0	1,5	0,8	1,7	3,2	1,3	17,9
> 14	0,1	0,0	0,1	3,8	0,9	0,2	0,05	0,02	0,5	0,3	0,7	1,2	0,4	1,0	2,3	0,9	12,6
> 15	0,02	0,0	0,1	2,8	0,5	0,1	0,03	0,01	0,3	0,2	0,5	0,9	0,2	0,6	1,5	0,6	8,5
> 16	0,01		0,04	1,9	0,3	0,1	0,02	0,00	0,2	0,1	0,3	0,6	0,1	0,3	0,9	0,4	5,5
> 17	0,00		0,02	1,1	0,1	0,1	0,01		0,1	0,1	0,2	0,4	0,03	0,1	0,4	0,2	2,7
> 18			0,02	0,7	0,1	0,02	0,01		0,04	0,04	0,1	0,2	0,02	0,1	0,2	0,1	1,5
> 19			0,01	0,4	0,04	0,01			0,01	0,02	0,05	0,2	0,01	0,02	0,1	0,05	0,9
> 20			0,01	0,20	0,03				0,01	0,01	0,02	0,09		0,01	0,04	0,02	0,44

Tabla 5. Secuencias de intensidad del viento (m/s) según rosa de 16 direcciones para la modelización matemática

Velocidad	NORTE	NNE	NE	ENE	ESTE	ESE	SE	SSE	SUR	SSO	SO	OSO	OESTE	ONO	NO	NNO
Días duración	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
Intensidad	7	6	9	14	9	5	5	6	10	10	10	10	11	12	13	10
Secuencia 1 (E1)	1		2		3		4		5		6	7	8		9	
Secuencia 2 (E2)	4		3		2		1		9		8	7	6		5	
Secuencia 3 (E3)	1	2	3	4		5				6		7		8		9
Secuencia 4 (E4)	4	3	2	1				9		8		7		6		5

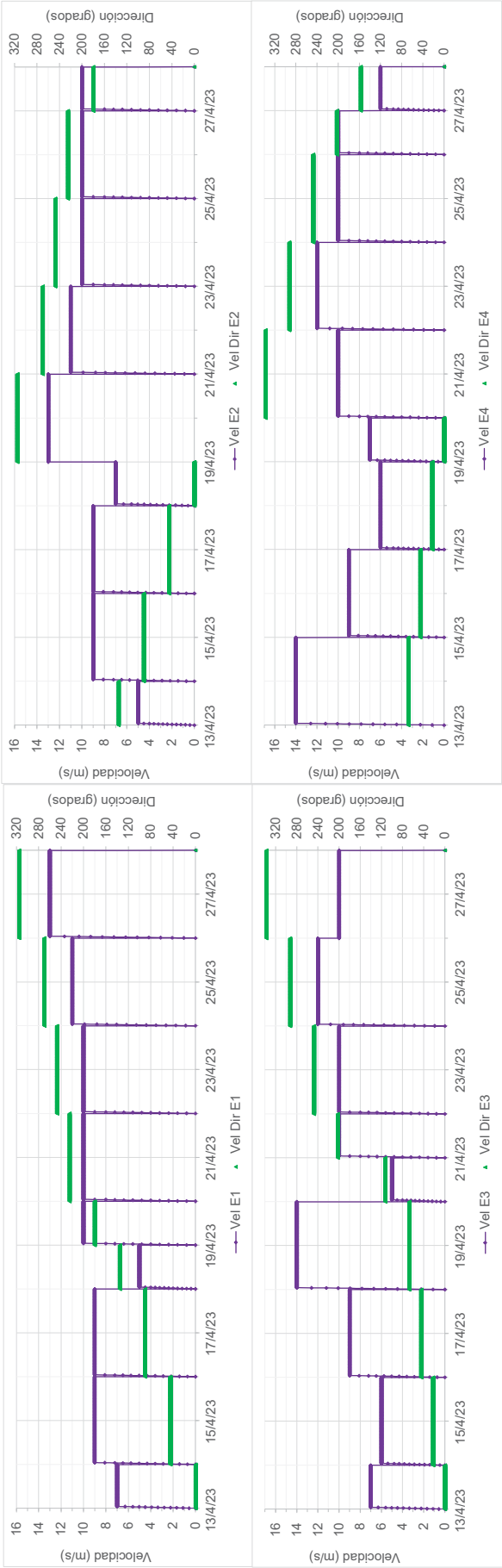


Figura 10. Secuencias de intensidad del viento (m/s) según rosa de 16 direcciones para la modelización matemática.

3 PROCEDIMIENTO DE DRAGADO Y ZONAS DE DESCARGA EVALUADAS

A la fecha de elaboración del presente estudio no está definida la draga a ser empleada, dado que ello surgirá de la licitación correspondiente.

Los equipos que pueden ser empleados para el presente proyecto son dragas de succión por arrastre con cántara (Trailer Suction Hopper Dredge – TSHD), las cuales son embarcaciones aptas para la navegación costera en aguas abiertas y profundas o en ríos, que tienen la posibilidad de cargar un espacio o cántara contenido en su estructura, por medio de bombas centrífugas, mientras que el equipo se mueve (ver Figura 11). Estas dragas tienen equipos de propulsión y timón que les brindan una gran maniobrabilidad.

Las profundidades mínimas del área a dragar son actualmente del orden de 5 m al cero local.

Las bajamares mínimas de Sicigias presentan niveles superiores al cero, el nivel medio del mar es igual a 3,14 m, y las pleamares superan los 5 m, por lo que pueden operar en el interior del puerto dragas de porte significativo, con capacidades de cántara del orden entre 3.500 m³ y 6.000 m³ y calados en carga entre unos 5,5 y 7,5 metros. Ello es conveniente también para que puedan operar con eficiencia en el exterior del puerto, dadas las severas condiciones de oleaje en la zona.

Las ventajas principales que presentan las dragas TSHD son las siguientes:

- Poca dependencia de las condiciones climáticas y de oleaje.
- Operación independiente.
- Mínimos efectos e interferencias sobre otras embarcaciones.
- Posibilidad de transportar el material a una zona alejada del área de dragado.
- Producción relativamente alta.
- Movilización simple y poco costosa.

Las mayores desventajas son:

- Imposibilidad de dragar materiales fuertemente cohesivos.
- Operación con algún grado de limitación en áreas muy restringidas, o con obstáculos cercanos (muelles, pilotes, cañerías, etc.)
- Sensibilidad a la cantidad de residuos que se encuentran en el lecho.
- Dilución del material dragado durante el proceso de carga.

Estas dragas succionan el material del fondo, y normalmente lo almacenan en su propio depósito (cántara), y cuando éste se llena, navega hasta el lugar de volcado a una velocidad que suele ser del orden de 9 a 10 nudos (16 a 18 km/h aproximadamente). Este sistema la hace menos efectiva en la optimización del tiempo de dragado disponible.

La ventaja que presentan consiste en que no necesitan estar anclados para dragar, lo hace mientras navega, permitiendo la navegación de otros buques, con lo cual no se obstruye el tráfico. Su velocidad de navegación es de 3 a 5 km/h durante las operaciones de dragado.

En la Figura 11 se presentan croquis de este tipo de dragas.

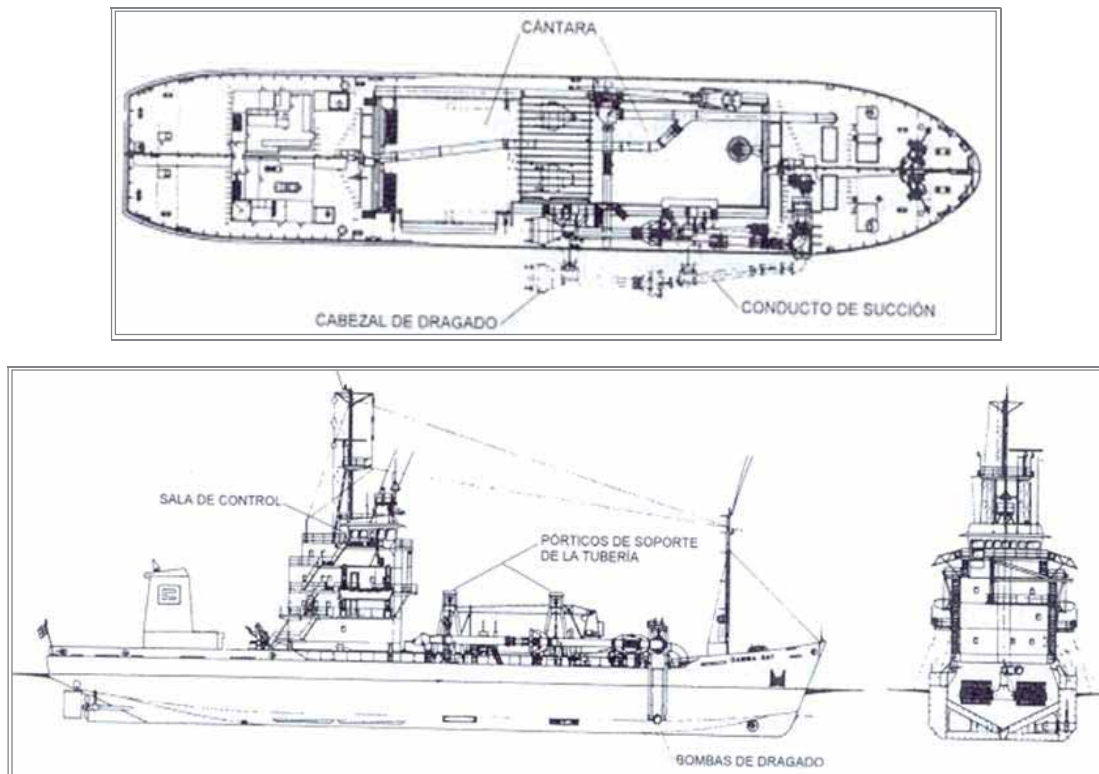


Figura 11. Draga de succión por arrastre en marcha con Cántara (DSAH).

Su sistema de propulsión le permite la operación en condiciones de aguas abiertas, con fuertes corrientes y oleaje, lo cual es muy dificultoso (y riesgoso) para otros tipos de dragas. Sus capacidades de cántara pueden alcanzar fácilmente los 6000 m³, variando normalmente entre 500 y 2000 m³ en las dragas más chicas. Las mayores dragas superan los 10.000 m³. El tamaño y calado de la draga está determinado principalmente por su capacidad de cántara.



Figura 12. Cántara.

El material es cargado mediante el empleo de una o dos bombas centrífugas de gran capacidad, que habitualmente se encuentran a bordo, aunque en ocasiones se incluyen dentro de la cañería de succión. Dicha cañería se eleva y coloca sobre la cubierta de la embarcación cuando la draga está viajando desde o hasta la zona de descarga.

La profundidad máxima en la cual se puede dragar está limitada por la succión generada por las bombas. En la cántara se deposita gran parte del sedimento dragado mientras que, en caso de ser permitido, el agua sobrenadante es descargada por una compuerta lateral de desborde (operación denominada también “overflow” o rebalse). El ajuste del nivel de desborde y del tiempo de carga brinda cierto control sobre las características del material decantado, pudiéndose incrementar su cantidad prolongando el tiempo de carga hasta cierto punto, si los sedimentos no son demasiado finos. Los materiales muy finos necesitan un lapso de decantación muy elevado y por lo tanto no se logra un incremento en la eficiencia de dragado cuando se continúa elevando los mismos y permitiendo el desborde por un período prolongado. Por esa razón, para estos materiales el punto económico de dragado se suele hallar en el momento en que comienza el desborde.



Figura 13. Cañería de succión.



Figura 14. Sistema de rebalse.

En áreas portuarias y cuando se dragan sedimentos presuntamente contaminados, es usual que no se permita realizar desborde. La efectividad de la deposición de los materiales en la cántara depende de su geometría, y existen en la actualidad sistemas automatizados de manejo de la mezcla de dragado en función de la densidad del material en la cántara, a fin de minimizar la turbulencia en la misma.

La profundidad mínima de operación de estos equipos para dragas de muy pequeño porte es del orden de los 10 pies (3 metros), e incluso en estas condiciones puede ser imposible cargar adecuadamente la cántara y hay que trabajar con desborde o vertido lateral.

El extremo de la tubería de succión posee un cabezal que facilita la remoción de los materiales y la captura de estos por su boca. La posición del cabezal sobre el fondo posee un sistema de ajuste y compensación para mantener una altura y presión aproximadamente constante, independiente de los movimientos de la draga (en especial de los causados por el oleaje).

El volcado se realiza en áreas abiertas (alejadas del canal dragado), normalmente abriendo compuertas ubicadas en el fondo de la cántara (en algunos equipos la draga se “abre” en dos partes por la línea central o de crujía dejando caer el contenido de la cántara y en otros las compuertas son laterales).

En algunos casos la descarga se puede hacer por bombeo a zonas de disposición que no dispongan de calado suficiente, o para efectuar rellenos en tierra firme, aunque esta acción no siempre es factible en zonas abiertas e incrementa notablemente los costos.

Para determinar su capacidad de producción se tiene en cuenta la capacidad de la cántara, y su ciclo de trabajo, definido por el tiempo de llenado, el tiempo de viaje a la zona de descarga, el tiempo de descarga, y el tiempo de retorno al sector dragado. El tiempo total para el llenado puede depender de la necesidad de realizar varias pasadas sobre el lecho a dragar, lo que implica la necesidad de disponer de un área de giro (y considerar el tiempo perdido en esta maniobra). El tiempo de descarga suele ser corto (unos 5 a 10 minutos).

Para obtener la producción efectiva se aplican mermas de tiempo operativo para tener en cuenta los tiempos de maniobra para acometer una nueva franja de trabajo y los tiempos improductivos debido a traslados de equipo, períodos de mantenimiento preventivo, mantenimiento operativo, y por malas condiciones meteorológicas (neblinas, vientos fuertes, tormentas, oleaje excesivo, etc.). Cabe notar que en el caso de las dragas de succión en marcha las interferencias con el tráfico fluvial son mínimas y que la logística para el desplazamiento de las dragas de succión en marcha se reduce notablemente, respecto a otras opciones.

Los factores limitantes de la producción y características de una draga de este tipo son los siguientes (los límites mínimo y máximo se refieren a los menores y mayores equipos utilizados habitualmente):

- Profundidad mínima para operar: 3,5 a 4,0 metros.
- Profundidad máxima para operar: 45 metros (algunas pocas hasta 80/100 m).
- Máxima velocidad de navegación: 17 nudos.
- Velocidad típica de navegación cargada: 10 nudos.
- Velocidad típica navegación descargada: 11 nudos.
- Mínimo diámetro de giro: 75 metros.
- Máxima altura de ola: 5 metros.
- Máxima corriente cruzada: 3 nudos.
- Máximo tamaño de partícula: 30 cm.

No se presentan en general restricciones específicas con respecto a la velocidad del viento, debiendo cumplirse las limitaciones que la Prefectura Naval Argentina en cada puerto.

Operando en forma independiente esta draga no requiere una gran cantidad de equipamiento auxiliar. Las mayores variantes se refieren al cabezal de dragado que se debe adaptar al tipo de sedimento, y los mecanismos de descarga cuando se emplea bombeo o vertido lateral a distancia a través de tuberías especiales.

También se usan en algunos casos niveladores del lecho (rastras), que son arrastrados sobre el mismo para suavizar las irregularidades y/o colaborar con el dragado en áreas de muy baja profundidad o cercana a muelles, arrastrando lentamente el material hasta zonas más profundas.

Una metodología alternativa a la utilización de la rastra consiste en aflojar el material mediante inyección de agua (a través del propio cabezal), para acercar el mismo por deslizamiento hasta una zona donde pueda ser dragado.

Teniendo en cuenta las profundidades disponibles en las zonas a dragar del recinto portuario, las dragas que más probablemente pueden operar en el presente caso podrían tener una capacidad de almacenamiento en cántara en el rango de 3.000 a 4.000 m³. La draga típica que puede ser empleada se conceptualiza considerando unos 3.500 m³ de capacidad de cántara, con una eslora (longitud) y manga (ancho) del orden de 100 m y 15 metros, respectivamente, si bien es posible que se emplee la draga de mayor tamaño. La cantidad de sedimento contenida en la draga, en los casos como el presente en que no estará permitida la operación de rebalse y para sedimentos finos, se encuentra normalmente entre un 20% y un 50% como máximo del volumen de la cántara.

La draga de succión por arrastre operará siguiendo ciclos de carga (llenado de la cántara), navegación con carga (compuertas estancas) a la zona de descarga (denominada en ocasiones zona de vaciado), vaciado de la draga (apertura de compuertas) y navegación en lastre (sin carga) a zona de dragado, con tiempos parciales variables en función del tipo de suelo y del sector de dragado y zona de descarga que se utilice.

No estará permitida la realización de rebalses de cántara durante el dragado. Tampoco estará permitida la realización de descargas parciales de la cántara sea por apertura de compuertas o por pérdidas de material durante la navegación hasta llegar a la zona de vaciado permitida.

Se presentan a continuación algunos ejemplos de dragas que han operado en el país, a los efectos de ilustrar las principales características de equipos típicos que puedan ser similares a la draga que finalmente efectúe el presente trabajo.

Draga Afonso de Albuquerque

Las principales características de esta draga son las siguientes:

- | | |
|--------------------------------------|----------------------|
| • Capacidad de cántara: | 3.500 m ³ |
| • Eslora: | 89,3 m |
| • Manga: | 22 m |
| • Calado draga cargada: | 5,7 m |
| • Máxima profundidad de dragado: | 27,6 m |
| • Diámetro de la tubería de succión: | 800 mm |
| • Potencia de bombeo (en arrastre): | 1.250 kW |
| • Potencia de bombeo (descargando): | 3.000 kW |
| • Potencia de propulsión: | 2 x 1.100 kW |
| • Potencia total Diesel instalada: | 5.510 kW |
| • Velocidad normal: | 11,3 nudos |
| • Tripulación: | 16 personas |



Figura 15. Draga Afonso de Albuquerque

Draga Beachway:

- Volumen de Cántara: 3.607 m³ (3.400 m³ útiles)
- Tipo de cántara: de compuertas de fondo deslizables (2 x 10 m)
- Calado a carga máxima: 4.66 m
- Eslora: 95 m
- Manga: 16 m
- Puntal: 6 m
- Profundidad máxima de dragado: 20 m (extensible a 22.5 m)
- Cabezales: 2 (a ambos lados)
- Diámetro de la cañería de succión 0.80 m
- Velocidad cargada: 11 nudos



Figura 16. Draga Beachway

Draga Hang Jun 4011

- Volumen de Cántara 4.200 m³
- Eslora 103,11 m
- Manga 18,8 m
- Puntal 7,8 m
- Calado máximo 6,8 m
- Potencia total instalada 10.555,2 kW



Figura 17. Draga HANG JUN 4011

Draga Ortelius

Las principales características de esta draga, que representa el equipo de mayor tamaño que razonablemente se podría esperar que opere en la zona, son las siguientes:

- | | |
|--------------------------------------|----------------------|
| • Capacidad de cántara: | 6.000 m ³ |
| • Eslora: | 111,7 m |
| • Manga: | 24,6 m |
| • Calado draga cargada: | 7,2 m |
| • Máxima profundidad de dragado: | 35 m |
| • Diámetro de la tubería de succión: | 1.000 mm |
| • Potencia de bombeo (en arrastre): | 1.500 kW |
| • Potencia de bombeo (descargando): | 4.000 kW |
| • Potencia de propulsión: | 2 x 2.150 kW |
| • Potencia total Diesel instalada: | 7.700 kW |
| • Velocidad normal: | 12,5 nudos |
| • Tripulación: | 16 personas |



Figura 18. Draga Ortelius

Para el presente análisis de las plumas de sedimentos en suspensión se considerará en forma conservativa una draga de 6.000 m³ de cántara, la cual se podría desplazar a una velocidad normal de 12,5 nudos (aproximadamente 6,5 m/s).

La evaluación de la pluma se debe basar también en una secuencia conservativa de descargas, es decir, con un ciclo de duración mínima entre vaciados sucesivos de la draga en la zona de descarga, siguiendo la secuencia siguiente:

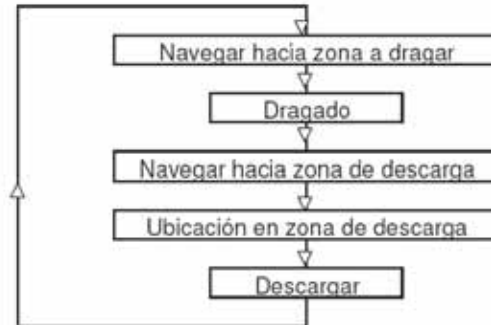


Figura 19. Ciclo de Dragado

A los fines del presente análisis se considerarán dos alternativas de distancia de navegación desde el interior portuario hasta el sitio de disposición.

Alternativa 1: Si el punto de descarga se encontrara a 2,5 millas náuticas mar afuera de la escollera del Puerto de Comodoro Rivadavia (unos 4,6 km), la distancia mínima a recorrer se puede estimar en 5 km. Teniendo en cuenta los períodos de arranque y parada de la draga en cada extremo del recorrido, se considera una velocidad promedio de 6 m/s (entre 11,7 nudos).

Las duraciones mínimas de las partes del ciclo de dragado que se estiman son las siguientes:

- carga (40 min),
- navegación de ida (5000 m / 6 m/s: $\approx$ 14 min)
- descarga (10 min),
- navegación de regreso maniobras iniciales dentro de la zona portuaria ($\approx$ 26 min)
- Total: 90 minutos (1,5 horas, unos 16 ciclos diarios)

Alternativa 2: Si el punto de descarga se encontrara a 3,5 millas náuticas mar afuera de la escollera del Puerto de Comodoro Rivadavia (unos 6,5 km), la distancia mínima a recorrer se puede estimar en 7 km. El ciclo mínimo se estima de la siguiente manera:

- carga (40 min),
- navegación de ida (7000 m / 6 m/s: $\approx$ 20 min)
- descarga (10 min),
- navegación de regreso y maniobras iniciales dentro de la zona portuaria ($\approx$ 32 min)
- Total: 102 minutos (1,7 horas, unos 14 ciclos diarios)

La ubicación de cada alternativa se presenta en la Figura 20.

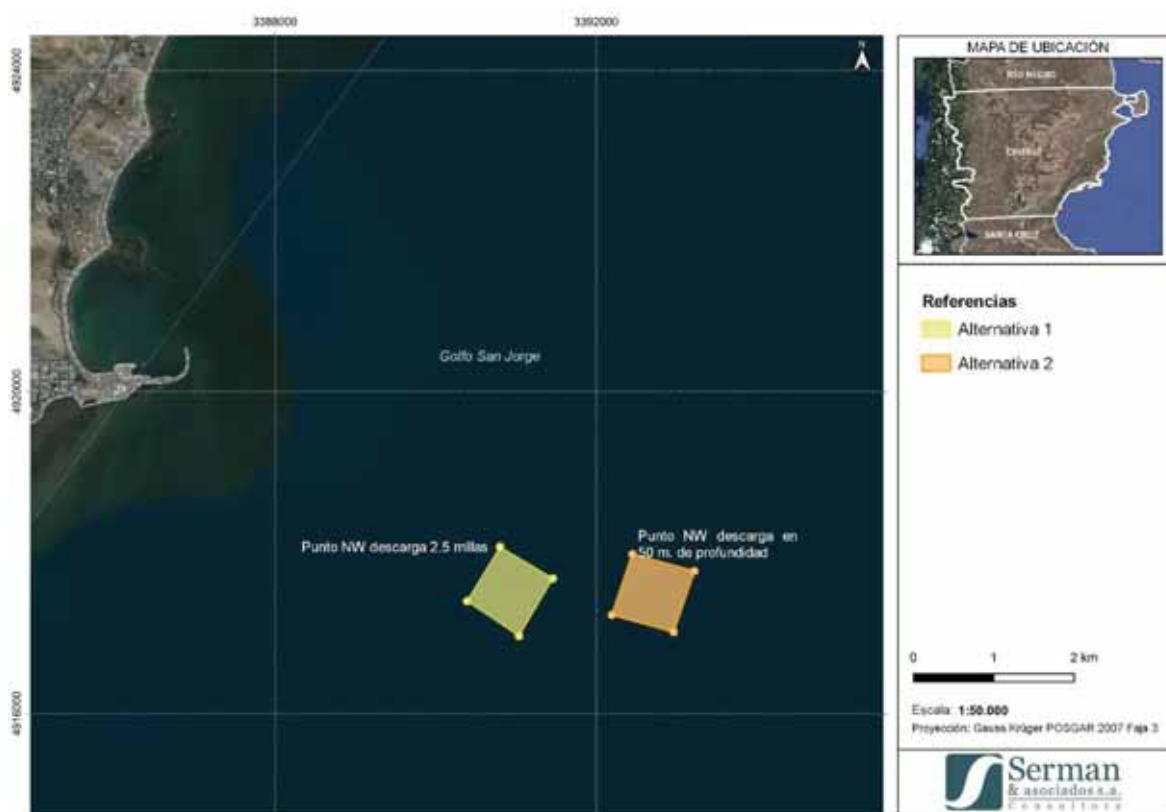


Figura 20. Ubicación de áreas de disposición evaluadas

La Alternativa 1 ubicada en una profundidad del orden de 40 metros fue la primera planteada y analizada. Se verificó mediante la modelación matemática que la pluma de sedimentos se mantiene siempre a más de 3,5 km de la costa, por lo que no presentaría riesgos de afectación a zonas sensibles costeras. No obstante, debido a consideraciones de impacto sobre las actividades pesqueras que se desarrollan en las cercanías de esta locación, que se pusieron de manifiesto en una primera reunión mantenida con actores sociales referentes de esta actividad, se desplazó la zona de disposición aproximadamente 2 km mar adentro hasta un sitio con profundidad del orden de 50 metros.

La descarga se realizará en un área de 800 m x 800 m de superficie, subdividida en celdas cuadradas de 200 m de lado, de forma de no generar montículos elevados.

A los efectos de poner en perspectiva estas distancias con lo que se realiza en otros puertos de nuestro país, se puede citar la práctica actual que se desarrolla en el Puerto Quequén, donde se dragan del orden de 500.000 m³ anuales para el mantenimiento del canal de acceso y de otras áreas náuticas.

Los sedimentos dragados se disponen en un área ubicada a unos 3,5 km del extremo de la escollera Sur, al SE del canal de acceso, aproximadamente a 1.500 m de distancia de la progresiva

final del canal km 4,800 y que consiste en un rectángulo de dimensiones aproximadas 1.900 x 1.000 m con profundidad natural en el entorno de los 25 m respecto al Cero Local (Figura 21).

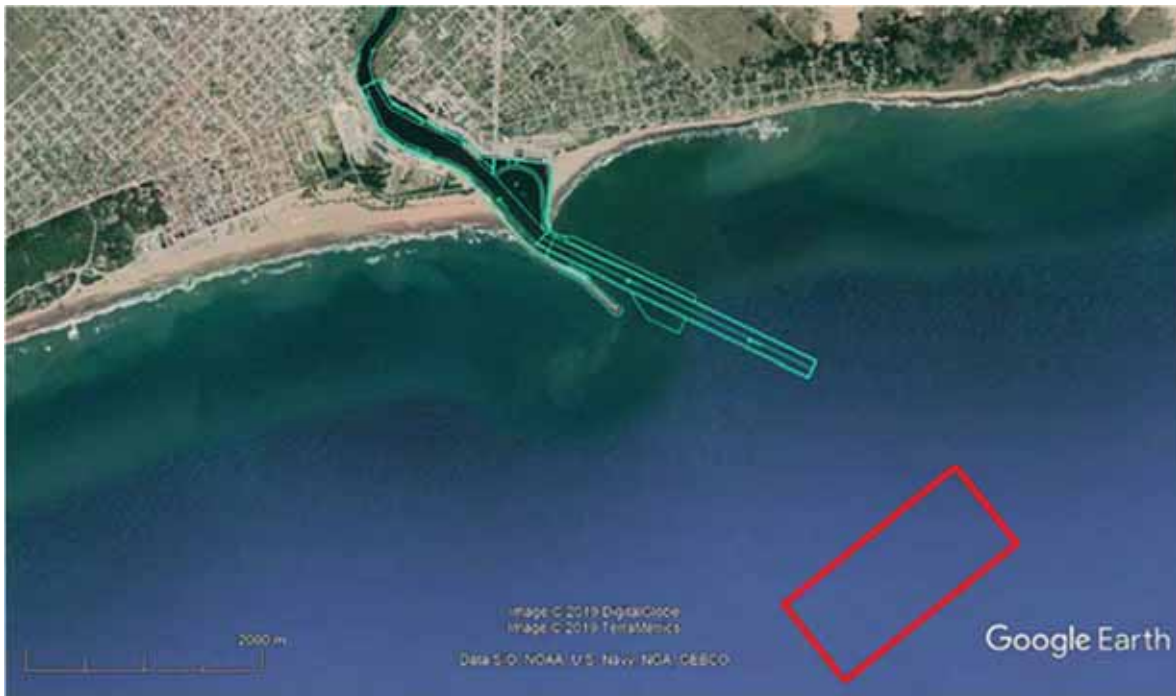


Figura 21. Ubicación del área de disposición del dragado en Puerto Quequén

La cantidad de sedimento que en cada viaje se puede llevar depende de las características de este. Normalmente si los sedimentos son arenosos decantan rápidamente en la cántara, y se maximiza el volumen que se puede almacenar.

Cuando los sedimentos son predominantemente finos, tardan en decantar y la masa que se puede transportar es mucho menor. En lugares abiertos ello se compensa haciendo “overflow” de la cántara, que es una técnica que consiste en dejar salir el agua de la parte superior de la cántara mientras se sigue bombeando agua con sedimentos, lo cual permite aumentar la densidad de éste en el interior. Sin embargo, como se indicó anteriormente, en recintos semicerrados y cercanos a zonas terrestres esa práctica habitualmente no se permite, puesto que el agua descargada tiene más turbidez que la natural, con lo cual una pluma de turbidez puede alcanzar zonas sensibles, o bien se puede depositar nuevamente el sedimento en el recinto portuario. Se asume que en el presente proyecto la práctica de “overflow” no estará permitida, por lo cual se reducirá la masa de sedimento en cántara y la eficiencia del dragado.

Si bien la duración de las simulaciones es de 15 días para poder representar adecuadamente y en forma conservativa todas las condiciones mareológicas e hidrometeorológicas posibles durante las operaciones de dragado, la duración de la obra será superior, pudiéndose estimar en función del volumen total de sedimento a dragar y del tamaño de cántara de la draga que finalmente sea empleada para la tarea.

En ese sentido, una adopción conservativa sería considerar la draga de menor porte que se estima podría ser empleada para realizar el trabajo, que podría poseer de unos 3.000 m³ de cántara.

En cada ciclo de dragado, se estima que podría acarrear un volumen “in situ” del orden del 30% del volumen de la cántara, aunque para tomar un criterio conservativo se adopta una relación del 25%, es decir, 750 m³ de volumen de sedimento “in situ”.

Si se considera un volumen total a dragar del orden de 300.000 m³, ello implica que se necesitarían 400 ciclos de dragado de este equipo.

Anteriormente se estimó una duración del ciclo de dragado de 102 minutos para la disposición en la zona Alternativa 2, lo cual implica la posibilidad de realizar un máximo de 14,2 ciclos/día. Si bien la draga opera normalmente en forma “permanente” 7 días a la semana y 24 horas por día, en general se considera que existe una fracción de tiempo no operativo, para cubrir cuestiones tales como pequeñas paradas de mantenimiento, carga de combustible, situaciones climáticas que obliguen a suspender las operaciones, etc.

Se puede estimar conservativamente que ese tiempo no operativo es del 20% del total, el número de ciclos promedio diarios pasaría a reducirse en esa proporción, resultando igual a 11,3 ciclos.

En consecuencia, el plazo para realizar los 400 ciclos necesarios sería igual a unos 36 días. A esto se le debe agregar los tiempos de movilización y desmovilización, más los tiempos necesarios para realizar y procesar las batimetrías de predragado y posdragado, por lo cual el plazo total se puede estimar en unos 45 días.

No obstante, para tener en cuenta posibles contingencias técnicas de la draga o dificultades para el dragado cercano a las estructuras, se puede considerar conservativamente un plazo máximo total de la operación del orden de 60 días

Se puede visualizar rápidamente que si la draga empleada fuera la máxima considerada para la evaluación de la pluma de 6.000 m³ de cántara, se requeriría del orden de la mitad de los ciclos y por lo tanto el plazo de obra se reduciría aproximadamente en forma proporcional, aunque podría haber un incremento debido a la necesidad de contar con una “ventana de marea” con niveles suficientemente altos para que esta draga pueda operar en las zonas de baja profundidad, debido a que su calado sería mayor que el de una draga más pequeña.

4 MODELO HIDRODINÁMICO DEL GOLFO SAN JORGE

Se implementó un modelo matemático de la circulación de agua en el Golfo San Jorge empleando el software MIKE 21 HD en la región que se ilustra en la Figura 22.

El modelo permite la simulación de flujos naturales a superficie libre, donde el movimiento es esencialmente horizontal y puede ser descripto por una aproximación bidimensional debido a que la aceleración vertical es pequeña en comparación con la componente horizontal.

Este software es capaz de utilizar la presencia de unidades gráficas de procesamiento (GPU) para realizar los cálculos, así como también su capacidad de paralelización, incrementando significativamente la celeridad de cómputo. Dicho software fue ejecutado en un servidor de alto rendimiento, adquirido para el desarrollo de trabajos de alta exigencia de cálculo, el cual dispone de una placa dual GPU Nvidia Tesla M60, de 8 GB por GPU y 2048 núcleos Nvidia CUDA por GPU, configurada para realizar el cómputo de operaciones el lugar de visualización de gráficos.

El sistema de modelado se basa en la resolución numérica de las ecuaciones 2D/3D de Navier Stokes promediadas de Reynolds o RANS ('Reynolds-Average Navier Stokes equations') sujetas a los supuestos de Boussinesq y la presión hidrostática. Así, el modelo consiste en la resolución de las ecuaciones de continuidad, momento, temperatura, salinidad y densidad, y cerrando el sistema de ecuaciones mediante un esquema de flujo turbulento. La densidad no depende de la presión, en cambio, lo hace con la temperatura y la salinidad.

Las ecuaciones que gobiernan el movimiento se presentan a continuación en coordenadas cartesianas:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t}$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp \sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h \tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h \tau_{xy}) \right] - \Omega q - fVV_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (p_s) = 0$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gq \sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h \tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h \tau_{xy}) \right] + \Omega p - fVV_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial y} (p_s) = 0$$

$h(x,y,t)$: profundidad ($= \zeta - d$, m)

$d(x,y,t)$: profundidad variable en el tiempo (m)

$\zeta(x,y,t)$: cota pelo de agua (m)

$p, q (x,y,t)$: caudal específico en las direcciones x e y (uh, vh) ($m^3/s/m$)

$u, v =$ velocidades promedio en la profundidad, en las direcciones x e y (m/s)

$C(x,y)$: coeficiente de Chezy ($m^{1/2}/s$)

g : aceleración de la gravedad (m/s^2)

fV :	factor de fricción por viento
$V, V_x, V_y (x,y,t)$:	componentes de velocidad del viento en x e y (m/s)
$\Omega (x,y)$:	Parámetro de Coriolis dependiente de la latitud (1/s)
$p_a(x,y,t)$:	presión atmosférica (N/m ²)
ρ_w :	densidad del agua (kg/m ³)
x,y :	coordenadas espaciales (m)
t :	tiempo (segundos)
$\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$:	componentes de la tensión de corte efectiva (N/m ²)

Las ecuaciones para flujo bidimensional se obtienen por integración de las ecuaciones en profundidad.

La discretización espacial de las ecuaciones primitivas se realiza mediante el método de celda centrada de volúmenes finitos. El dominio espacial es discretizado por subdivisión del continuo en elementos/celdas que no se superponen.

En el plano horizontal se utiliza una malla no estructurada mientras que, para los modelos 3D en el dominio vertical, se utiliza una malla estructurada. En modelos 2D los elementos pueden ser triangulares o cuadriláteros.

La malla implementada (Figura 22), posee 117.039 elementos (57.974 triangulares y 59.065 cuadriláteros) y fue elaborada con una discretización más fina (elementos de 50m x 50m) en la zona de interés (Figura 23), o sea en el entorno de la traza del emisario en el cual se prevé puede ubicarse la trayectoria de las partículas.

La topografía del lecho se presenta en la ver Figura 24, fue elaborada en base a información de las cartas batimétricas del Servicio de Hidrografía Naval (H375A, H375B, H59 y H37) y un relevamiento antecedente (octubre 2008) de detalle de la zona de la Restinga Alí disponible por parte de la Consultora. La batimetría del modelo está referida al cero del Servicio de Hidrografía Naval (que se ubica a 3,14m por debajo del nivel medio de Comodoro Rivadavia).

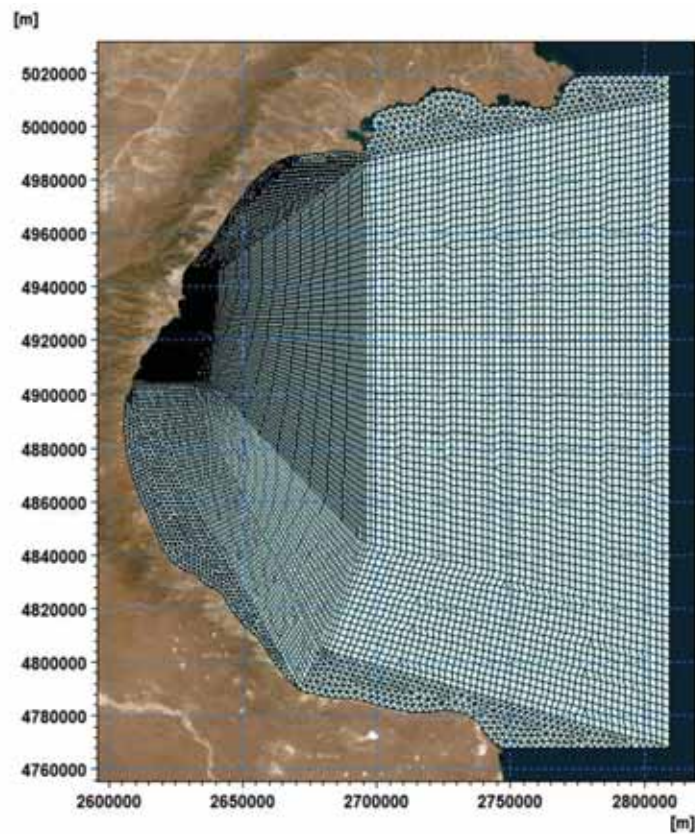


Figura 22. Malla del modelo hidrodinámico MIKE 21 HD

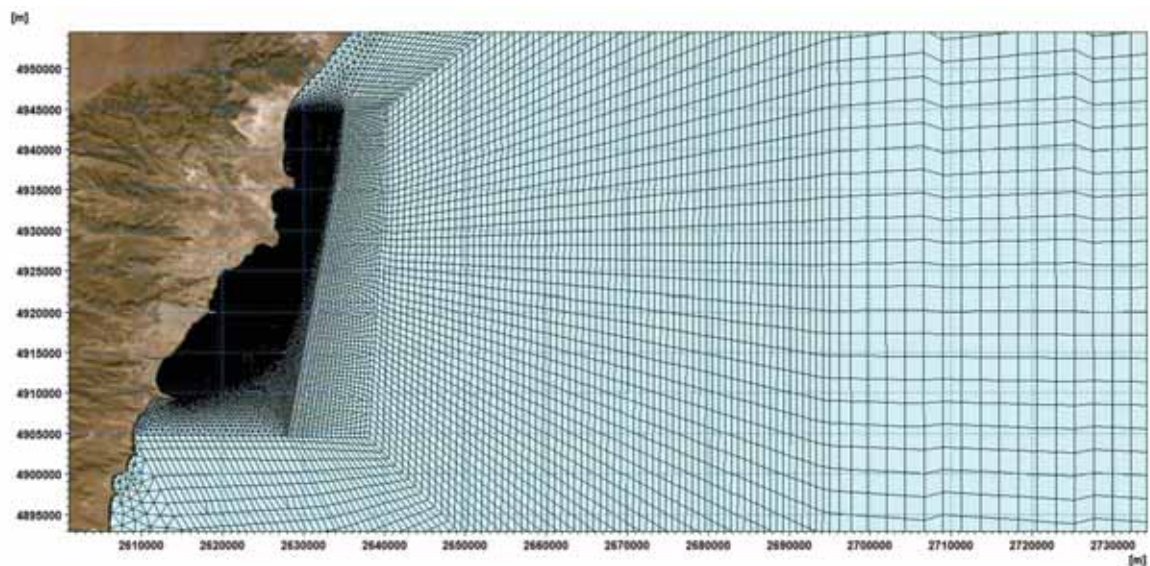


Figura 23. Detalle de la Malla del modelo hidrodinámico MIKE 21 HD. Zona de mayor discretización

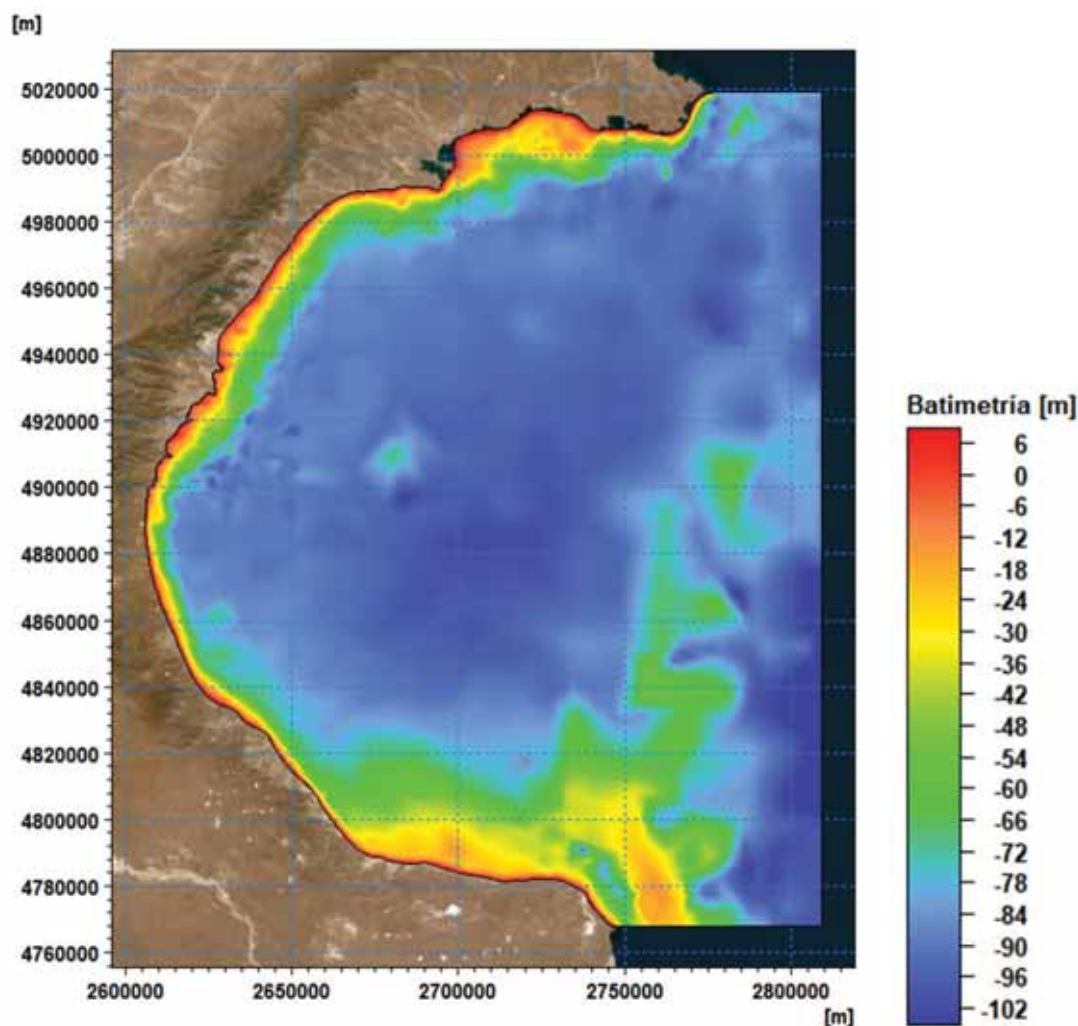


Figura 24. Batimetría de la zona modelada con MIKE 21 HD

La onda de marea utilizada como condición de borde, fue generada a partir de la herramienta del modelo MIKE 21 que realiza la predicción de marea en una grilla oceánica de $0,125^\circ \times 0,125^\circ$, en base a las componentes armónicas de marea (semidiurnas M2, S2, K2, N2, diurnas S1, K1, O1, P1, Q1 y la componente de aguas someras M4).

La calibración del modelo se realizó validando los niveles de agua astronómicos en Puerto Comodoro Rivadavia. La Figura 25 presenta la predicción de marea astronómica del Servicio de Hidrografía Naval (SHN) y los resultados del modelo. Se puede observar que los niveles de agua astronómicos en Comodoro Rivadavia resultan muy similares a los resultados del modelo.

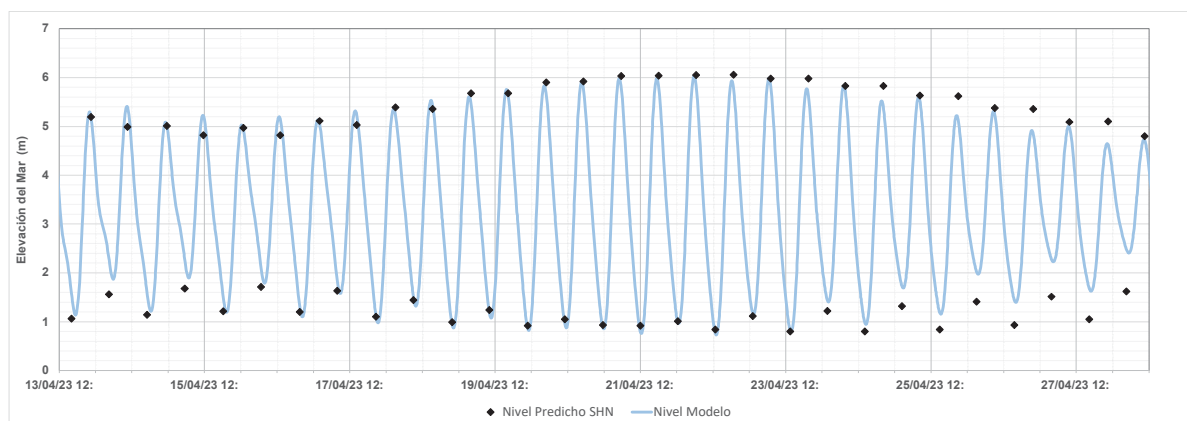


Figura 25. Comparación de Niveles de agua predichos por el Servicio de Hidrografía Naval en Puerto Comodoro Rivadavia y resultados de la modelación matemática

También se efectuaron comparaciones de verificación con las velocidades registradas por seguimiento de elementos flotantes por parte del Puerto de Comodoro Rivadavia.

Dichas velocidades fueron registradas a través de una embarcación navegando a la deriva durante 80 minutos el día 26/04/2023 (la trayectoria se puede observar en la Figura 27.c), resultando una velocidad promedio de la corriente de $\sim 0,13$ m/s.

En la Tabla 6, se presentan las velocidades calculadas (como espacio recorrido en un tiempo determinado) a intervalos de tiempo de 5 minutos, así como la correspondiente posición de la embarcación y las condiciones de viento, nivel y profundidad del mar.

En la Figura 26, se puede observar que los tres instantes iniciales, para los que se estimó velocidades superiores a 0.2 m/s, se corresponden con los mayores vientos medios y máximos provenientes del Oeste. Así mismo se observa al final del registro ($\sim$ los últimos 3 instantes), que el viento rota al Suroeste, afectando a la intensidad y dirección de la corriente.

Los integrantes de la tripulación reportaron que a las 11:15 h aproximadamente (entre los puntos 12 y 13) se percibió brevemente un cambio de la dirección de la corriente hacia el Sudeste), que luego de algunos minutos (aproximadamente 5) volvió al curso previo.

En la Tabla 7 y Figura 27 se presentan las velocidades resultantes de la modelación para un escenario sin viento, con condiciones hidrodinámicas similares a las del registro de la embarcación. Se presenta también para facilitar la comparación la identificación del punto de la campaña de medición.

No se modelaron las condiciones de viento registradas dado que las intensidades son débiles y en esos casos puede haber diferencias espaciales en velocidad y dirección del viento significativas, afectando la circulación general del golfo, razón por la cual no se lograría una mayor precisión en los resultados obtenidos.

Tabla 6. Datos (posición de la embarcación; condiciones de viento, nivel y profundidad del mar y corriente calculada) de la campaña de medición del día 26 de abril 2023. Fuente: Puerto de Comodoro Rivadavia

Nombre	Hora	Latitud	Longitud	Viento Promedio (Km/h)	Viento Max (Km/h)	Dirección del Viento	Profundidad (m)	Nivel del Mar PCR (m)	Velocidad Medida (m/s)
1	10:19:00	67° 22' 55,1111" W	45° 53' 09,2737" S	5,0	7,6	Oeste	51,0	4,81	
2	10:24:00	67° 22' 52,8534" W	45° 53' 07,4155" S	6,0	8,6	Oeste	52,0	4,75	0,25
3	10:29:00	67° 22' 50,8823" W	45° 53' 05,6684" S	5,2	8,8	Oeste	52,2	4,69	0,23
4	10:34:00	67° 22' 48,8563" W	45° 53' 04,2540" S	3,2	5,4	Oeste	52,7	4,63	0,21
5	10:39:00	67° 22' 46,9114" W	45° 53' 03,0772" S	3,1	4,7	Oeste	52,5	4,57	0,18
6	10:44:00	67° 22' 44,9513" W	45° 53' 02,2572" S	2,5	4,2	Oeste	52,5	4,51	0,16
7	10:49:00	67° 22' 43,1875" W	45° 53' 01,5361" S	5,0	7,2	Oeste	52,6	4,43	0,15
8	10:54:00	67° 22' 41,4770" W	45° 53' 00,6655" S	4,9	6,8	Oeste	52,1	4,37	0,15
9	10:59:00	67° 22' 39,7639" W	45° 52' 59,7122" S	2,2	3,6	Oeste	52,0	4,30	0,16
10	11:04:00	67° 22' 38,4660" W	45° 52' 59,0338" S	2,4	4,2	Oeste	51,9	4,22	0,12
11	11:09:00	67° 22' 37,0240" W	45° 52' 58,5706" S	0,0	0,4	Oeste	52,1	4,15	0,11
12	11:14:00	67° 22' 36,0285" W	45° 52' 58,4045" S	0,0	1,2	Oeste	51,8	4,07	0,07
13	11:19:00	67° 22' 35,0965" W	45° 52' 58,3680" S	0,5	1,1	Oeste	51,8	3,99	0,07
14	11:24:00	67° 22' 34,4834" W	45° 52' 58,1363" S	0,7	1,7	Oeste	51,6	3,91	0,05
15	11:29:00	67° 22' 33,8877" W	45° 52' 57,7945" S	0,0	0,4	Oeste	51,6	3,83	0,06
16	11:34:00	67° 22' 33,6734" W	45° 52' 57,5717" S	4,3	5,0	SO	51,5	3,74	0,03
17	11:39:00	67° 22' 33,9393" W	45° 52' 57,2148" S	5,4	8,6	SO	51,3	3,66	0,04
Velocidad media registrada									0,13

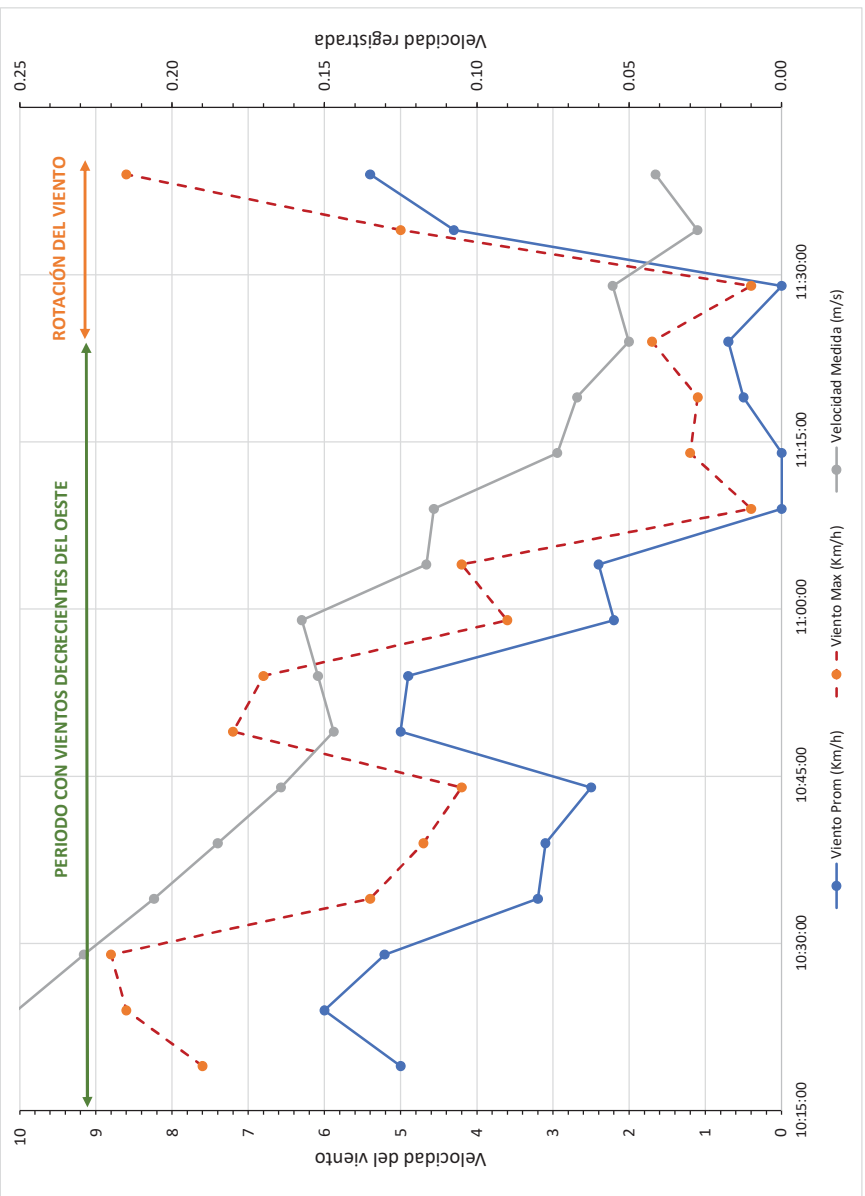


Figura 26. Condiciones de Viento e Intensidad Calculada de la Corriente, durante la navegación a la deriva del día 26-abril-2023.

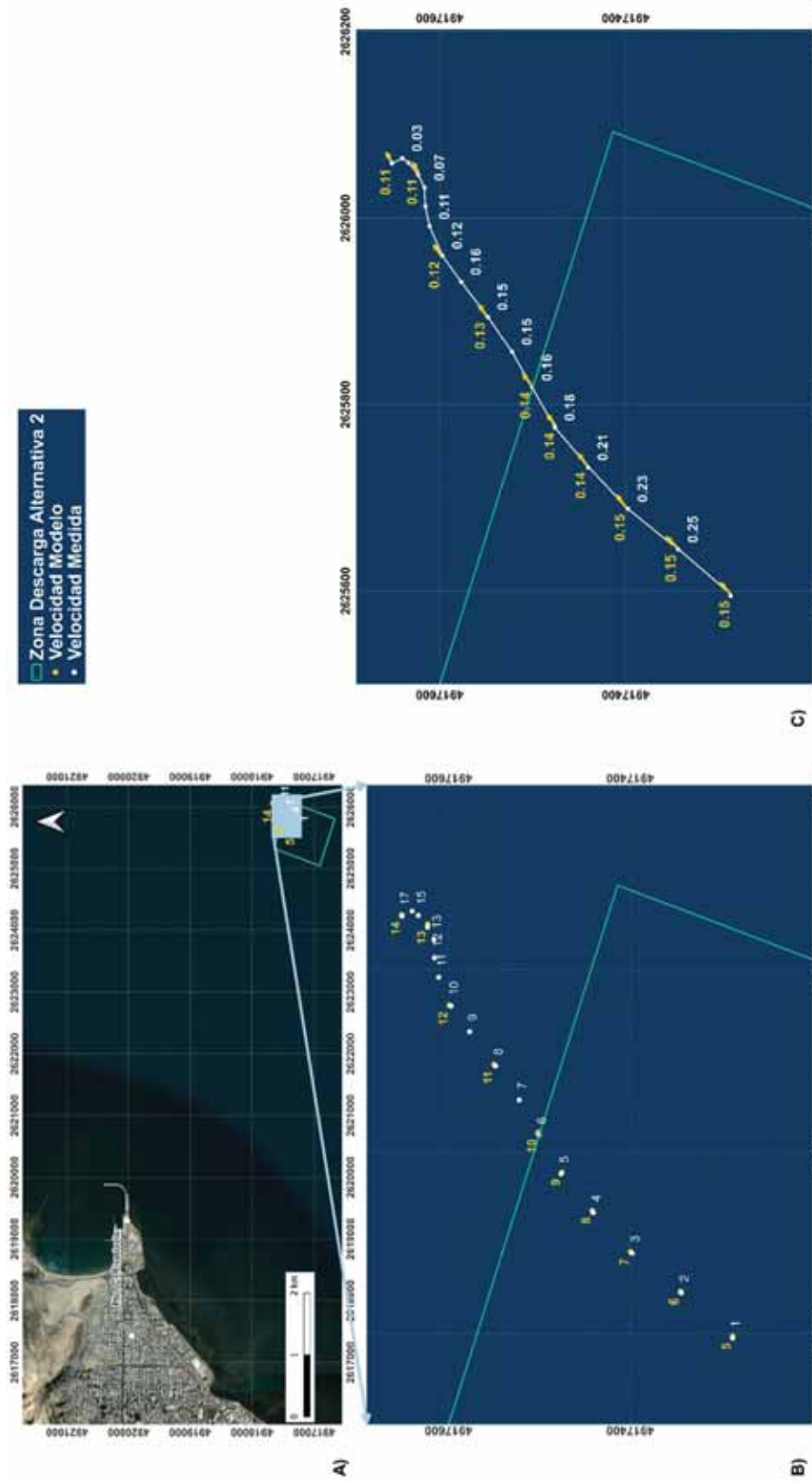


Figura 27. A: zona de medición durante la campaña del 26-abril-23. B: Ubicación de los puntos de medición, y su correspondencia con los puntos de extracción de resultados de la modelación hidrodinámica (sin viento). C: En blanco trayectoria de la embarcación navegando a la deriva e intensidad de la corriente. En amarillo resultados del modelo (dirección e intensidad de la corriente).

Tabla 7. Datos resultantes de la modelación hidrodinámica para el escenario sin viento para el día 26 de abril 2023.

Posición Embarcación	Posición Modelo	Hora	Longitud (m)	Latitud (m)	Nivel del mar (m)	Velocidad en Superficie* (m/s)	Dirección de la Velocidad (rad)	Dirección de la Velocidad (grados)
1	5	10:10	2625596,47	4917288,14	4,84	0,15	0,83146	48
2	6	10:15	2625645,76	4917345,38	4,77	0,15	0,84179	48
3	7	10:20	2625689,49	4917399,44	4,70	0,15	0,90872	52
4	8	10:25	2625734,80	4917441,58	4,63	0,14	0,91846	53
5	9	10:30	2625776,94	4917474,97	4,56	0,14	0,92812	53
6	10	10:35	2625820,67	4917501,20	4,48	0,14	0,93773	54
8	11	10:45	2625895,40	4917549,70	4,34	0,13	0,95706	55
10	12	10:55	2625960,59	4917598,99	4,19	0,12	0,97667	56
14	13	11:15	2626049,63	4917622,84	3,90	0,11	1,01638	58
17	14	11:30	2626059,97	4917651,46	3,69	0,11	1,04218	60
Velocidad promedio						0,13		

*Resultado de la multiplicación de la velocidad media de la columna de agua (calculada por el modelo) por un factor 1.14 (estimado considerando un perfil vertical logarítmico de la velocidad).

Al comparar la Tabla 6, con la Tabla 7, teniendo en cuenta las condiciones de viento registradas y reportadas durante la campaña, se puede concluir que el modelo (escenario sin viento) reproduce adecuadamente la velocidad media de la corriente cuando se registra una menor influencia del viento. O sea, la mayor coincidencia en la intensidad de la corriente se verifica con los puntos 10 y 11 (Figura 28 y Figura 27), mientras que, en los otros puntos, la diferencia entre lo modelado y medido, básicamente la mayor pendiente que se observa en el descenso de la velocidad medida, como se mencionó anteriormente respondería a las condiciones de viento reportadas (puntos 12 y 13), y observadas en el registro (puntos 15 a 17).

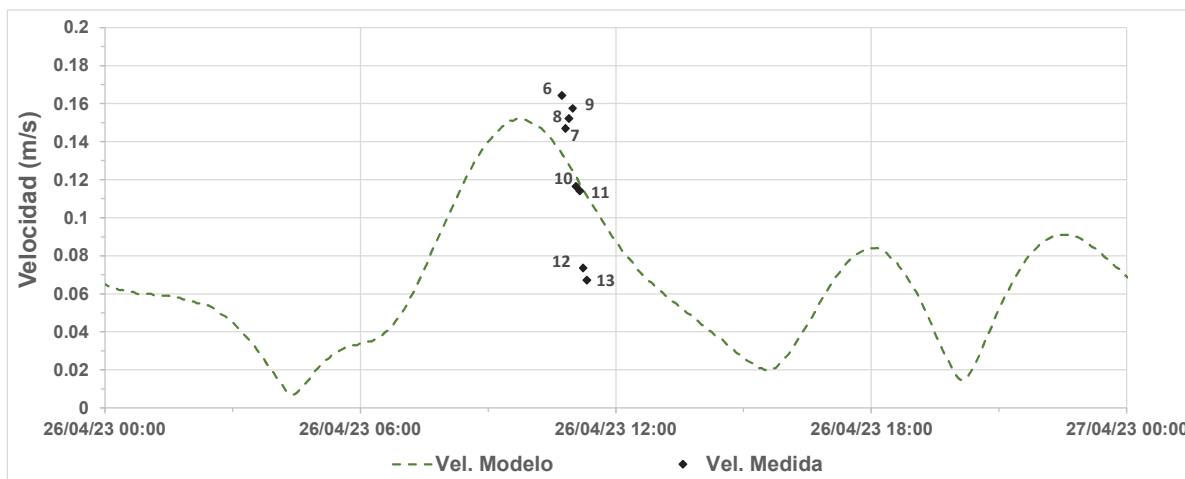


Figura 28. Comparación de Intensidad de la Corriente modelada versus medida.

El modelo permitió obtener los campos de velocidades en todo el golfo y particularmente en la zona de mayor interés por donde evoluciona la pluma de descarga, tal como se ilustra en la Figura 29 y la Figura 30 para instantes característicos de máximas velocidades hacia el Sur y hacia el Norte.

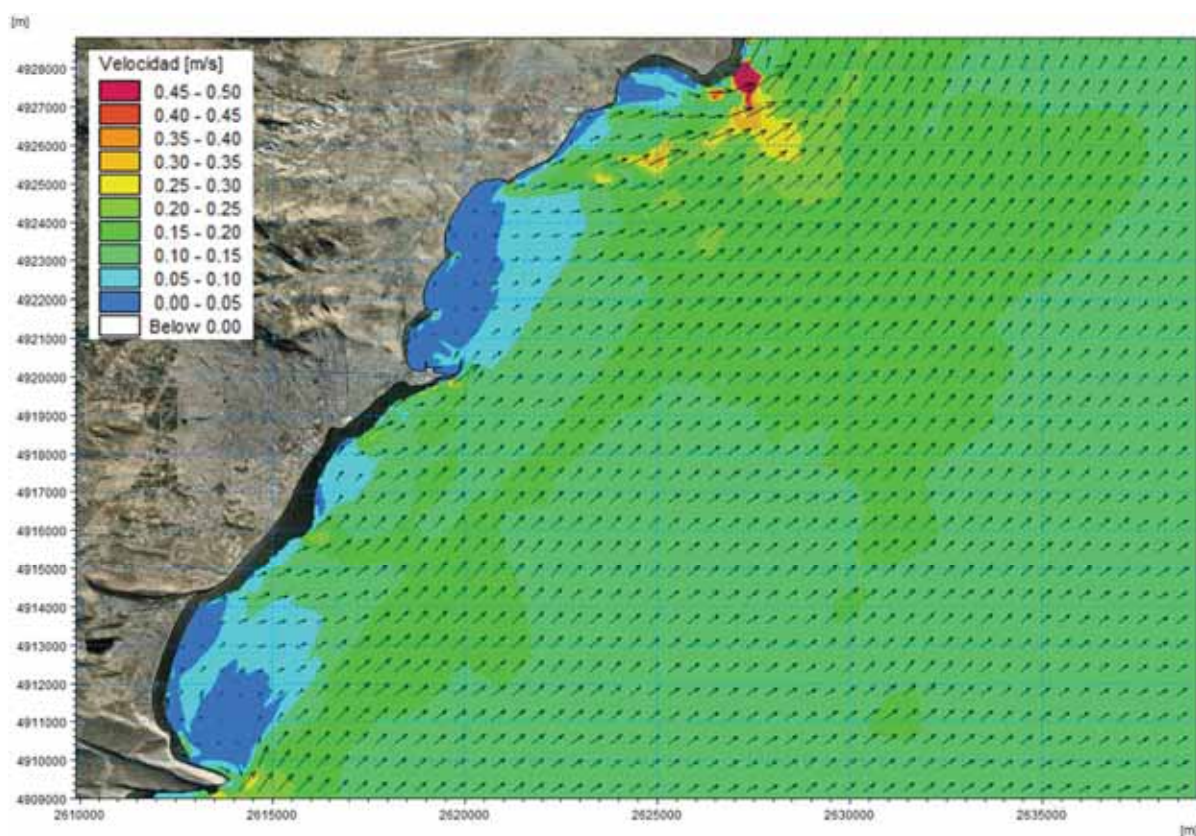


Figura 29. Campo de velocidades típico hacia el Norte modelado con MIKE 21 HD

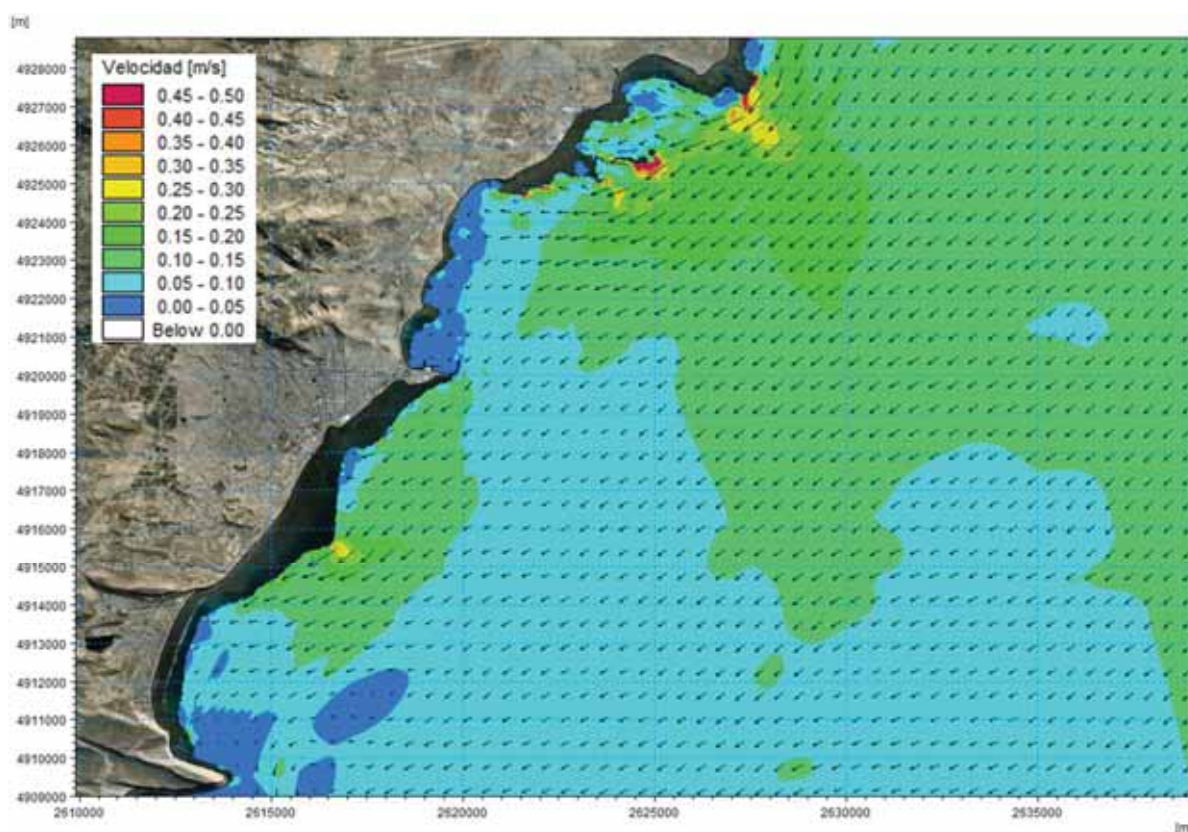


Figura 30. Campo de velocidades típico hacia el Sur modelado con MIKE 21 HD

5 **MODELACIÓN DE LAS PLUMAS DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN**

5.1 **TRAYECTORIAS Y CONCENTRACIONES DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN**

Tal como se indicó previamente, con el Módulo Mud Transport del MIKE 21 se simuló la evolución de plumas de sedimentos generadas por la descarga de la draga de mayor tamaño que se espera podría operar en la zona, utilizando los parámetros previamente definidos de masa descargada por ciclo, de cantidad de ciclos diarios y de distribución espacial de las descargas.

En primer lugar, se simuló la evolución de las descargas efectuadas en la zona correspondiente a la Alternativa 1, verificando que en condiciones sin viento y en todas las Secuencias de dirección e intensidad conservativa del viento modeladas durante 15 días de trabajo intensivo, la pluma se mantiene alejada de la costa, con una mínima distancia de acercamiento del orden de 3 km.

Luego, dado que la zona de la Alternativa 1 fue descartada como se explicó previamente, se simuló la evolución de las plumas para la zona de descarga correspondiente a la Alternativa 2.

Los sedimentos que deben ser dragados son predominantemente finos, en promedio según la granulometría de las muestras ubicadas en inmediaciones del área de dragado, se tiene un 21% de arena, 53% de limo y 26% de arcilla. Las arenas decantarán rápidamente en el lecho, prácticamente sin participar en la pluma más allá del campo cercano del punto de descarga. Sin embargo, para evaluar las plumas en forma conservativa, se deben considerar los sectores más desfavorables en cuanto a la proporción de materiales finos. Éstos se componen entre un 4% y 6% de arena, 65% a 67% de limos y el resto de arcilla (27% a 30%). A los efectos del cálculo de la dispersión de las plumas, se considerará conservativamente que todo el material descargado está compuesto por limos (70%) y arcillas (30%).

Tabla 8. Granulometría de las muestras de material del lecho¹

ID	% arena	% limo	% arcilla
E1	44,9	32,8	22,3
E2	6,0	66,3	27,7
E3	6,5	65,7	27,8
E4	66,5	17,0	16,5
E5	6,1	67,4	26,5
E6	3,8	67	29,2
E7	26,2	46,3	27,5
E10	9,1	64,2	26,7
E11	21,8	47,9	30,3
Mínimos	3,8	17,0	16,5
Promedio	21,2	52,7	26,1
Máximo	66,5	67,4	30,3

¹ Línea de base Ambiental del bentos, columna de agua y sedimentos del Puerto de Comodoro Rivadavia y zonas de influencia. (2022)

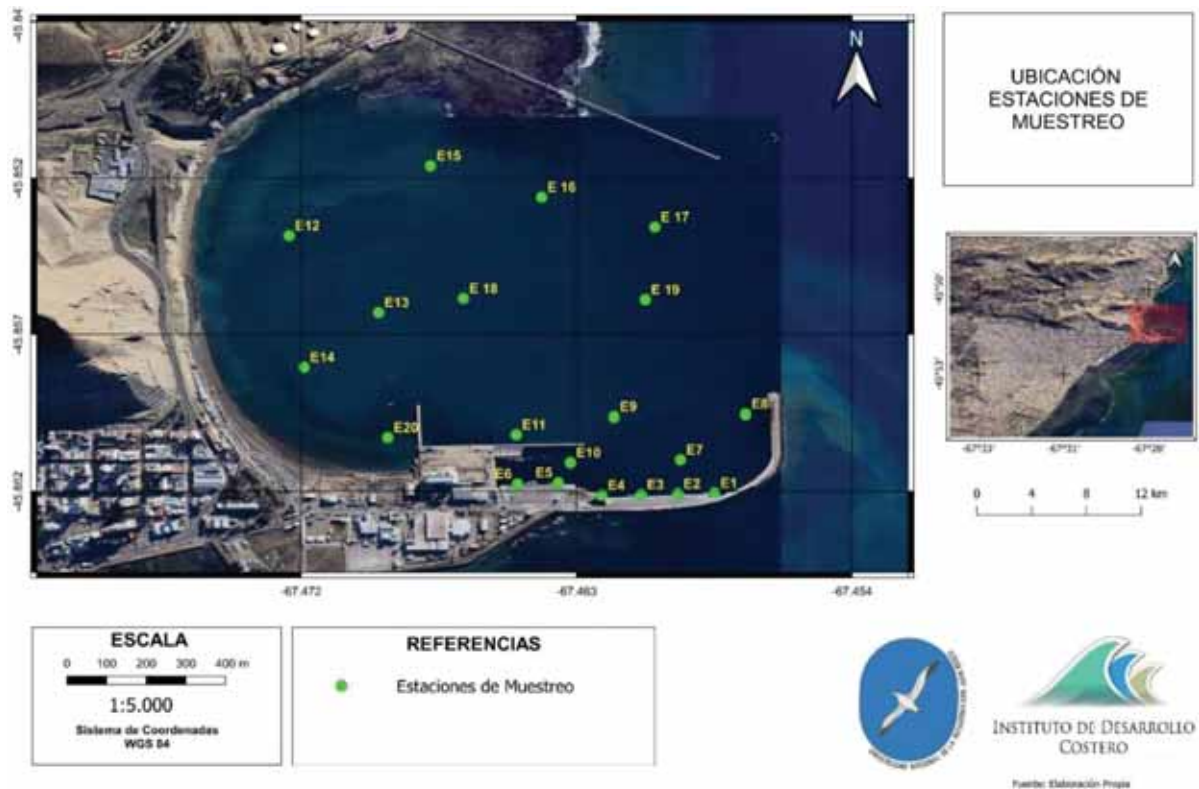


Figura 31. Ubicación de estaciones de muestreo

Los análisis realizados en estudios antecedentes para dragas de este tipo movilizand o materiales finos del Río de la Plata similares a los que aquí se encuentran en el lecho, muestran los siguientes indicadores:

- Densidad húmeda del sedimento en la cántara: 1,30 ton/m³
- Densidad seca del sedimento en la cántara: 0,48 ton/m³
- Masa máxima de sedimento descargada en cada ciclo para draga de 3.500 m³: ≈ 1.700 ton.
- Masa máxima de sedimento descargada en cada ciclo para draga de 6.000 m³: ≈ 2.900 ton.

Estos datos corresponden a un factor de llenado de cántara en volumen de sedimento del 30%.

Los rangos generales de clasificación de los sedimentos son los siguientes:

Tabla 9. Rangos típicos de tamaño de sedimentos y velocidades de caída asociadas

Material	Diámetro típico (micrones)	Rango (micrones)	Velocidad de caída (mm/s)
Arena	74	> 62	3,5
Limo Grueso	40	31 – 62	1,0
(Promedio de Limo)	30	4 - 62	0,6
Limo Medio y Fino	20	4 – 31	0,3
Arcilla	4	< 4	<0,01

En medio acuático marino, con salinidades muy superiores al 5%, si hay suficiente concentración las arcillas se agrupan formando flóculos de mayor tamaño.

Los cambios de valores para la velocidad de caída W del grano fino del sedimento en suspensión y los valores de W para flóculos, están dados por el factor de floculación (F), y este será mayor cuanto menor sea el grano del sedimento. Donde F es igual a:

$$F = \frac{W_f}{W_p} = 250 * D^{-1,8}$$

Donde:

W_f = Velocidad de las partículas floculadas

W_p = Velocidad de las partículas sin flocular

D = Diámetro de las partículas

La Figura 32, muestra la influencia de las dimensiones de las partículas elementales sobre la velocidad de caída de los flóculos en agua de mar. En general la diferencia entre partículas finas individuales y las mismas partículas floculadas, puede estar entre 500 a 1000 veces a favor de las floculadas, que específicamente se ubicarían en el rango de 0,2 – 0,8 mm/s.

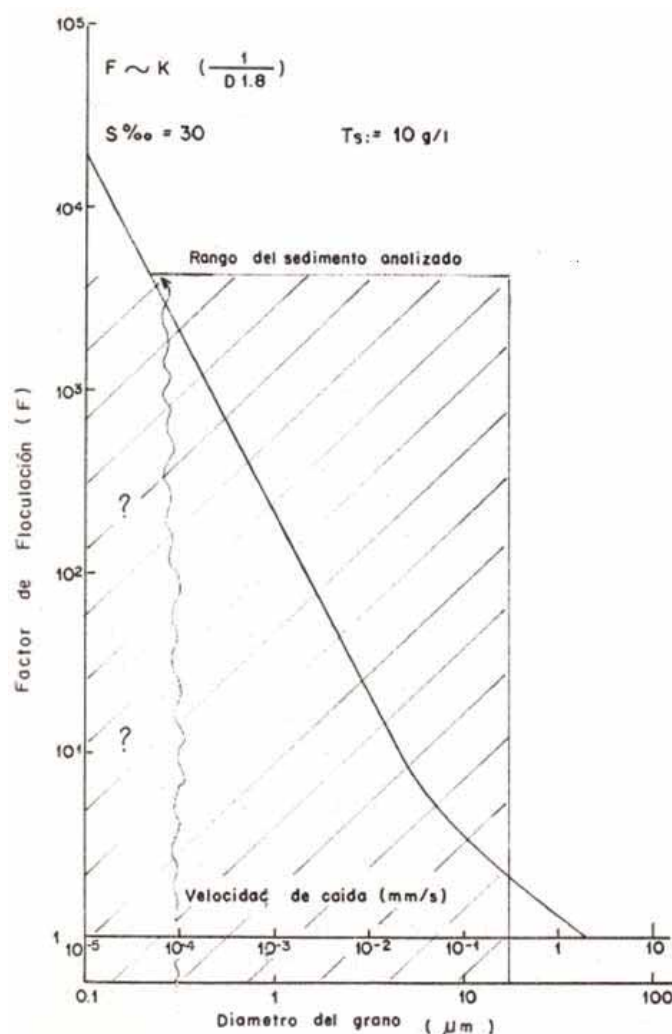


Figura 32: Influencia de las dimensiones de las partículas sobre la velocidad de caída de los flóculos en agua de mar

Este proceso se ha verificado en los casos de descargas por vaciado de dragas incluso en zonas con agua dulce debido a las grandes concentraciones iniciales de la pluma, y si bien resulta difícil de cuantificar con precisión, se ha verificado que en la ría de Bahía Blanca la velocidad de caída correspondiente a los flóculos que explica las tasas de sedimentación portuaria es 0,6 mm/s.

Un reciente y detallado estudio de la influencia de la floculación en las plumas de descarga de dragado concluye que con concentraciones de sedimentos en suspensión tan bajas como 10 mg/l se produce floculación, y los tamaños de los flóculos medidos varían entre 30 y 200 μm^2 .

Las modelizaciones efectuadas en dicho estudio y calibradas con extensivas mediciones de concentración de sedimentos en suspensión se realizó considerando un tamaño de flóculos de 30

² The Importance of Flocculation in Dredge Plume Modelling. Andrew Symonds, Paul Erftemeijer, Rachel White, Gordon Dwane. Terra et Aqua. N° 169. Spring 2023.

μm , al cual también le corresponde una velocidad de caída de 0,6 mm/s, equivalente al promedio del rango de los limos según la tabla precedente.

En consecuencia, a los efectos de la modelación de la pluma se considerará una sola fracción granulométrica constituida por limos y arcillas floculadas, con diámetro típico 30 μm y velocidad de caída 0,6 mm/s.

En función de los análisis previos se consideró la descarga de una draga de succión por arrastre de 6.000 m³ de cántara, vaciando 2.900 toneladas en 10 minutos, lo que implica una carga másica de 4,8 ton/segundo. Esta descarga se realiza a muy baja velocidad y a los efectos de la modelación se la considera puntual.

A continuación, se presentan los resultados para instantes en que la posición de la “pluma” alcanza aproximadamente su máximo avance hacia el NE, SO y hacia la costa, a lo largo de 15 días de modelación. El orden de la presentación se basa en los escenarios hidrodinámicos que contemplan las diferentes condiciones de viento indicadas en la Tabla 5 y Figura 10 y son los siguientes:

1. Pluma para escenario hidrodinámico Sin viento,
2. Pluma para escenario hidrodinámico E1
3. Pluma para escenario hidrodinámico E2
4. Pluma para escenario hidrodinámico E3
5. Pluma para escenario hidrodinámico E4

Nota: en los gráficos se debe interpretar “Above” = “Superior a” y “Below” = “Inferior a”. Las unidades están en kg/m³, por lo cual los límites superior e inferior son iguales a 400 mg/l y 1 mg/l.

Se puede apreciar que la pluma en todos los escenarios se mantiene alejada de la costa, con una distancia mínima del orden de 3 km en los extremos de la pluma, con concentraciones entre 1 y 5 mg/l, las cuales son de muy baja magnitud y significancia.

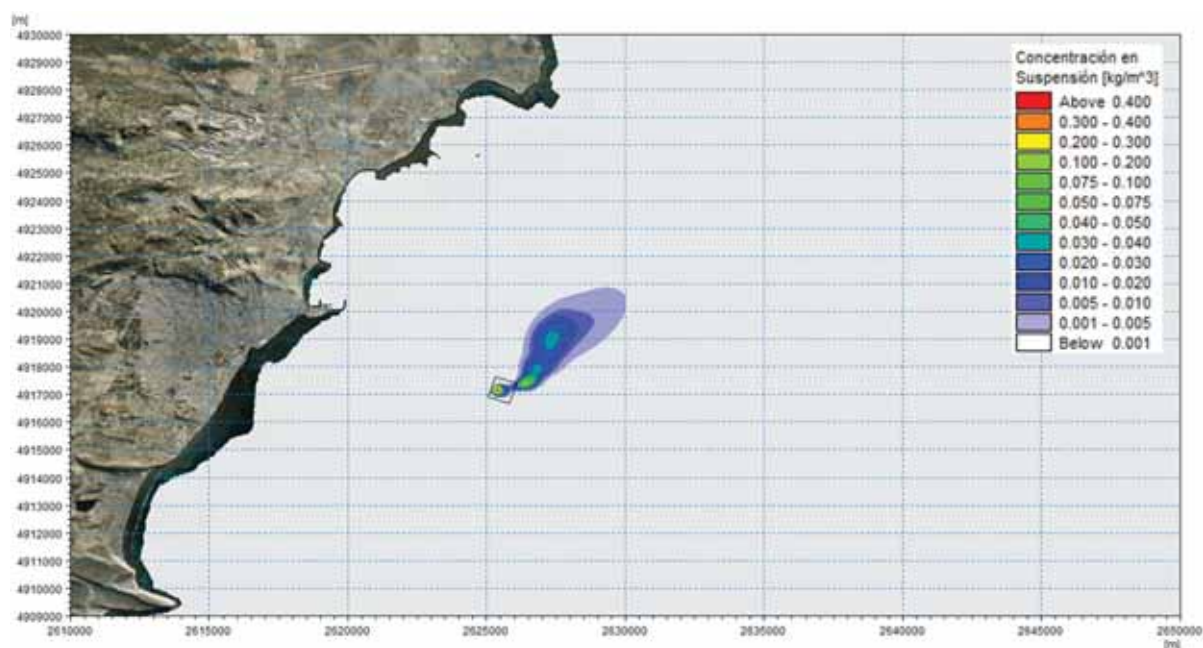


Figura 33: Escenario Sin viento, máximo avance de la pluma hacia el NE

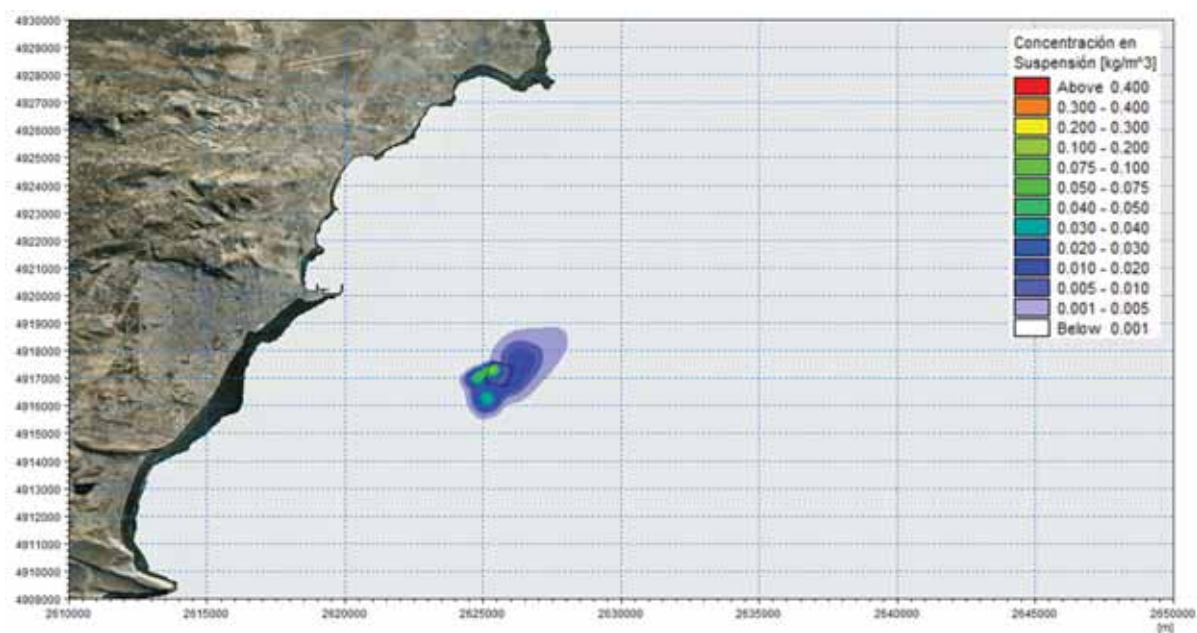


Figura 34: Escenario Sin viento, máximo avance de la pluma hacia el SO

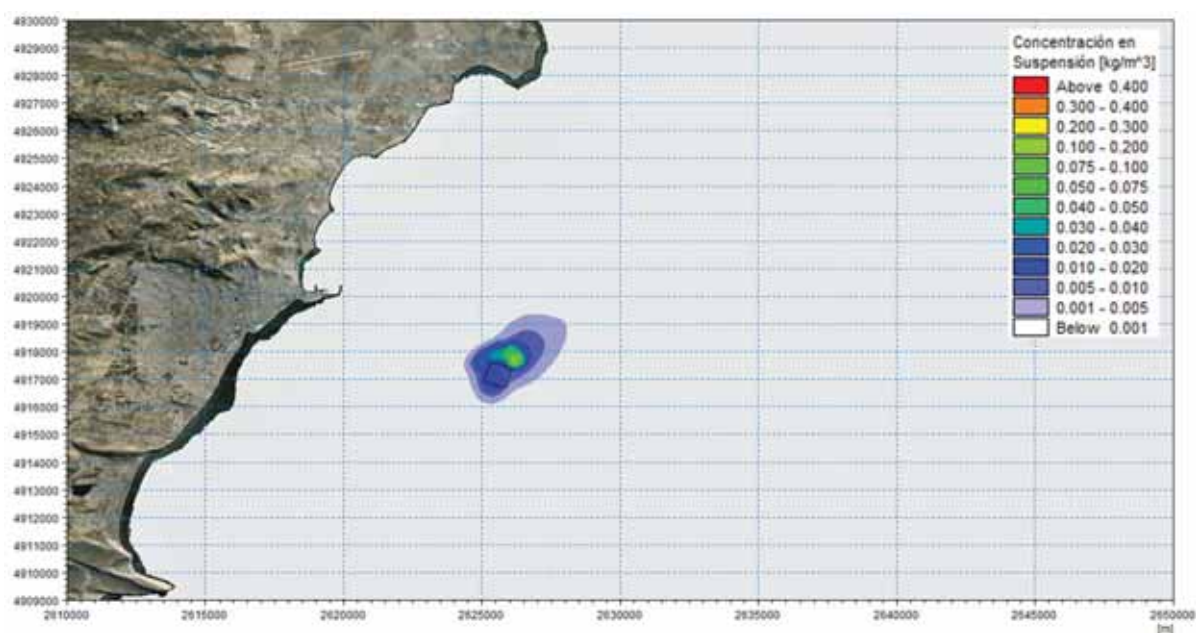


Figura 35: Escenario Sin viento, máximo avance de la pluma hacia la costa

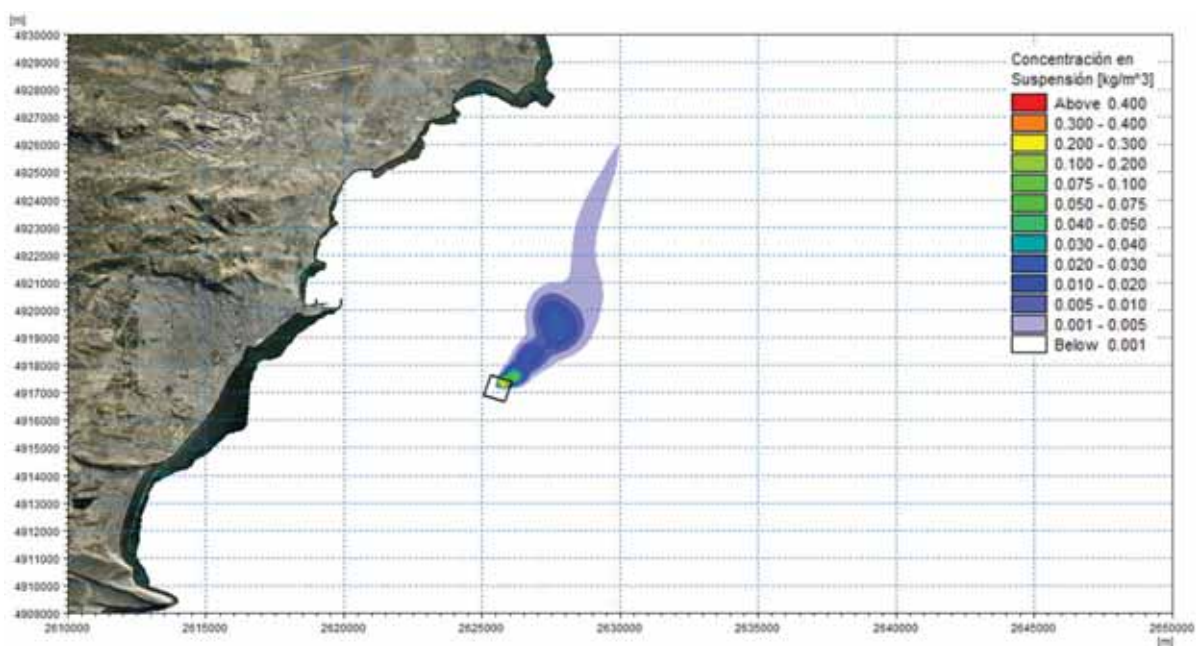


Figura 36: Escenario E1, máximo avance de la pluma hacia el NE

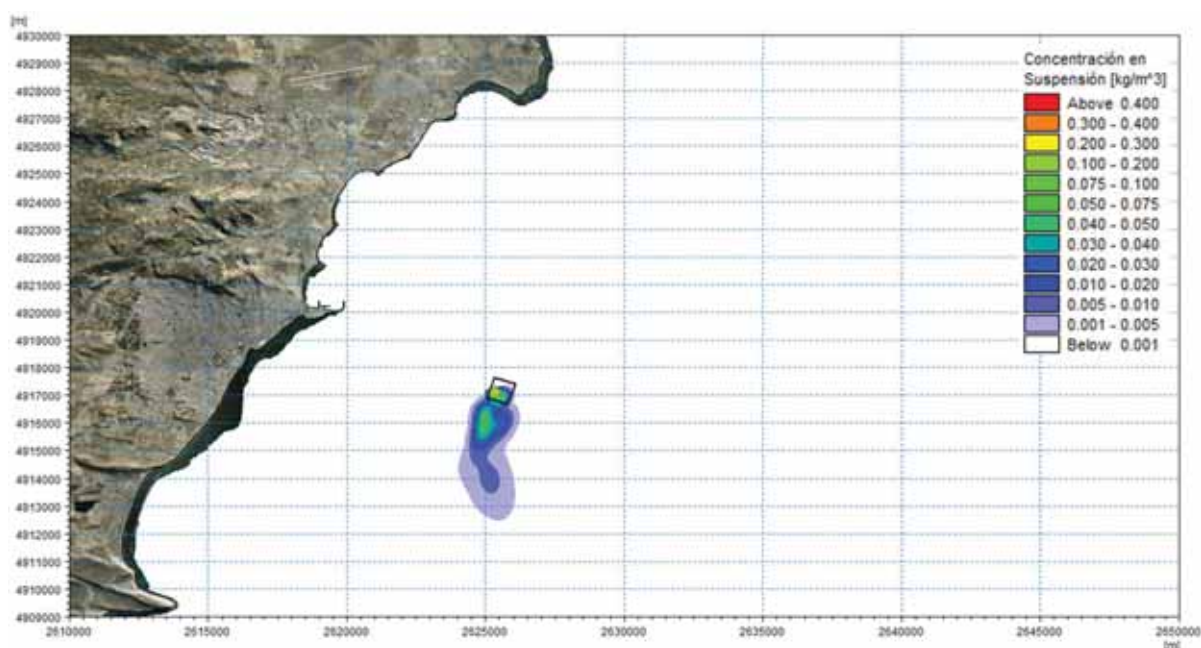


Figura 37: Escenario E1, máximo avance de la pluma hacia el SO

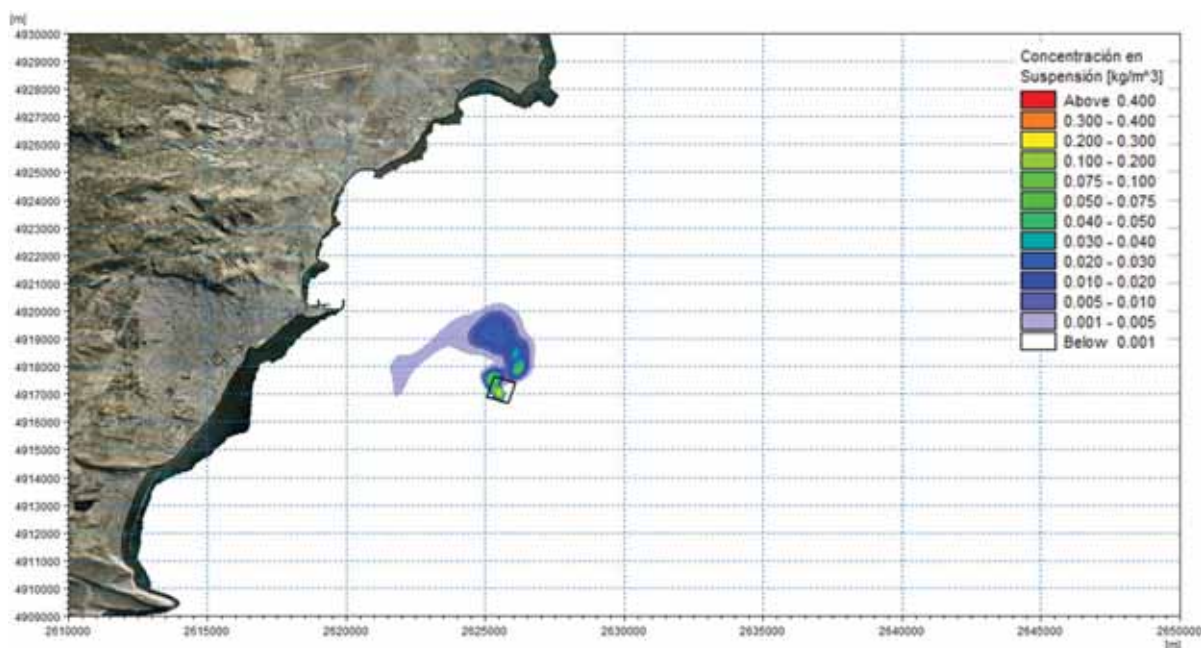


Figura 38: Escenario E1, máximo avance de la pluma hacia la costa

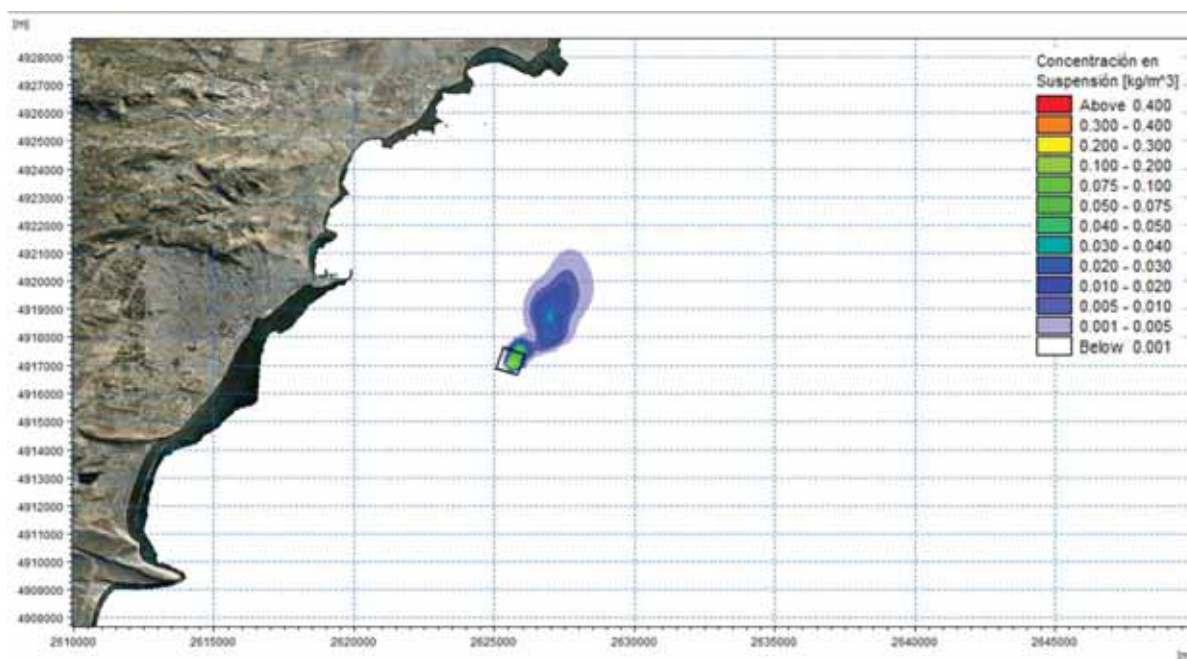


Figura 39: Escenario E2, máximo avance de la pluma hacia el NE

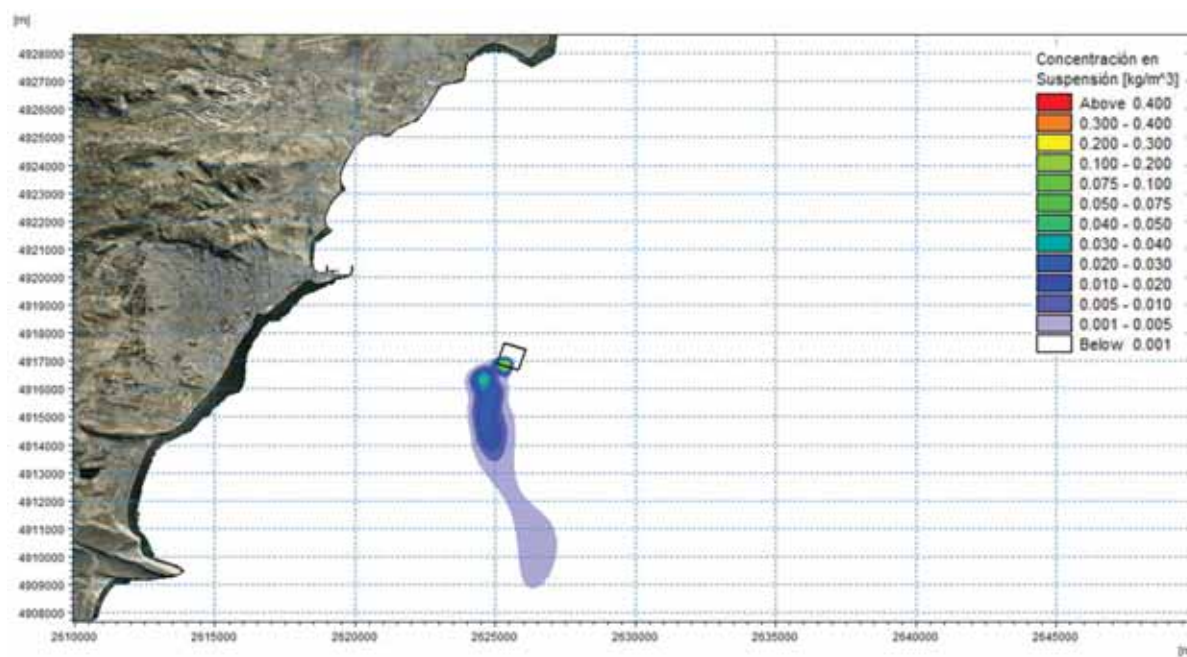


Figura 40: Escenario E2, máximo avance de la pluma hacia el SO

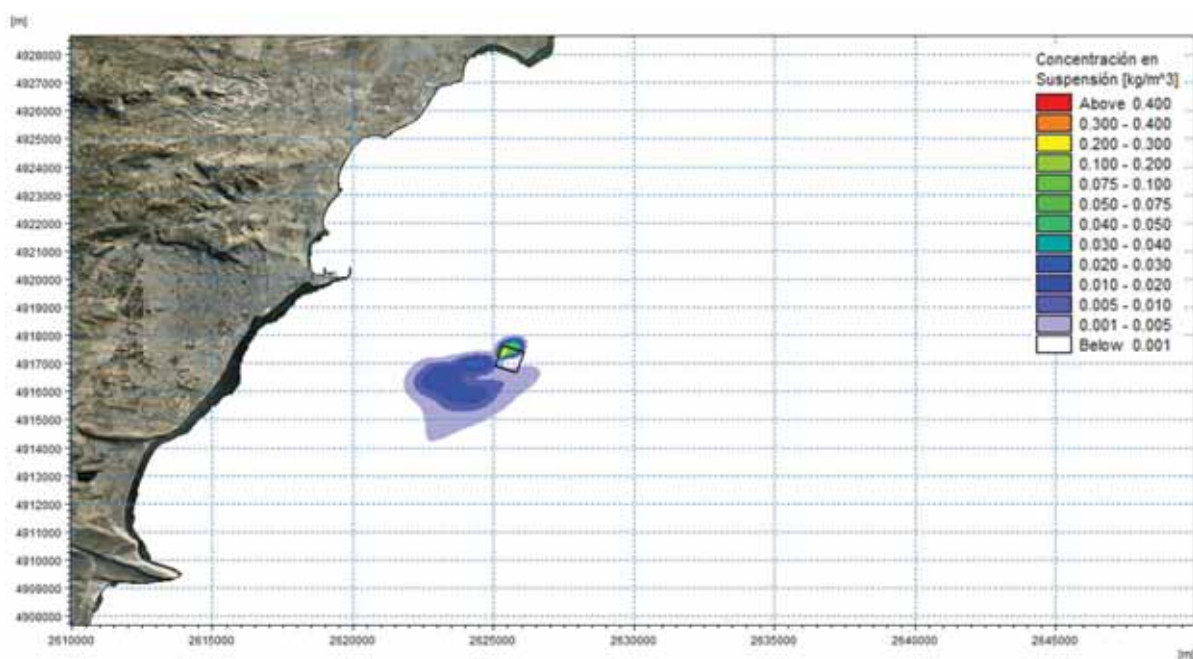


Figura 41: Escenario E2, máximo avance de la pluma hacia la costa

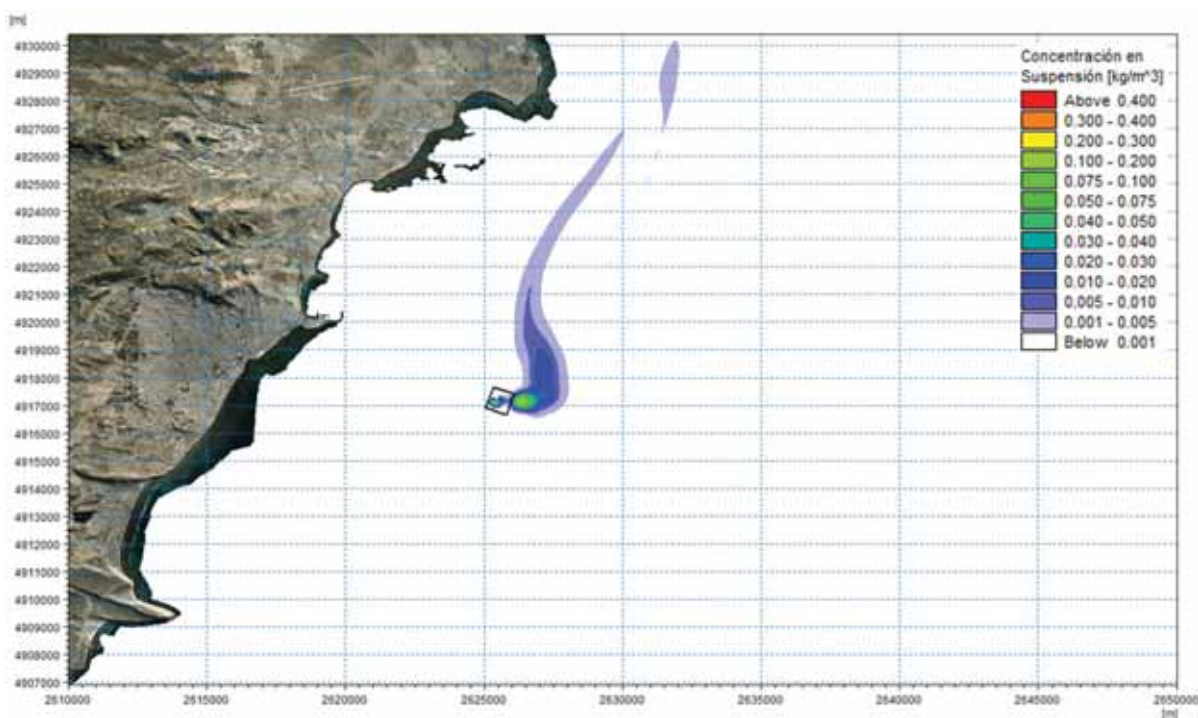


Figura 42: Escenario E3, máximo avance de la pluma hacia el NE

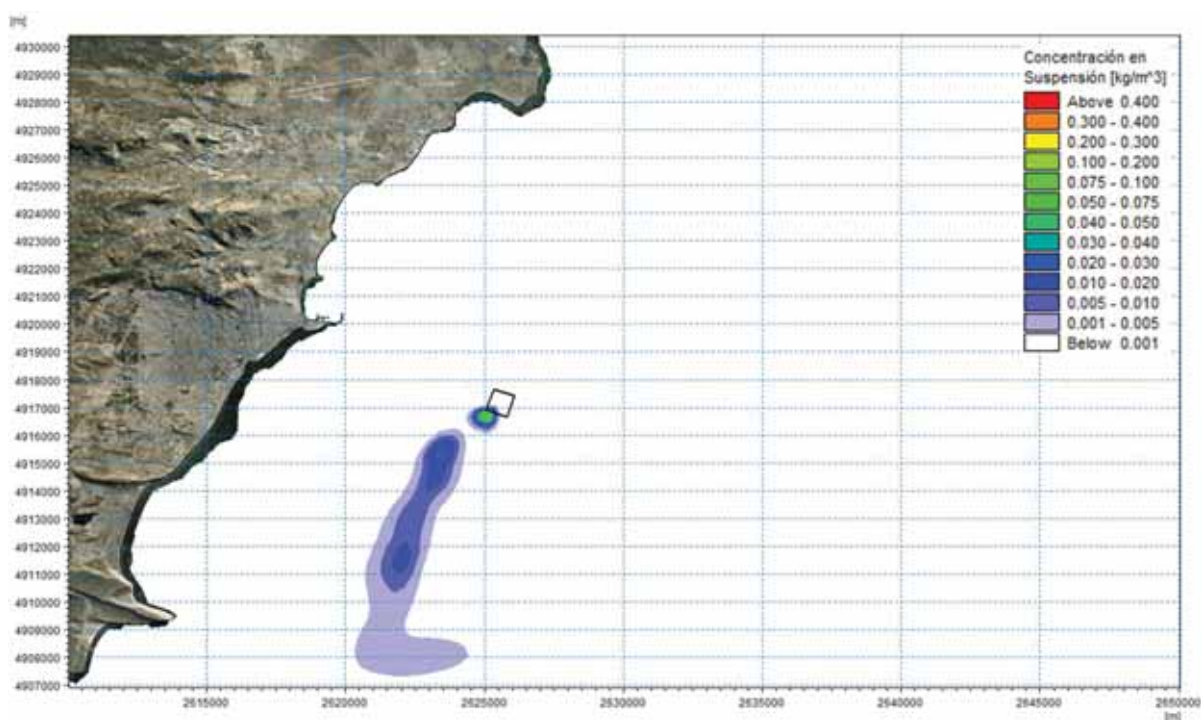


Figura 43: Escenario E3, máximo avance de la pluma hacia el SO

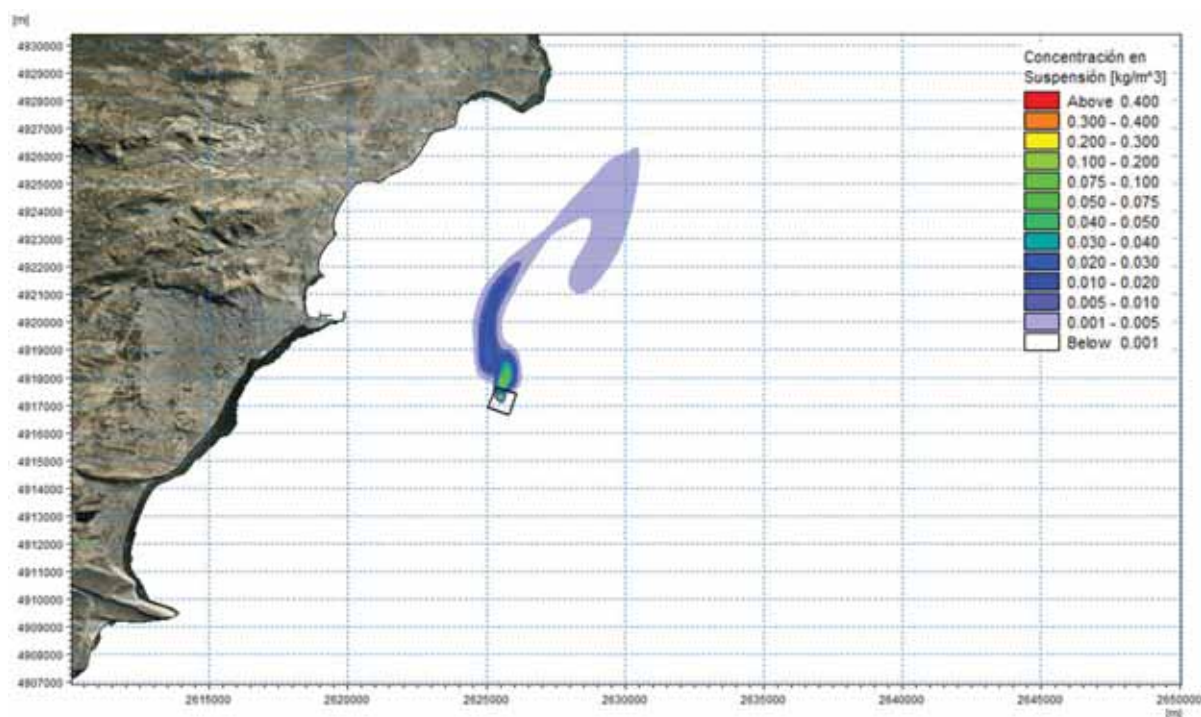


Figura 44: Escenario E3, máximo avance de la pluma hacia la costa

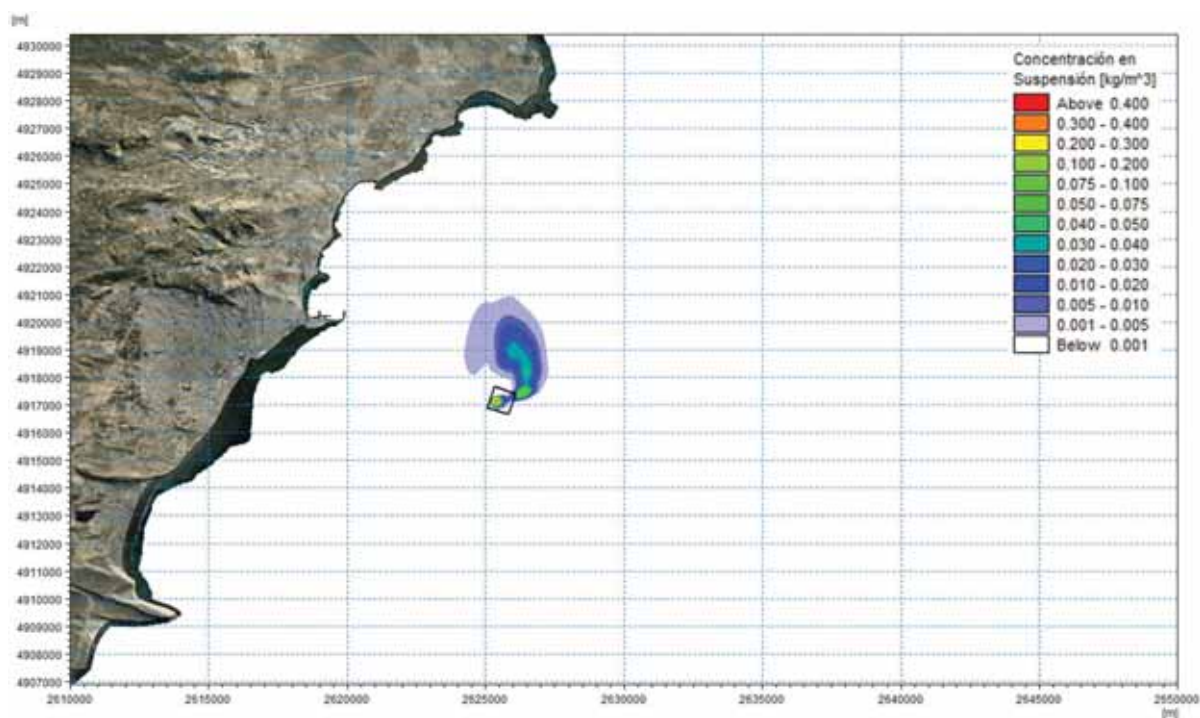


Figura 45: Escenario E4, máximo avance de la pluma hacia el NE

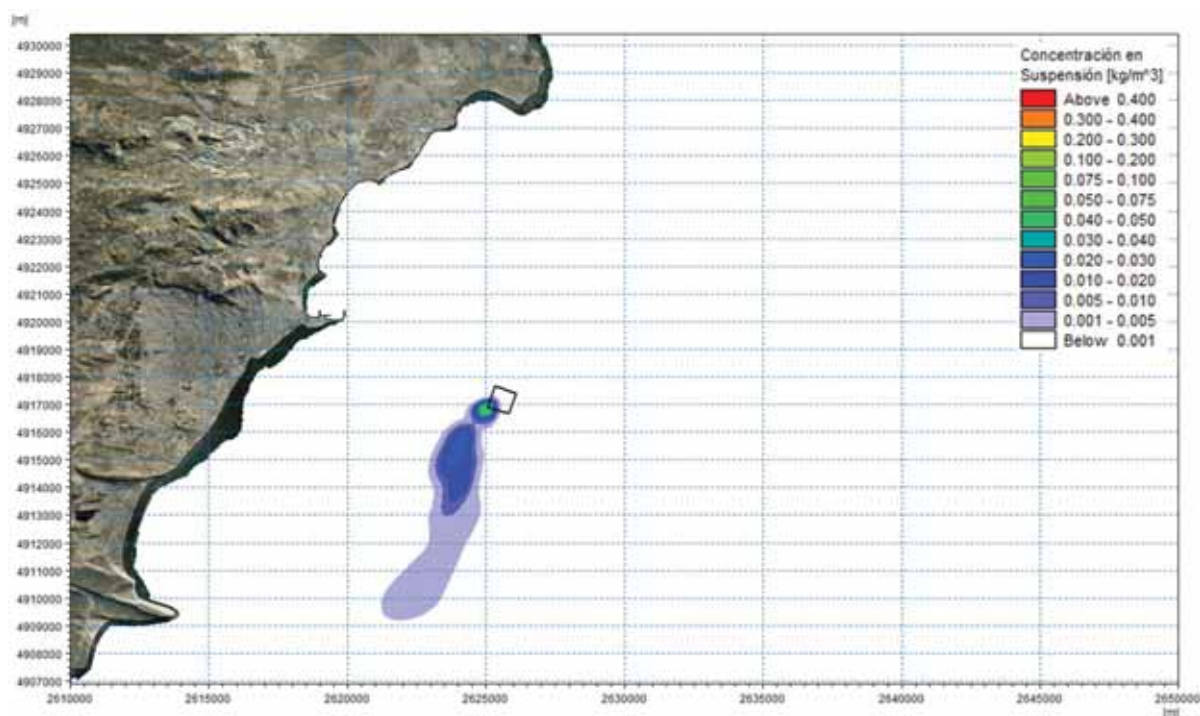


Figura 46: Escenario E4, máximo avance de la pluma hacia el SO

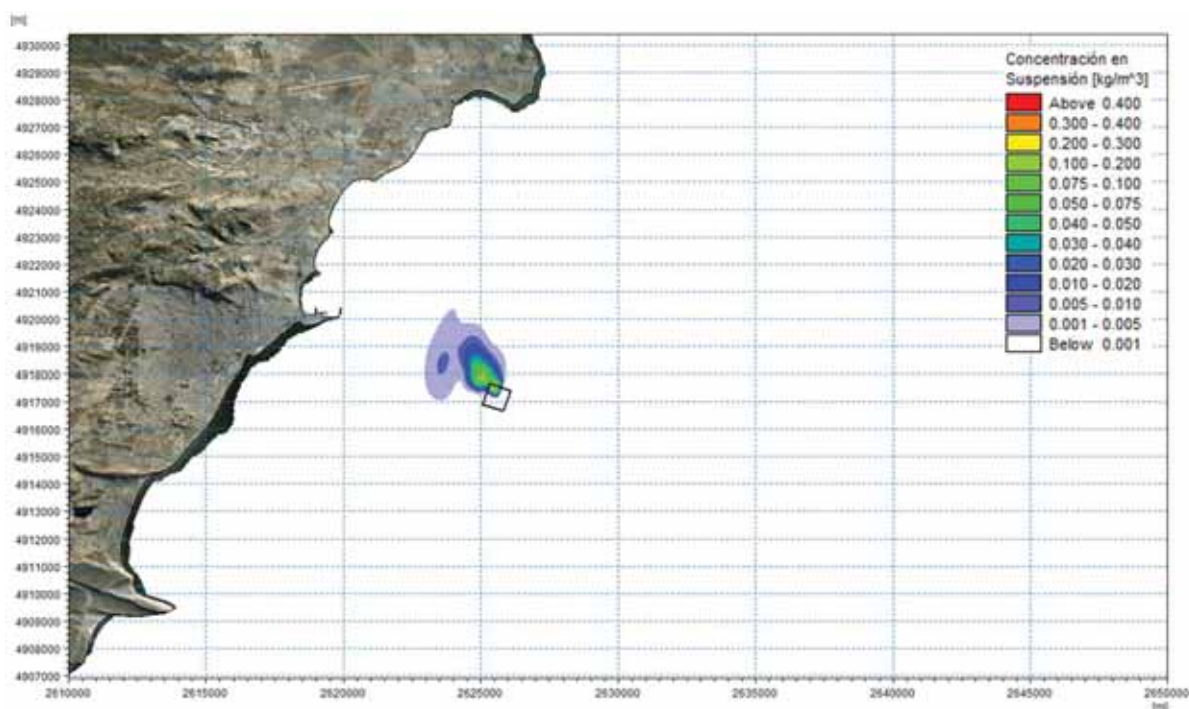


Figura 47: Escenario E4, máximo avance de la pluma hacia la costa

5.2 ESTIMACIÓN DEL ESPESOR DEL DEPÓSITO DE SEDIMENTOS EN INMEDIACIONES DE LA ZONA DE DESCARGA

Parte del material descargado en el área de la Alternativa 2, se deposita en el fondo marino, formando un montículo en las inmediaciones de la zona de descarga.

El espesor de dicho montículo, como se indica en la Figura 48, varía entre 1 y 60 cm, siendo que el valor máximo podría reducirse con ajustando la distribución de las descargas en la grilla definida, a partir de un monitoreo de la evolución del lecho durante el desarrollo de la obra de dragado.

Dentro del área de descarga (800 m X 800 m) el espesor medio de la elevación del lecho marino es de aproximadamente 0,25 m, valor muy reducido en relación con la profundidad media de la zona (50 metros).

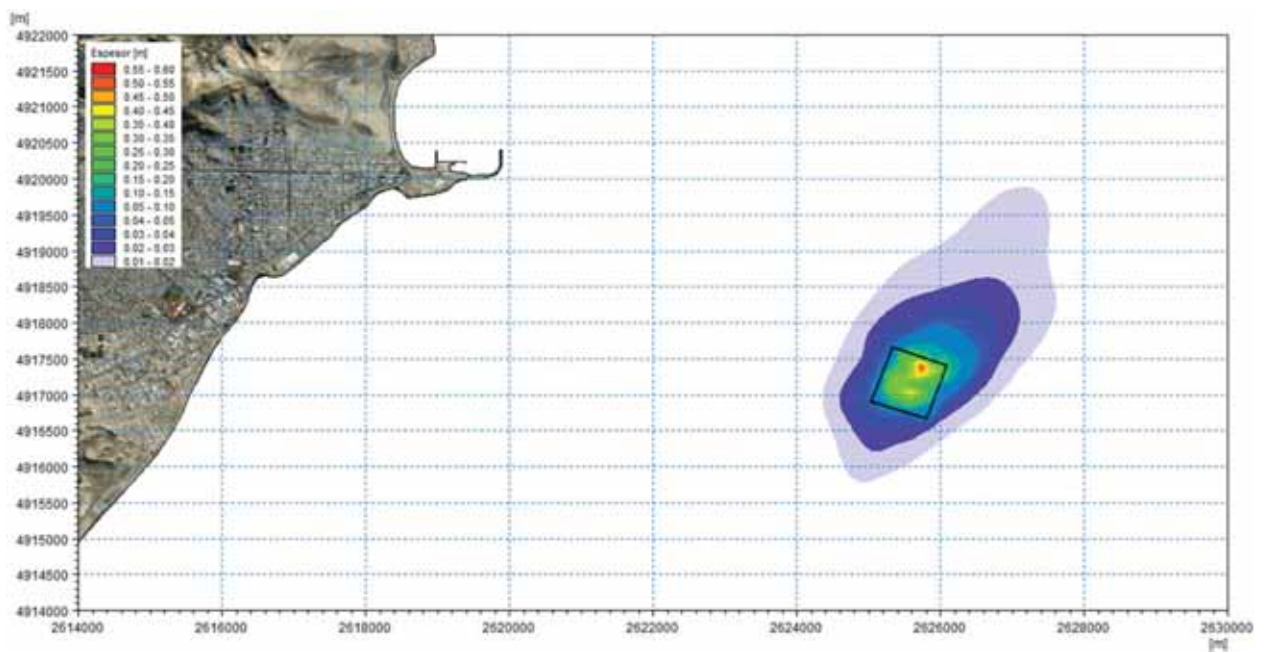


Figura 48: Espesor sobre el fondo marino del depósito de los sedimentos descargados

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se ha simulado la descarga de sedimentos en una zona ubicada a unos 6,5 km de la escollera del Puerto de Comodoro Rivadavia, consistente en un área de 800 m x 800 m de extensión, y con una secuencia de descarga alternada en una cuadrícula de 16 celdas de 200 m x 200 m de tamaño.

Los estudios realizados demuestran que las plumas de sedimentos en suspensión no afectarán zonas sensibles costeras, manteniéndose a más de 3 km de la costa bajo todas las condiciones de mareas y vientos conservativos simuladas, aun considerando concentraciones muy bajas de sedimentos en suspensión, entre 1 y 5 mg/l.

Asimismo, se estima que podría quedar sobre el lecho un depósito con un espesor medio del orden de 0,25 m en la zona de disposición, y espesores menores en el entorno.

Se recomienda que cualquiera sea la draga de succión por arrastre con cántara que se emplee, no se permita la realización de rebalse ("overflow") en el interior del área portuaria.

Asimismo, se deberá realizar un seguimiento de la posición de la draga en tiempo real, para asegurar que la misma respete la ubicación y secuencia de descarga en las celdas de la zona de descarga que se ha definido.

Asimismo, se recomienda que durante la operación de dragado se realicen algunos seguimientos puntuales de la pluma de sedimentos en suspensión con una embarcación dotada de un turbidímetro de registro continuo, así como la obtención de muestras de agua en la pluma y la determinación de la concentración de sedimentos y la turbidez en las mismas, a los efectos de efectuar una verificación de las trayectorias e intensidades reales de las plumas generadas por las operaciones de descarga. Se estima que a estos efectos sería suficiente con efectuar una campaña inicial en uno de los primeros días de dragado, y una campaña en un día al promediar el período de operación previsto.

Complementariamente, se estima conveniente que al promediar la ejecución de la obra se realice un relevamiento del área de descarga y su entorno (1,5 km x 1,5 km aproximadamente), a fin de ajustar la secuencia de descarga en caso de detectarse una irregularidad significativa en los montículos, y un relevamiento final a los efectos de dejar constancia de la configuración del lecho al terminar la obra de dragado. Para detectar la presencia de montículos, se sugiere que los relevamientos del área de descarga se realicen con perfiles espaciados cada 50 metros, cuya alineación debe ser perpendicular a la costa (aproximadamente de Oeste a Este siguiendo la orientación de los límites de la zona de descarga).