



Estudio de Impacto Ambiental para la perforación del pozo exploratorio EQN.MC.A.x-1 en CAN100

Anexo VII C – Informe de modelado de recortes de perforación

Noviembre de 2021

Proyecto No.: 0582679

Detalles del documento	
Título del documento	Estudio de Impacto Ambiental para la perforación del pozo exploratorio EQN.MC.A.x-1 en CAN100
Subtítulo del documento	Anexo VII C – Informe de modelado de recortes de perforación
Proyecto No.	0582679
Fecha	10 Noviembre 2021
Versión	2.0
Autor	Juan Bautista Allegrino
Nombre del cliente	EQUINOR ARGENTINA B.V. Sucursal Argentina

Historial del documento

Versión	Modificación	Autor	Revisado por	Aprobación de ERM para emisión		Comentarios
				Nombre	Fecha	
Borrador	0.0	Juan Bautista Allegrino	Andrea Fernández Sanday	Juan Simonelli	11 Ago 2021	Texto Borrador
1.0	0.0	Juan Bautista Allegrino	Andrea Fernández Sanday	Juan Simonelli	20 Sep 2021	
2.0	0.0	Juan Bautista Allegrino	Paula Roberts	Juan Simonelli	11 Nov 2021	

Página de firmas

Noviembre 2021

Estudio de Impacto Ambiental para la perforación del pozo exploratorio EQN.MC.A.x-1 en CAN100



Juan Simonelli
Director del proyecto



Andrea Fernández Sanday
Gerente del proyecto

ERM Argentina S.A.
Av. Monroe 5088 8º Piso, Buenos Aires
T: +54 11 5218-3900
F: +54 11 5218-3999
www.erm.com

© Derechos de autor 2021 de ERM Worldwide Group Ltd y/o sus filiales ("ERM").
Todos los derechos reservados. No se permite la reproducción o transmisión de este trabajo en ninguna forma, o por ningún medio, sin el permiso previo por escrito de ERM

ÍNDICE

1.	RESUMEN EJECUTIVO.....	3
2.	INTRODUCCIÓN	5
2.1	Antecedentes.....	5
3.	BATIMETRÍA Y DATOS OCEANOGRÁFICOS.....	6
3.1	Batimetría del Bloque CAN_100	6
3.2	Circulación regional	6
3.2.1	Corriente de Malvinas	8
3.2.2	Corriente de Brasil	9
3.2.3	Confluencia Brasil-Malvinas.....	11
3.2.4	Circulación impulsada por la marea.....	12
3.3	Conjunto de datos de corrientes oceánicas en el sitio del pozo EQN.MC.A.x-1	14
3.3.1	Corrientes de marea – Solución inversa global TOPEX/Poseidon (TPXO)	14
3.3.2	HYCOM	15
3.3.3	Conjunto de datos de corriente neta	16
3.4	Desarrollo de escenarios actuales para la perforación en el sitio del pozo EQN.MC.A.x-1	20
4.	TEMPERATURA Y SALINIDAD DEL AGUA	22
5.	METODOLOGÍA PARA MODELAR LA DISPERSIÓN DE CUTTINGS	28
5.1	Descripción del modelo de dispersión de sedimentos: MIKE 3 Particle Tracking.....	28
5.2	Programa de descarga	28
5.2.1	Descarga de datos de entrada.....	30
5.3	Configuración de cuadrícula	31
5.4	Parámetros de mezcla.....	33
5.5	Umbrales mínimos de notificación	34
6.	RESULTADOS	35
6.1	Espesor de sedimentos previsto.....	35
6.1.1	Escenario 1: Velocidad de corriente superficial máxima	35
6.1.2	Escenario 2: Velocidad de corriente superficial mínima.....	37
6.1.3	Escenario 3: Velocidad de corriente superficial media.....	39
6.1.4	Integración de resultados del modelo: escenario combinado	41
6.2	Concentraciones de SST Previstas	43
6.2.1	Escenario 1: Velocidad de corriente superficial máxima	43
6.2.2	Escenario 2: Velocidad de corriente superficial mínima.....	45
6.2.3	Escenario 3: Velocidad de corriente superficial media.....	47
6.2.4	Integración de los resultados del modelo: escenario combinado.....	49
6.3	Espesor máximo de sedimentos y SST máximos encontrados en cada escenario modelado	51
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

Lista de tablas

Tabla 3-1: Componentes de marea K_1 , M_1 , M_2 y S_2 para el sitio del pozo EQN.MC.A.x-1	14
Tabla 3-2: Excedencias para la velocidad de la corriente neta (superficie) en el sitio del pozo EQN.MC.A.x-1	19
Tabla 3-3: Excedencias para la velocidad de la corriente neta (profundidad de 100) en el sitio del pozo EQN.MC.A.x-1	19
Tabla 3-4: Excedencias para la velocidad de la corriente neta (profundidad de 500) en el sitio del pozo EQN.MC.A.x-1	19
Tabla 3-5: Excedencias para la velocidad de la corriente neta (profundidad de 1000) en el sitio del pozo EQN.MC.A.x-1	20
Tabla 3-6: Excedencias para la velocidad de la corriente neta (profundidad de 1500) en el sitio del pozo EQN.MC.A.x-1	20
Tabla 3-7: Velocidades máximas y medias de las corrientes superficiales y en el fondo para los escenarios de 60 días seleccionados para las simulaciones de dispersión.....	22
Tabla 5-1: Resumen de los volúmenes y masas estimados de los <i>cuttings</i> y lodos de perforación irrecuperables que se descargarán para cada intervalo de pozo	29
Tabla 5-2: Datos de entrada utilizados para el modelado de dispersión de lodos y <i>cuttings</i> de perforación	30
Tabla 5-3: Proporción propuesta de lodos y <i>cuttings</i> y velocidades de sedimentación para las distintas subcategorías de tamaño	31
Tabla 5-4: Umbrales para el espesor de sedimentos y concentraciones de SST para los <i>cuttings</i> de perforación y el modelado de descarga de lodos	34
Tabla 6-1: Predicción de área de cobertura en el fondo marino y distancia al pozo en función del espesor de sedimentos para la velocidad de corriente superficial máxima	35
Tabla 6-2: Área prevista de Cobertura en el fondo marino y distancia como una función del espesor de sedimentos para velocidad de corriente superficial mínima	37
Tabla 6-3: Área de cobertura prevista en el fondo marino y distancia como una función del espesor del sedimento para velocidad de corriente superficial media	39
Tabla 6-4: Área de cobertura prevista en el fondo marino y distancia como una función del espesor de sedimento	41
Tabla 6-5: Áreas de exposición previstas y distancia máxima del pozo a cada intervalo de concentración de SST para velocidad de corriente superficial máxima	43
Tabla 6-6: Áreas de exposición previstas y distancia máxima del pozo a cada intervalo de concentración de SST para velocidad de corriente superficial mínima	45
Tabla 6-7: Áreas de exposición prevista y distancia máxima desde el pozo a cada intervalo de SST para velocidad de corriente superficial media.....	47
Tabla 6-8: Áreas de exposición previstas y distancia máxima desde el pozo a cada concentración de intervalo de SST sobre la base de la evaluación colectiva de los 3 escenarios modelados.....	49
Tabla 6-9: Espesor de sedimento máximo y SST máximos encontrados en cada escenario modelado	51

Lista de figuras

Figura 2-1: Bloque CAN_100 y pozo EQN.MC.A.x-1	5
Figura 3-1: Batimetría del área del Proyecto	6
Figura 3-2: Principales corrientes en el área del Proyecto	7
Figura 3-3: Climatología de las corrientes cercanas a la superficie y la temperatura superficial del mar (SST) para el Atlántico suroeste (30°S a 60°S) para J-F-M (izquierda) y J-A-S (derecha).....	9
Figura 3-4: Climatología de las corrientes cercanas a la superficie y la temperatura superficial del mar (SST) para el Atlántico suroeste (0°S a 45°S) para J-F-M (izquierda) y J-A-S (derecha).....	10
Figura 3-5: Confluencia Brasil-Malvinas durante el invierno austral (izquierda) y verano (derecha) ...	12
Figura 3-6: Gráfico cotidal y amplitudes del componente principal de la marea lunar (M_2) cada 20°..	13
Figura 3-7: Amplitud de marea en el sitio del pozo EQN.MC.A.x-1. Las alturas se refieren al nivel medio del mar. Los datos se obtuvieron del modelo de mareas TPXO.	15

Figura 3-8: Corrientes impulsadas por las mareas en el sitio del pozo EQN.MC.A.x-1 (1994-2015) ..	15
Figura 3-9: Velocidad de corriente neta (azul), componente u de los perfiles promedio de corriente (rojo) y componente v (verde) en el sitio del pozo EQN.MC.A.x-1.	17
Figura 3-10: Rosetas de velocidad de corriente neta en el sitio del pozo EQN.MC.A.x-1 (1994-2015). Superficie (arriba a la izquierda), 100 m de profundidad (arriba a la derecha), 500 m de profundidad (centro a la izquierda), 1000 m de profundidad (centro a la derecha) y corriente en el fondo (abajo).	18
Figura 3-11: Serie de tiempo de velocidad actual (m/s) para los escenarios de 60 días seleccionados para las simulaciones de dispersión. Escenario de velocidad máxima (arriba), escenario de velocidad mínima (centro) y escenario de velocidad media (abajo)	21
Figura 4-1: Estaciones CTD de WOD18 en el área del Proyecto y en sus alrededores	23
Figura 4-2: Campos de salinidad superficial (arriba) y temperatura del agua de mar superficial (abajo) para el área del proyecto y sus alrededores.....	24
Figura 4-3: Perfiles estacionales medios de temperatura del mar para las regiones A1 (izquierda) y A2 (derecha)	25
Figura 4-4: Perfiles estacionales medios de temperatura del mar para las regiones A3 (izquierda) y A4 (área CAN_100, derecha).....	25
Figura 4-5: Perfiles estacionales medios de temperatura del mar para las regiones A5 (izquierda) y A6 (derecha).	26
Figura 4-6: Perfiles estacionales medios de salinidad para las regiones A1 (izquierda) y A1 (derecha)	27
Figura 4-7: Perfiles estacionales medios de salinidad para las regiones A3 (izquierda) y A4 (área CAN-100, derecha)	27
Figura 4-8: Perfiles estacionales medios de salinidad para las regiones A5 (izquierda) y A6 (derecha)	28
Figura 5-1: Cuadrícula empleada para calcular la concentración de lodos y <i>cuttings</i> de perforación en la columna de agua y en el lecho marino (20 km (longitud, dirección x) por 20 km (latitud, dirección y). Se muestran las coordenadas geográficas y planas (utm 21S).	32
Figura 5-2: Cuadrícula con resolución aumentada en las cercanías del sitio del pozo (punto rojo). Se muestran las coordenadas geográficas y planas (utm 21S).....	33
Figura 6-1: Cobertura prevista y espesor de sedimentos de los <i>cuttings</i> y lodos de perforación irrecuperables en el fondo marino para el escenario de velocidad de corriente superficial máxima (Escenario 1).	36
Figura 6-2: Cobertura prevista y espesor de sedimentos de los <i>cuttings</i> y lodos de perforación irrecuperables en el fondo marino para el escenario de velocidad de corriente superficial mínima (Escenario 2).	38
Figura 6-3: Cobertura prevista y espesor de sedimentos de los <i>cuttings</i> de perforación y lodos de perforación irrecuperables en el fondo marino para el escenario de velocidad de corriente superficial media (Escenario 3).	40
Figura 6-4: Espesor máximo previsto en el fondo marino, en cada celda de grilla, de los <i>cuttings</i> de perforación y lodos de perforación en el fondo marino para el escenario de evaluación colectiva de los 3 escenarios modelados (Escenario Combinado).	42
Figura 6-5: Cobertura prevista de concentraciones de SST en la columna de agua para el escenario de velocidad de corriente superficial máxima (Escenario 1)	44
Figura 6-6: Cobertura prevista de concentraciones de SST en la columna de agua para el escenario de velocidad de corriente superficial mínima (Escenario 2).	46
Figura 6-7: Cobertura prevista de concentraciones máximas de SST en la columna de agua para el escenario de velocidad de corriente superficial media (Escenario 3).	48
Figura 6-8: Cobertura prevista de concentraciones de SST máximas en cada celda de grilla basada en la evaluación de los 3 escenarios modelados (Escenario Combinado)	50

Siglas y abreviaturas

AICA	Áreas importantes para la conservación de aves
Al	Aluminio
AVHRR SST	Radiómetro avanzado de temperatura superficial del mar de muy alta resolución
CAN_100	Cuenca Argentina Norte_100
CB	Corriente de Brasil
CBM	Confluencia Brasil Malvinas
CM	Corriente de Malvinas
cm	Centímetro
COPLA	Comisión Nacional del Límite Exterior de la Plataforma Continental
CTD	Conductividad, temperatura y profundidad
DAC	Centro de ensamblaje de datos
EBSA	Áreas de relevancia biológica o ecológica
EMV	Ecosistemas marinos vulnerables
Equinor	EQUINOR ARGENTINA B.V. Sucursal Argentina
<i>et al.</i>	Et alii (y colaboradores, en latín)
EVI	Índices de valoración ecológica
Fe	Hierro
GFS	Sistema de pronóstico global
GSHHS	Base de datos global de línea costera de alta resolución, autoconsistente y jerárquica
hPa	Unidad de presión hectopascal
i.e.	Id est (es decir, en latín)
IBAT	Herramienta integrada de evaluación de la biodiversidad
IEA	Áreas ecológicamente importantes
IEO	Instituto Español de Oceanografía
INPRES	Instituto Nacional de Prevención Sísmica
IOC	Intergovernmental Oceanographic Commission
IUCN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
KBA	Áreas clave de biodiversidad
LC	Menor preocupación
LDEO	Observatorio de la Tierra Lamont Doherty
mm	Milímetros
N	Norte
NCEP	Centro Nacional de Predicción Ambiental
NGDC	Centro Nacional de Datos Geofísicos
nmi	Millas náuticas

NMWW	NOAA MULTIGRID WAVEWATCH-III
NOAA	Administración Nacional Oceánica y Atmosférica
NODC	Centro Nacional de Datos Oceanográficos
NW	Noroeste
OBIS	Sistema de Información Biogeográfica Oceánica
OCL	Laboratorio de Clima Oceánico
PNUMA-WCMC	Centro de Monitoreo de la Conservación Mundial del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
S	Sur
SDR	Reflector de inmersión hacia el mar
SFNP	Sistema Frontal Patagónico Norte
SiFAP	Sistema Federal de Áreas Protegidas
SILAM	Sistema de Modelado Integrado de Composición Atmosférica
Sv	Sverdrup
SW	Suroeste
TFZ	Zona de fractura de transferencia
Ti	Titanio
Tp	Periodo pico espectral
TW	Tropical waters
VME	Ecosistema marino vulnerable
VU	Vulnerable
WMO	Organización Meteorológica Mundial
WOD18	Base de datos oceánicos mundiales 2018
Ws	Velocidad y dirección del viento
ZEE	Zona económica exclusiva

1. RESUMEN EJECUTIVO

Antecedentes del Proyecto

EQUINOR ARGENTINA B.V. Sucursal Argentina tiene previsto perforar el pozo exploratorio EQN.MC.Ax-1 en el Bloque CAN_100, a unos 300 km aproximadamente de la costa de la provincia de Buenos Aires, y 1535 metros de profundidad de agua aproximadamente (Figura 2-1).

El pozo se perforará en cinco secciones separadas (conductor, orificio de superficie, dos orificios intermedios y un orificio de fondo), y el diámetro disminuirá al aumentar la profundidad, siendo constante en cada sección. El conductor y las secciones superficiales se perforarán como un sistema abierto (sin tubo ascendente - *riser*) y los *cuttings* de perforación (o recortes de perforación) extraídos (no se utilizarán lodos de perforación en estas secciones) se devolverán directamente al fondo marino desde la boca del pozo durante 1,71 días. Para las tres secciones inferiores, los *cuttings* y lodos de perforación de las tres secciones inferiores se llevarán a la plataforma a través del tubo ascendente para su tratamiento con un equipo de control de sólidos y se descargarán al mar durante un estimado de 8,9 días. En total, se anticipa aproximadamente 10,61 días de perforación activa para completar el pozo, cubriendo un periodo total estimado de 60 días desde el inicio de la perforación.

ERM recibió el encargo de realizar un estudio de modelado de dispersión de los recortes de perforación, como parte del proceso de evaluación de disciplina, y estudio de impacto ambiental, con el objetivo principal de cuantificar el espesor potencial del sedimento y las concentraciones de Sólidos Suspendidos Totales (SST) de los *cuttings* y descargas de lodos irre recuperables durante la actividad de perforación planificada.

Metodología

El estudio de modelado se llevó a cabo en varias etapas. En primer lugar, se generaron corrientes tridimensionales que incluyen la influencia combinada del océano y las corrientes de marea. En segundo lugar, los datos actuales y las características de descarga de los *cuttings* se introdujeron en el modelo tridimensional de dispersión de sedimentos, Trazado de Partículas (PT) MIKE 3. En tercer lugar, se predijo el movimiento y sedimentación de *cuttings* y lodos adheridos para las descargas superficiales y cercanas al lecho marino, basándose en el modelo de dispersión para tres escenarios diferentes: Corriente de superficie máxima, mínima y promedio. Los resultados de estos tres escenarios se combinaron para delinear el área más grande que puede verse influenciada por la descarga de *cuttings* y lodos de perforación.

Un espesor de 0.05 mm fue el nivel más bajo informado de espesor de sedimento acumulado. Se utilizaron umbrales de 1 a 10 mm y superiores a 10 mm para definir niveles de exposición bajos y altos (efecto biológico), respectivamente. El umbral mínimo de notificación para SST fue de 0.05 mg/l y los rangos de umbral de 10-1830 mg/l y superiores a 1830 mg/l estaban destinados a utilizarse para definir la exposición baja y alta, pero, en última instancia, nunca se alcanzaron en el presente Proyecto.

Resultados - Espesor de sedimentos

El espesor máximo en el fondo marino (altura del montículo de *cuttings*) para un escenario dado, varió entre 16.4 mm y 8.7 mm (Tabla 6-9). El área de cobertura por encima del umbral mínimo indicado de 0.05 mm estuvo entre 1.11 km² y 1.39 km².

Se integraron los resultados del modelo de los tres escenarios simulados para proporcionar una evaluación colectiva. Según esta evaluación colectiva, el área total de cobertura en el lecho marino por encima del umbral mínimo de notificación fue de 1.74 km², lo que se predijo que ocurrirá hasta una distancia máxima de 6,4 km desde el pozo. En comparación, el área de cobertura basada en los umbrales de exposición bajo (1-10 mm) y alto (> 10 mm) fue de 0,19 km² y 0,02 km², lo que equivale respectivamente al 11% y al 1% del área total de cobertura, respectivamente. La distancia máxima

desde el pozo donde la deposición del lecho marino excedió los umbrales de efectos bajos y altos fue de 1,7 km y 0,5 km, respectivamente. En todos los casos los sedimentos se depositaron a lo largo del eje SO-NE, con un claro predominio de la dirección NE, en la que se alcanzan las mayores distancias.

Resultados – sólidos suspendidos totales (SST)

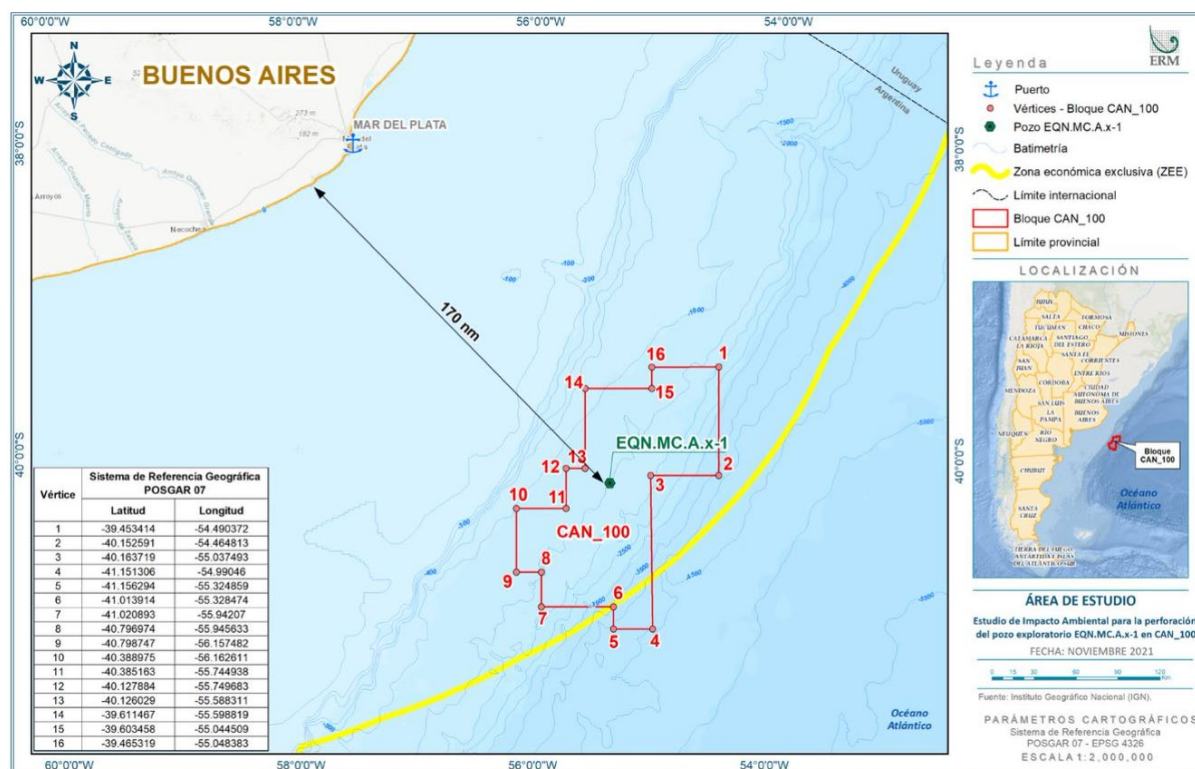
La concentración máxima instantánea de SST, independientemente del escenario simulado, fue de 2,0 mg/l, que se produjo en las inmediaciones de la salida de descarga. Los resultados de los tres escenarios simulados también se integraron para una evaluación colectiva. Esta evaluación demostró que el área de exposición por encima del umbral mínimo (0.5 mg/l) era de 0,97 km² con una distancia máxima desde el lugar de la liberación hasta este umbral de 4,8 km. Las concentraciones de SST superiores a 10 mg/l y 1830 mg/l, que se consideran umbrales de exposición baja y alta respectivamente, nunca se alcanzaron en los escenarios simulados. Al igual que sucedió con los sedimentos depositados, los SST se encontraron solo a lo largo del eje SO-NE, con un claro predominio de la dirección NE.

2. INTRODUCCIÓN

2.1 Antecedentes

EQUINOR ARGENTINA B.V. Sucursal Argentina proyecta perforar el pozo exploratorio EQN.MC.A.x-1 en el Bloque CAN_100, que se ubica frente a la costa de la provincia de Buenos Aires, en el Margen Continental Argentino, más precisamente en la cuenca marina Colorado, dentro de la Cuenca Argentina Norte. Se extiende aproximadamente entre 39.5°S y 41.2°S y entre 54.5°O y 56.2°O. Está circunscrito casi en su totalidad a la Zona Económica Exclusiva Argentina (ZEE), aproximadamente a 300 km de la costa más cercana (Figura 2-1). Las coordenadas geográficas del pozo de exploración EQN.MC.A.x-1 (WGS84) son:

- Latitud: 40 ° 13 '13.98 "S
- Longitud: 055 ° 22 '34.73 "O



Fuente: ERM, 2021

Figura 2-1: Bloque CAN_100 y pozo EQN.MC.A.x-1

El pozo se perforará en cinco secciones o intervalos. Los *cuttings* de dos intervalos de pozos de superficie (conductor y pozo de superficie) se descargarán directamente al lecho marino durante la perforación sin tubo ascendente. Mientras que los *cuttings* y los lodos de perforación de los tres intervalos inferiores (orificios intermedios y orificio en el fondo) se llevarán al buque a través del tubo ascendente para su tratamiento en el equipo de control de sólidos y los *cuttings* se descargarán al mar.

ERM recibió el encargo de realizar un estudio de modelado de dispersión, como parte del proceso de gestión ambiental y estudio de impacto, con el objetivo principal de cuantificar el espesor potencial del sedimento y las concentraciones de Sólidos Suspendedos Totales (SST) de los *cuttings* y descargas de lodos irrecuperables durante la actividad de perforación planificada.

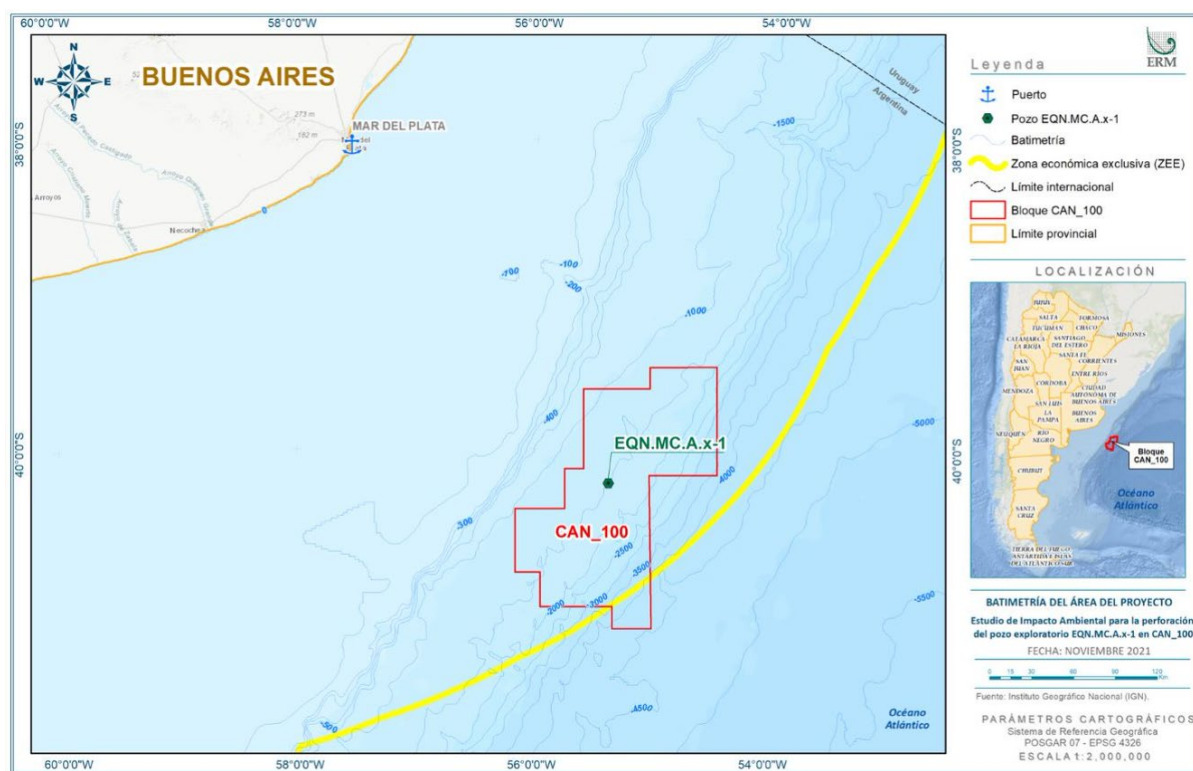
El estudio de modelado se llevó a cabo en varias etapas. En primer lugar, se generaron corrientes tridimensionales que incluyen la influencia combinada del océano y las corrientes de marea. En segundo lugar, los datos actuales y las características de descarga de los *cuttings* se introdujeron en el modelo tridimensional de dispersión de sedimentos, Trazado de Partículas (PT) MIKE 3. En tercer

lugar, se predijo el movimiento y sedimentación inicial de *cuttings* y lodos adheridos para las descargas superficiales y cercanas al lecho marino, basándose en el modelo de dispersión para tres escenarios diferentes: Corriente de superficie máxima, mínima y promedio. Los resultados de estos tres escenarios se combinaron para delinear el área más grande que puede verse influenciada por la descarga de *cuttings* y lodos de perforación.

3. BATIMETRÍA Y DATOS OCEANOGRÁFICOS

3.1 Batimetría del Bloque CAN_100

Las profundidades en el área varían entre 1000 m y 4500 m en las zonas más profundas. Dentro del bloque en la parte central, predominan profundidades entre 1000 m y 2000 m, siendo la profundidad en el sitio del Pozo EQN.MC.A.x-1 de 1535 m. En la parte occidental del bloque, las isobatas siguen la dirección general del litoral, con un gradiente de profundidad moderado y profundidades que van desde los 1000 m a los 1500 m, mientras que la parte oriental tiene las mayores profundidades, con valores cercanos a los 4500 m.



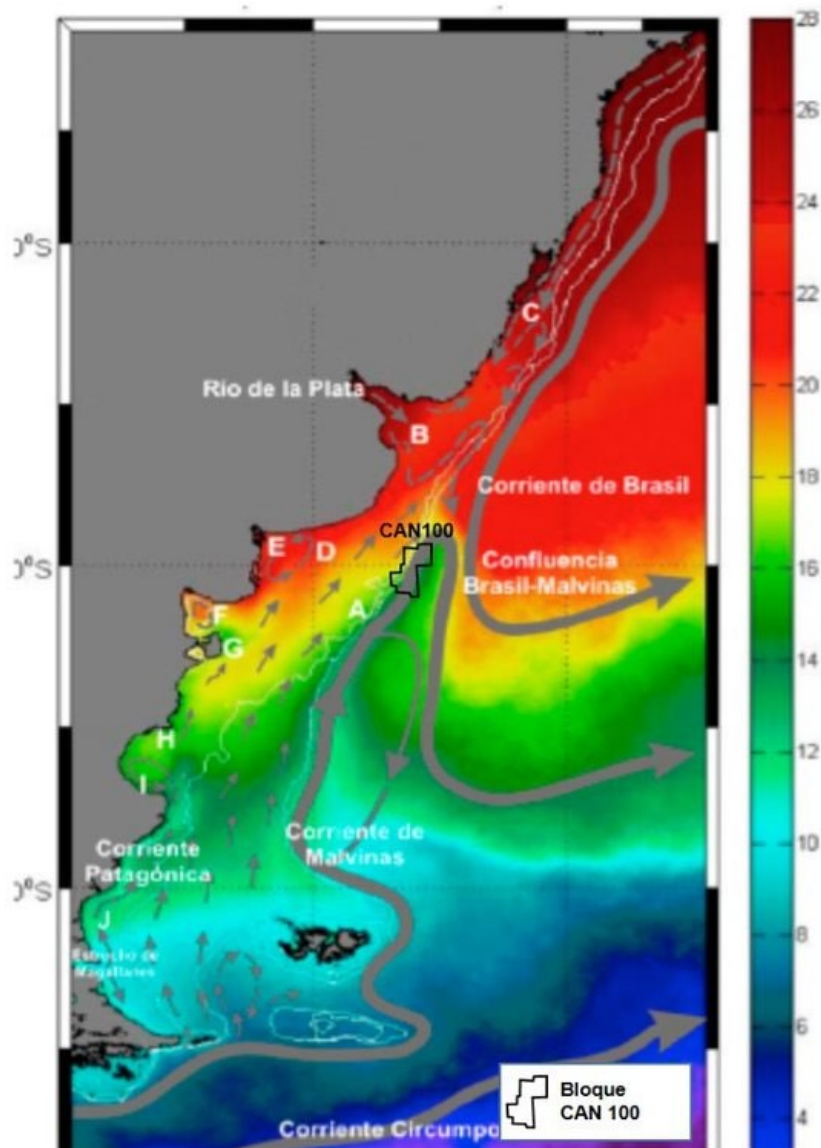
Fuente: ERM, 2021, basado en datos de GEODAS.

Figura 3-1: Batimetría del área del Proyecto

3.2 Circulación regional

La circulación oceánica sobre la plataforma atlántica suroeste está influenciada por grandes amplitudes de marea, descargas sustanciales de agua dulce, altas velocidades del viento y, lo que es más importante, por su proximidad a dos de las corrientes fronterizas occidentales más grandes del océano mundial: las corrientes de Brasil y Malvinas. La circulación de plataforma consiste en un flujo de aguas frías hacia el norte en el sur y un flujo de aguas cálidas hacia el sur en el norte (Piola et al., 2000;

Palma et al., 2008) (Figura 3-2). La circulación profunda se caracteriza por los flujos opuestos y la confluencia de las corrientes de Brasil y Malvinas (Gordon, 1989).



Fuente: ERM 2020, adaptado de Piola y Matano (2001)

Figura 3-2: Principales corrientes en el área del Proyecto

La Figura 3-2 muestra un diagrama esquemático de la circulación en el Océano Atlántico suroeste. La línea blanca indica la posición de la isobata de 200 m. Los colores sombreados muestran la temperatura media de la superficie del mar de enero para el periodo 2003-2019 (Aqua MODIS <https://oceandata.sci.gsfc.nasa.gov>). Las letras mayúsculas indican la posición media de los principales frentes oceánicos: A: Frente de talud, B: Frente Río de la Plata, C: Frente subtropical, D: Frente de la plataforma media, E: Frente estuarial El Rincón, F: Frente termohalino Golfo San Matías G: Sistema frontal Península Valdés, H: Porción Sur del sistema frontal Península Valdés, I: Sistema frontal Patagonia Austral, J: Sistema frontal Patagonia Sur - Bahía Grande. La ubicación de los frentes se extrajo de Sabatini y Martos (2002), Acha et al. (2004), Bogazzi et al. (2005).

Las corrientes en el área del Proyecto tienen básicamente tres componentes principales: las corrientes de marea, el brazo occidental de la Corriente de Malvinas (CM) que pasa entre el continente y las islas,

y la Corriente Brasil (CB) que ingresa al sistema desde el norte hasta su encuentro con la Corriente de Malvinas en la Zona de Confluencia.

3.2.1 Corriente de Malvinas

La Corriente de Malvinas es una rama de la Corriente Circumpolar y fluye hacia el Norte a lo largo de la plataforma continental de Argentina hasta llegar a la Corriente Brasil frente a la costa del estuario del Río de la Plata (Legeckis y Gordon 1982, Garzoli 1993, Vivier y Provost 1999a). Legeckis y Gordon (1982) examinaron imágenes infrarrojas de satélite y describieron la Corriente de Malvinas como una banda de agua fría de 100 km de ancho sobre el talud continental. El límite occidental de la temperatura superficial del mar (TSM) de la corriente era adyacente a las aguas de la plataforma continental, el límite norte estaba marcado por la cálida Corriente de Brasil y el límite oriental se encontraba entre las frías Malvinas y el agua cálida que resulta de la mezcla de meandros y remolinos de núcleo cálido asociados con la Corriente de Brasil. La Corriente de Malvinas es fuerte, relativamente fresca y fría, con una TSM media de 6°C (Brandini et al. 2000). Por lo tanto, cuando se encuentra con la Corriente de Brasil débil, cálida y que fluye hacia el sur en la confluencia Brasil-Malvinas, se puede observar un fuerte gradiente de temperatura y salinidad (Goni 1996).

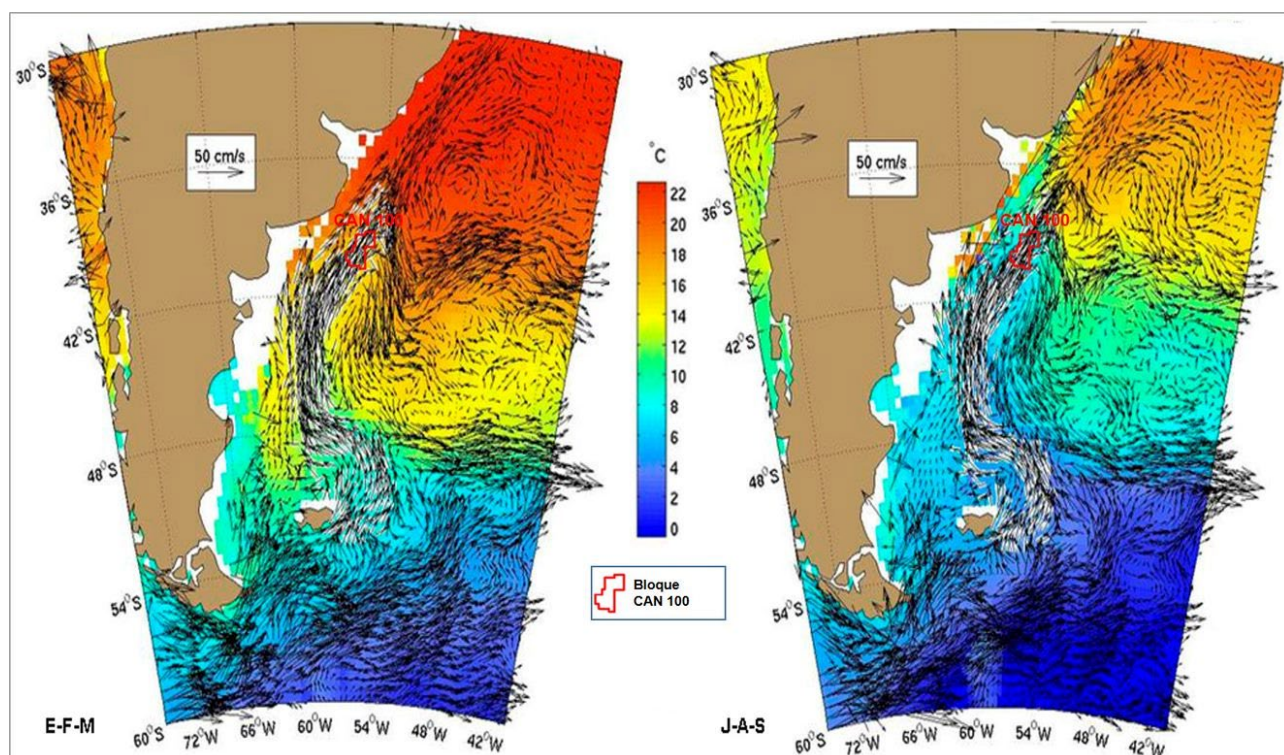
En base a datos hidrográficos, se cree que la Corriente de Malvinas tiene un fuerte componente barotrópico y que está muy mezclada (Peterson y Stramma 1990, Vivier y Provost 1999a). También se piensa que la corriente tiene velocidades en el fondo significativas distintas de cero, afirmación que fue verificada directamente por Harkema y Weatherly (1989). Sus medidores de corriente en el fondo midieron velocidades de hasta 10 cm.s⁻¹ (Garzoli 1993). Ambos factores deben tenerse en cuenta al calcular los valores de transporte utilizando un nivel de referencia sin movimiento.

Las estimaciones del volumen de transporte de la Corriente de Malvinas varían ampliamente en la literatura, dependiendo del nivel de referencia que se elija (Garzoli 1993). Por ejemplo, utilizando un nivel de referencia de 1000 m a 38°S, Garzoli (1993) obtuvo un transporte de aproximadamente 24 Sv. Usando un nivel de referencia de 1400 m a 42°S y 46°S, Gordon y Greengrove (1986) obtuvieron valores de 10 Sv en ambas ubicaciones, aunque creían que este valor representaba el límite inferior del flujo real. Piola y Bianchi (1990), utilizando 1000 m como referencia, encontraron 10-12 Sv. Con un nivel de referencia de 3000 m a 42°S, Peterson (1992) encontró 60 Sv en los primeros 2000 m y 75 Sv en total, mientras que a 46°S encontró 70 Sv en los primeros 2000 m y 88 Sv en total. Escogiendo el fondo como su nivel de referencia a 45°S, Saunders y King (1995) calcularon 50 Sv en la termoclina y 60 Sv en total (Maamaatuaiahutapu et al. 1998). Vigan et al. (2000) notaron que los valores del transporte disminuyeron de Sur a Norte. En particular, las observaciones entre 40°S y 38°S se desplomaron desde aproximadamente 20 ± 5 Sv a cero. Atribuyen esto al hecho de que la Corriente de Malvinas regresa al sur en estas latitudes. Por lo tanto, la ubicación de las observaciones, en relación con la ubicación y orientación tanto del núcleo de alta velocidad de la Corriente de Malvinas como de su flujo de retorno, también puede explicar parte de la variabilidad en las estimaciones de transporte.

Las mediciones directas de la velocidad de la Corriente de Malvinas son escasas. Según Peterson (1992), las boyas a la deriva (conocidas como *drifters*) en la Corriente de Malvinas viajan a unos 40 cm s⁻¹. Garzoli (1993) encontró valores de velocidad geostrófica de 102 cm s⁻¹ a 36.5°S y -61 a -62 cm s⁻¹ a 36.6°S que estaban asociados con la Corriente de Malvinas que fluye hacia el Norte y el flujo de retorno hacia el Sur, respectivamente. El flujo a lo largo de la plataforma de la Corriente de Malvinas es muy variable de un año a otro y no parece tener un ciclo anual o incluso semestral. Sin embargo, hay indicios de energía significativa en periodos de aproximadamente 135 días (Vivier y Provost 1999a, 1999b). Por otro lado, el flujo transversal (perpendicular a la costa) muestra claramente un ciclo anual que está asociado con la posición del frente subantártico (Vivier y Provost 1999a).

La Figura 3-3 muestra las velocidades medias estacionales de las corrientes cercanas a la superficie y la temperatura superficial del mar (TSM) para el Atlántico suroeste (30°S a 60°S), según la climatología obtenida con una resolución espacial de un cuarto de grado derivada de observaciones

de boyas a la deriva en la superficie rastreadas por satélite del centro de ensamblaje de datos (DAC) del Programa Global Drifter.



Fuente: Centro de ensamblaje de datos, Programa Global Drifter, 2021. Modificado por ERM, 2021

Figura 3-3: Climatología de las corrientes cercanas a la superficie y la temperatura superficial del mar (SST) para el Atlántico suroeste (30°S a 60°S) para J-F-M (izquierda) y J-A-S (derecha)

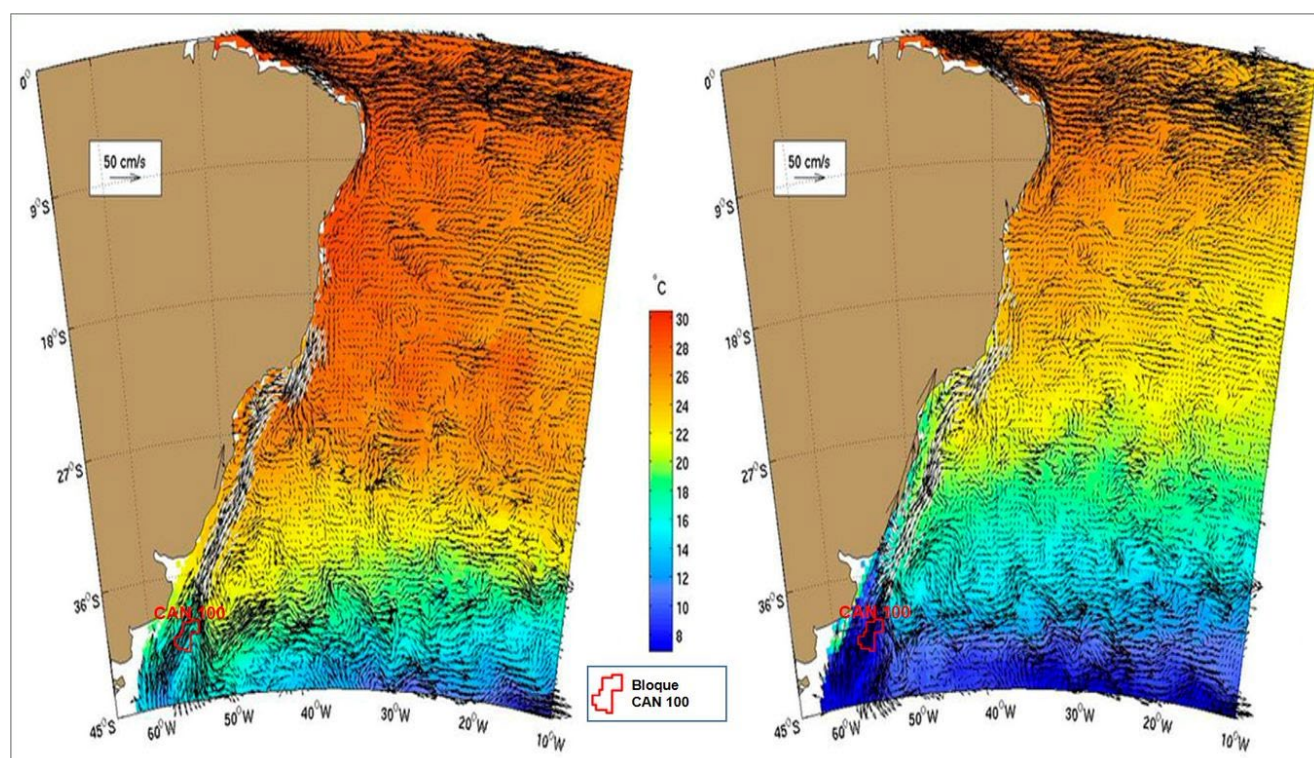
3.2.2 Corriente de Brasil

La Corriente de Brasil es una Corriente de límite occidental que transporta agua subtropical cálida, que corre hacia el Sur a lo largo de la costa de Brasil desde aproximadamente 9°S hasta aproximadamente 38°S y generalmente se limita a los 600 m superiores de la columna de agua. Su origen comienza donde la Corriente Ecuatorial del Sur (SEC) transatlántica que fluye hacia el Oeste, se bifurca a medida que se acerca a la plataforma continental frente al Cabo de Sao Roque, Brasil (Stramma et al., 1990; Podesta et al., 1991). El agua de la SEC que fluye hacia el Norte se convierte en la Corriente del Norte de Brasil, y la rama que fluye hacia el Sur se convierte en la Corriente de Brasil (CB).

La Corriente de Brasil comienza aproximadamente a 10°S, separándose ligeramente de la costa cerca de 12°S, donde la plataforma continental se ensancha (Peterson y Stramma, 1990; Stramma et al., 1990). Las imágenes de satélite tomadas durante tres años (1984-1987) muestran que el punto real en el que la CB se separa de la plataforma continental varía entre 33°S-38°S, con un promedio de alrededor de 36°S (Olson et al., 1988; Podesta et al., 1991). La CB continúa fluyendo hacia el Sur frente a la costa brasileña hasta que alcanza aproximadamente 33-38°S, cuando choca con la Corriente de Malvinas que fluye hacia el Norte. La CB se desvía entonces, en parte, hacia el Este frente a la costa del Río de la Plata, en la Zona de Confluencia Brasil-Malvinas (CBM), una de las regiones más energéticas de todos los océanos (Saraceno et al., 2004).

El transporte de la Corriente de Brasil se considera pequeño en comparación con el de la Corriente del Golfo, su contraparte en el Atlántico Norte. El problema al estimar el transporte del CB es que en su

región norte, es poco profundo y está muy confinado a la plataforma continental. Se han observado valores de transporte entre 5 Sv y 6.5 Sv cerca de las aguas superficiales (500 m superiores) de la CB alrededor de 20°S (Peterson y Stramma, 1990; Stramma et al., 1990). Aproximadamente a 20,5°S, la corriente se encuentra con la cordillera Vitoria-Trindade, una cadena de montes submarinos zonal donde se ha observado que fluye a través del pasaje costero en lugar de los pasajes más al este. En esta región, se ha observado un giro ciclónico hacia el mar de la Corriente de Brasil, centrado a aproximadamente 17°S y 34°O, que se atribuye a los meandros más australes de la Corriente Ecuatorial del Sur que se reflejan hacia el norte por esta misma cadena de montes submarinos (Memery et al., 2000; Stramma et al., 1990). Aproximadamente a 20.5°S, cerca de la cadena de montes submarinos, la corriente fluye a unos 50-60 cm s⁻¹ según lo estimado por Evans et al., 1983. A medida que la Corriente de Brasil fluye al Sur de 24°S, su flujo se intensifica en aproximadamente 5% cada 100 km, lo que es similar a la tasa de crecimiento en la Corriente del Golfo, aunque los valores de transporte en la CB son considerablemente menores (Peterson y Stramma, 1990). Así, a aproximadamente 33°S el transporte total (que incluye una celda de recirculación en los 1400 m superiores) es de aproximadamente 18 Sv, y alcanza valores de 19-22 Sv a aproximadamente 38°S, donde se encuentra con la Corriente de Malvinas. La latitud media de separación entre la CB y la quebrada de la plataforma es de aproximadamente 35.8°S ± 1.1° y para la Corriente de Malvinas, la latitud media de separación es de 38.9°S ± 0.9°. Los rangos costeros de las posiciones de separación están a 950 km y 850 km, respectivamente. También se ha observado cierta variabilidad a corto plazo en la extensión hacia el sur de la CB. Ocasionalmente, cuando se retira un meandro de la CB que se ha extendido inusualmente hacia el Sur, puede arrojar una serie de torbellinos de núcleo cálido que migran hacia la Corriente Circumpolar Antártica (Partos y Piccolo, 1988).



Fuente: Centro de ensamblaje de datos, Programa Global Drifter, 2021. Modificado por ERM, 2021

Figura 3-4: Climatología de las corrientes cercanas a la superficie y la temperatura superficial del mar (SST) para el Atlántico suroeste (0°S a 45°S) para J-F-M (izquierda) y J-A-S (derecha)

La Figura 3-4 muestra las velocidades medias estacionales de las corrientes cercanas a la superficie y la temperatura superficial del mar (TSM) para el Atlántico suroeste (0°S a 45°S), según la climatología obtenida con una resolución espacial de un cuarto de grado derivada de observaciones de boyas a la deriva en la superficie rastreadas por satélite del centro de ensamblaje de datos (DAC) del Programa Global Drifter.

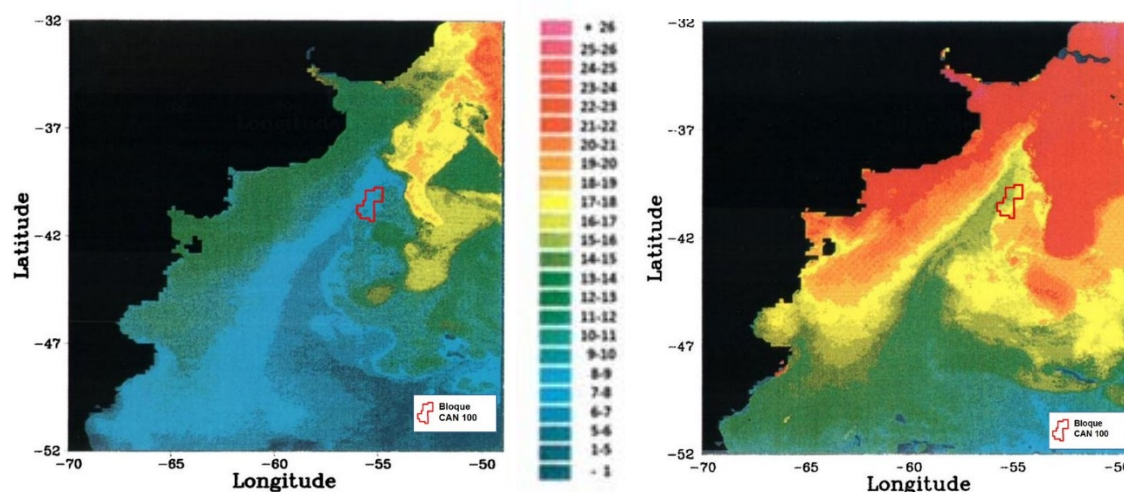
En promedio, la temperatura en la Corriente de Brasil es de aproximadamente 18°C - 28°C , con esencialmente tres zonas meridionales que experimentan varios grados de fluctuaciones anuales de temperatura claramente diferentes, lo que corresponde a su proximidad a la costa. La primera zona está ubicada sobre la plataforma y experimenta una variabilidad de temperatura de 7 a 10 grados, que está controlada tanto por las invasiones invernales de agua subantártica de la Corriente de Malvinas como por las descargas del Río de la Plata y Patos-Mirim. La segunda parte o parte central, más cercana al margen este de la plataforma continental, experimenta una variación de 5-7 grados. La tercera, en la zona más hacia el mar, muestra poca fluctuación hasta la Confluencia (Memery, et al., 2000; Zavialov et al., 1999). Las temperaturas en la sección sur de la corriente, cerca de la Confluencia, pueden cambiar de 5 a 13 grados, con temperaturas más frías ocurriendo alrededor de agosto-septiembre y los valores más cálidos observados en febrero. Casi anualmente ocurren anomalías de temperatura de los frentes cálidos y fríos que parecen estar relacionadas con los eventos de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). Las extensiones anómalas de agua fría hacia el Norte ocurren en la plataforma generalmente un año después de cada evento ENOS cálido, y las extensiones anómalas de agua cálida ocurren generalmente un año después de cada ENOS frío (Lentini et al., 2001). Las salinidades superficiales indicativas de las aguas de la Corriente de Brasil varían entre 35,1 y 36,2, con el máximo comúnmente encontrado alrededor de 20°S , donde puede alcanzar una salinidad de 37,3 (Memery et al., 2000; Wilson & Rees, 2000).

3.2.3 Confluencia Brasil-Malvinas

La Confluencia Brasil-Malvinas (CBM) es una de las características más importantes del Océano Atlántico Sur. La confluencia de aguas cálidas y salinas de la Corriente de Brasil (CB) con las aguas frías y menos salinas de la Corriente de Malvinas (CM) provoca una fuerte región frontal termohalina, denominada Confluencia Brasil-Malvinas (CBM) en la que se divide la CB en dos ramas, una que gira hacia el norte formando una celda de recirculación, mientras que la otra continúa hacia el sur y se desvía hacia el noreste a unos 45°S , convirtiéndose en la Corriente del Atlántico Sur (Boebel et al., 1999; Saraceno et al., 2004).

Se ha calculado que el transporte medio en esta región es de aproximadamente 11 Sv (Garzoli y Bianchi, 1987). Las velocidades máximas en la confluencia (aproximadamente a 38°S) alcanzan los 55 cm s^{-1} con el valor promedio de 35 cm s^{-1} con transportes de 18 y 11 Sv respectivamente.

El rango de la Confluencia oscila entre aproximadamente 54°W y 45°W , una distancia total de aproximadamente 770 km (a 38°S). Los meandros parecen ocurrir en un ciclo de doce meses y probablemente se correlacionan con cambios en la latitud de separación de la Corriente de Brasil (Boebel et al., 1999; Garzoli y Bianchi, 1987; Maamaatuaiahutapu et al., 1999; Zavialov et al., 1999). Se estima que la velocidad media del frente es de unos 14 cm s^{-1} .



Fuente: ERM, 2021, adaptado de Provost et al. 1992

Figura 3-5: Confluencia Brasil-Malvinas durante el invierno austral (izquierda) y verano (derecha)

Esta región experimenta fluctuaciones meridionales de varios cientos de kilómetros (Olson et al., 1988), afectando en mayor o menor medida el área de estudio. En la escala de tiempo anual, la variabilidad de la CBM se caracteriza por un desplazamiento hacia el norte del frente termohalino durante el invierno austral y un desplazamiento hacia el sur durante el verano austral (Piola et al., 2011). Se presume que esta estacionalidad está relacionada con el cambio estacional general de los sistemas de viento y el cambio meridional estacional del giro subtropical (Peterson y Stramma, 1991). El frente oscila alrededor de su posición estacional media, más al norte y al este durante el invierno austral y más al sur y al oeste durante el verano austral, en un periodo de aproximadamente un mes y una amplitud que varía de 10 a 50 km por día.

Este comportamiento se puede observar en la Figura 3-5, que muestra los campos de temperatura superficial del mar en la zona de confluencia para el invierno y el verano australes. Durante los meses de invierno, el frente termohalino se ubica hacia el norte del Área del Proyecto, mientras que durante los meses de verano se desplaza hacia el sur afectando la mayor parte del área.

La velocidad media del desplazamiento del frente alcanza valores de hasta 10 km/día (Garzoli y Bianchi, 1987). Esta área también es rica en torbellinos, más a menudo llamados Anillos de la Corriente de Brasil, con un promedio de alrededor de 7-9 anillos por año. Estos anillos elípticos pueden variar en tamaño de aproximadamente 56 a 225 km a lo largo del eje semi-mayor y de 23 a 108 km para el eje semi-menor. Estos anticiclones tienen una vida media de aproximadamente 35 días y velocidades de traslación entre 4 y 27 km por día (Lentini et al., 2002).

3.2.4 Circulación impulsada por la marea

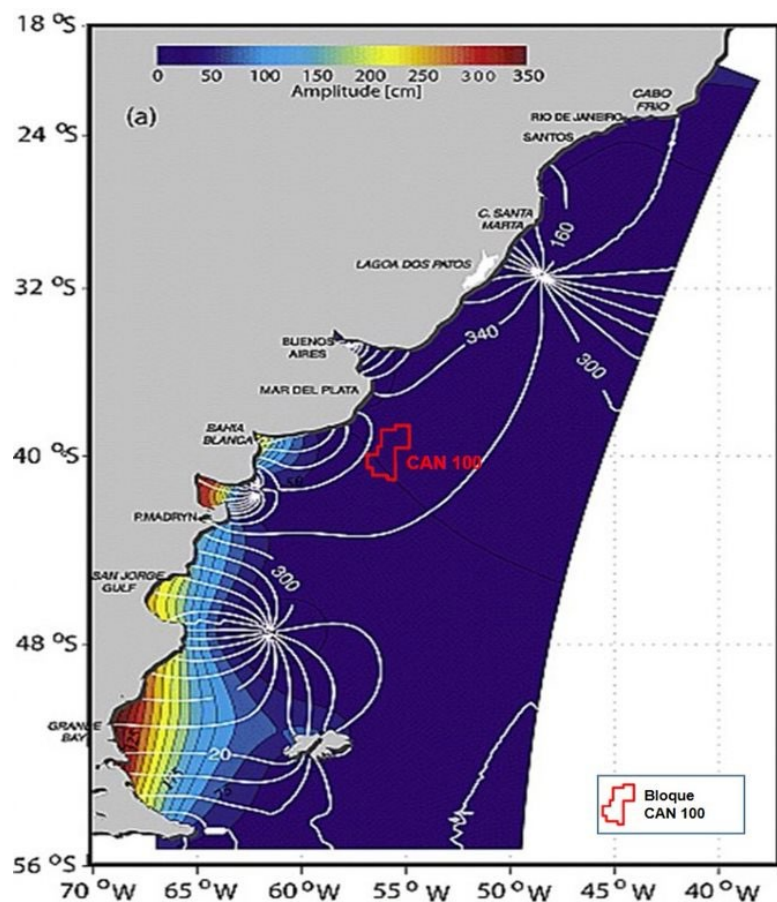
En el Mar Argentino se puede admitir la existencia de dos poderosas olas de marea con un régimen predominantemente semidiurno. Una ola progresiva, proveniente de la confluencia Atlántico-Pacífico, ingresa al Atlántico pasando entre el continente y las Islas Malvinas, para propagarse por todo el litoral hasta San Clemente del Tuyú en aproximadamente 26 horas.

La otra es una onda estacionaria que se genera por refracción en el talud continental e interfiere con la anterior simultáneamente a lo largo de toda la plataforma, dando lugar a la formación de dos sistemas anfidiométricos, uno frente a Puerto Deseado y otro frente a San Blas (Balay, 1955).

La circulación generada por las corrientes de marea en el Mar Argentino se puede caracterizar por la amplitud y fase del armónico principal (M_2), la tasa de disipación de las mareas (que representa la magnitud de las corrientes residuales) y los flujos de energía de las mareas. El armónico M_2 es parte del sistema anfidiométrico ubicado en la proximidad del meridiano de Greenwich y 60°S. Se propaga del

suroeste hacia el noreste y su amplitud disminuye, por efectos de fricción, desde un máximo de 4 m en la Bahía Grande a menos de 30 cm al norte de Bahía Blanca. Los máximos locales se observan en el Golfo San Matías, la Bahía Blanca y la cabecera del estuario del Río de la Plata.

La distribución de fases sobre la Plataforma Patagónica se caracteriza por anfídomos cerca de 47°S 62°W, la Bahía de San Blas y la costa sur de las Islas Malvinas. Las mayores corrientes de M_2 (no mostradas) se observan en la parte sur de la plataforma patagónica con valores máximos superiores a 1,5 m/s en regiones de fuerte convergencia (por ejemplo, la Bahía Grande). Las corrientes K_1 son generalmente más débiles que las corrientes M_2 , excepto en la parte sur de la plataforma exterior ($100 < z < 200$ m), donde ambos armónicos tienen amplitudes comparables. La intensificación en alta mar de las corrientes de marea diurnas se ha atribuido a su resonancia con las olas de la plataforma continental (Palma et al., 2004).



Fuente: Palma et al., 2004

Figura 3-6: Gráfico cotidal y amplitudes del componente principal de la marea lunar (M_2) cada 20°.

Para clasificar la marea, es común utilizar el factor F , que se obtiene por el cociente entre la suma de las ondas diurnas K_1 y O_1 y las ondas semidiurnas M_2 y S_2 . Si el resultado obtenido es un número menor que 1, predominan los componentes semi-diurnos y si es mayor que 1, predominan los componentes diurnos. En 1938, Courtier propuso clasificar la marea en cuatro tipos según el valor de F .

A partir del valor obtenido para F con datos en la ($F = 0.67$), se concluyó que el régimen de mareas en la región del Bloque CAN-100 es predominantemente semidiurno mixto según la clasificación de Courtier (1938).

Tabla 3-1: Componentes de marea K_1 , M_1 , M_2 y S_2 para el sitio del pozo EQN.MC.A.x-1

Componente	Amplitud (m)
K_1	0,0551
O_1	0,1051
M_2	0,1959
S_2	0,0415

Fuente: ERM 2021, con datos del modelo de mareas TPXO

3.3 Conjunto de datos de corrientes oceánicas en el sitio del pozo EQN.MC.A.x-1

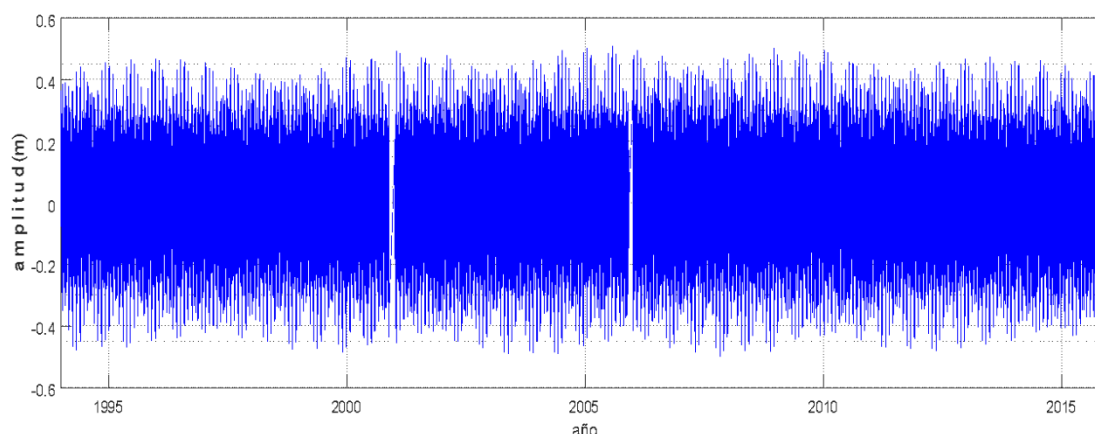
Las corrientes son una de las fuerzas ambientales más importantes para la trayectoria y el destino de las descargas de perforación. Para simular la circulación oceánica en el área del proyecto, se utilizaron corrientes variadas verticalmente y en el tiempo del modelo oceánico coordinado híbrido (HYCOM; Bleck, 2002) producido por la Marina de los Estados Unidos en combinación con el forzamiento de mareas TPXO8.0. A continuación, se proporciona una descripción general de cada conjunto de datos.

3.3.1 Corrientes de marea – Solución inversa global TOPEX/Poseidon (TPXO)

Los modelos de mareas TPXO de la Universidad Estatal de Oregón (OSU) son una serie de modelos totalmente globales de mareas oceánicas, obtenidos con métodos descritos en detalle por Egbert, Bennett y Foreman (1994) y más adelante por Egbert y Erofeeva (2002). Estos métodos se implementaron en el paquete de software OTIS (OSU Tidal Inversion Software) mediante la asimilación de altimetría satelital y, a veces, otros datos. Los modelos globales TPXO de marea barotrópica, tienen mejor ajuste, en un sentido de mínimos cuadrados, con las ecuaciones de marea de Laplace y los datos altimétricos. Cada modelo siguiente de la serie TPXO se basa en batimetría actualizada y asimila más datos en comparación con las versiones anteriores.

La solución del modelo TPXO 8.0 incluye amplitudes complejas de elevaciones y transportes/corrientes de la superficie del mar relativas a MSL para ocho primarios (M_2 , S_2 , N_2 , K_2 , K_1 , O_1 , P_1 , Q_1), dos periodos largos (M_f , M_m) y 3 constituyentes armónicos no lineales (M_4 , MS_4 , MN_4), en una cuadrícula global completa de 1440 x 721 con resolución de $\frac{1}{4}$ de grado por $\frac{1}{4}$ de grado. El forzamiento de las mareas se almacena como una constante armónica.

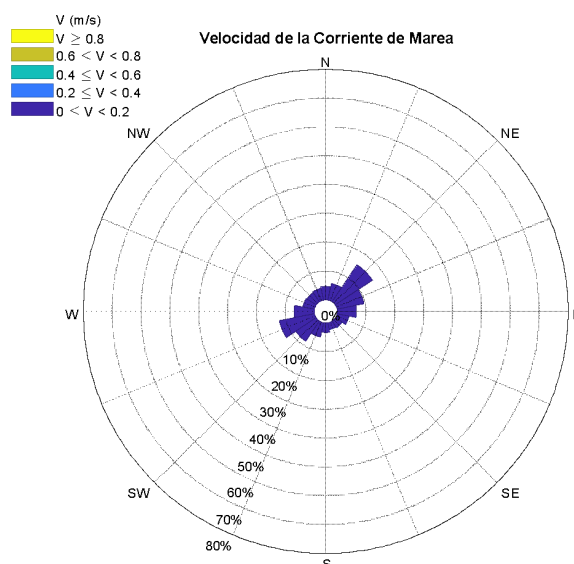
La Figura 3-7 muestra la amplitud de la marea referida al nivel medio del mar (MSL) en el sitio del pozo EQN.MC.A.x-1, derivado del modelo de marea TPXO8.0. La amplitud media de la marea, en este periodo, fue 0,38 m con una amplitud máxima de 0,93 m.



Fuente: ERM, 2021 del modelo de mareas TPXO.

Figura 3-7: Amplitud de marea en el sitio del pozo EQN.MC.A.x-1. Las alturas se refieren al nivel medio del mar. Los datos se obtuvieron del modelo de mareas TPXO.

Las corrientes de marea promediadas en profundidad para las simulaciones de dispersión se derivaron para el periodo 1994-2015 en el sitio del pozo EQN.MC.A.x-1, utilizando el modelo TPXO8.0. Las corrientes impulsadas por la marea en coincidencia con la pequeña amplitud de la marea observada fueron muy bajas. La velocidad media en este periodo fue 0,0078 m/s con una velocidad máxima de 0,0238 m/s, mostrando que la contribución de las corrientes de marea a la corriente total es mínima. La Figura 3-8 muestra el gráfico de rosetas de la velocidad actual frente a la dirección. Se puede observar la reversibilidad típica de la corriente de marea.



Fuente: ERM 2021, con datos del modelo de mareas TPXO

Figura 3-8: Corrientes impulsadas por las mareas en el sitio del pozo EQN.MC.A.x-1 (1994-2015)

3.3.2 HYCOM

HYCOM (modelo oceánico de coordenadas híbridas) es un modelo de circulación general, de ecuación primitiva. Las coordenadas verticales son isopícnicas en el océano abierto y estratificado, pero usan la ecuación de continuidad en capas para hacer una transición dinámicamente suave a las coordenadas

de seguimiento del terreno en las regiones costeras poco profundas y a las coordenadas de nivel z en la capa mixta y/o mares no estratificados.

La coordenada híbrida es una que es isopícnica en el océano abierto y estratificado, pero vuelve suavemente a una coordenada de seguimiento del terreno en las regiones costeras poco profundas y a las coordenadas de nivel z en la capa mixta y/o mares no estratificados. La coordenada híbrida extiende el rango geográfico de aplicabilidad de los modelos tradicionales de circulación de coordenadas isopínicas (la base del presente código híbrido), hacia mares costeros poco profundos y partes no estratificadas del océano mundial. En HYCOM, a cada superficie de coordenadas se le asigna una isopícnica de referencia. El modelo comprueba continuamente si los puntos de la cuadrícula se encuentran o no en sus isopínicas de referencia y, en caso contrario, intenta moverlos verticalmente hacia estas últimas. Sin embargo, los puntos de la cuadrícula no pueden migrar cuando esto daría lugar a un apiñamiento excesivo de las superficies de coordenadas. Por lo tanto, en aguas poco profundas, los puntos verticales de la cuadrícula están restringidos geoméricamente para permanecer a una profundidad fija mientras se les permite unirse y seguir sus isopínicas de referencia sobre el océano profundo adyacente.

En la capa mixta, los puntos de la cuadrícula se colocan verticalmente para que se produzca una transición suave de cada interfaz de capa de una superficie isopícnica a una de profundidad constante donde la interfaz aflora en la capa mixta. Por lo tanto, HYCOM se comporta como un modelo sigma convencional en regiones oceánicas muy poco profundas y/o no estratificadas, como un modelo de coordenadas de nivel z en la capa mixta u otras regiones no estratificadas, y como un modelo de coordenadas isopínicas en regiones estratificadas. Al hacerlo, el modelo combina las ventajas de los diferentes tipos de coordenadas para simular de manera óptima las características de la circulación costera y en mar abierto.

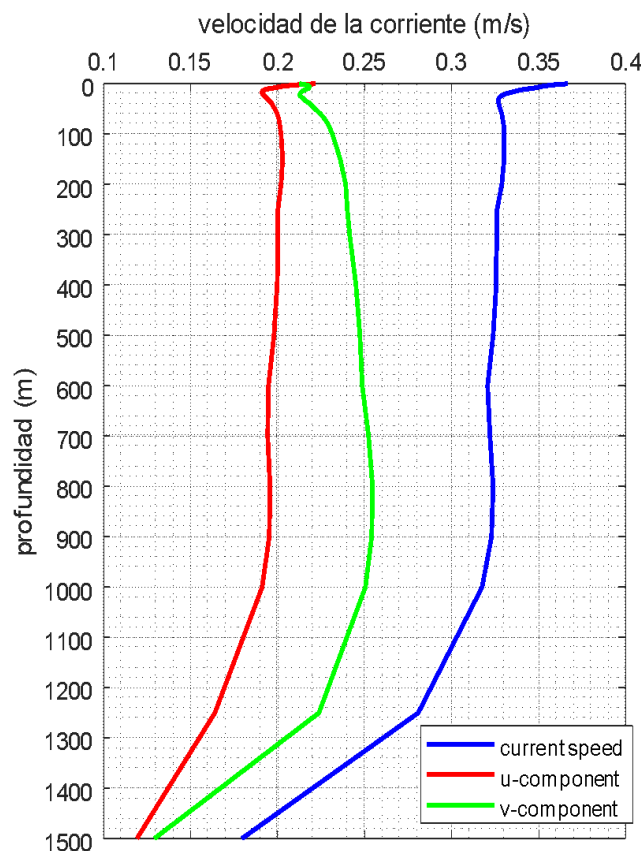
El HYCOM global con resolución horizontal de $1/12^\circ$ en el ecuador (~ 7 km en latitudes medias) es el componente del modelo oceánico de un sistema operativo de proyecciones/pronóstico en las próximas horas con resolución de remolinos. El modelo proporciona proyecciones y pronósticos en las próximas horas del entorno oceánico global tridimensional. HYCOM se entrega inicialmente con un modelo de hielo termodinámico de “préstamo de energía”, pero luego se acoplará al Polar Ice Prediction System 3.0 a través del marco de modelado del sistema terrestre (ESMF). El acoplamiento entre los modelos de océano y hielo tendrá en cuenta más adecuadamente el impulso, el calor y los flujos de sal en la interfaz océano/hielo. El componente final del sistema de proyecciones/pronóstico en las próximas horas es la asimilación de datos oceánicos acoplados por la marina (NCODA), que es un esquema de interpolación óptimo multivariante que se utilizará para asimilar las observaciones de la superficie de los satélites, incluidos los datos del altímetro y la temperatura superficial del mar multicanal (MCSST), concentración de hielo marino y datos de perfil como XBT (batitermógrafos fungibles), CTD (profundidad de temperatura de conductividad) y flotadores ARGO (Cummings, 2005). Combinando estas observaciones a través de la asimilación de datos y utilizando la habilidad de interpolación dinámica del modelo, el estado del océano tridimensional puede tener proyecciones y pronósticos en las próximas horas. Los detalles de la validación se pueden encontrar en Metzger et al, 2017.

Para evaluar las corrientes marinas a lo largo de la columna de agua en el sitio del pozo EQN.MC.A.x-1, se obtuvo datos de corrientes de reanálisis global $1/12^\circ$ Gofs 3.1 por 3 horas (HYCOM + NCODA), disponibles de 1994 a 2015, mediante la interpolación los valores de los seis puntos de cuadrícula del modelo más cercanos. En la celda del modelo más cercana al pozo, la columna de agua está representada en 35 capas verticales discretas.

3.3.3 Conjunto de datos de corriente neta

Como las corrientes HYCOM no incluyen las corrientes de marea barotrópicas, se agregaron mediante el modelo de mareas oceánicas TPXO8.0, para obtener un conjunto de datos de corrientes netas para el periodo mencionado anteriormente. La Figura 3-9 muestra el perfil de corriente de velocidad promedio (en azul) y los componentes u y v (rojo y verde respectivamente) en el sitio del pozo EQN.MC.A.x-1. Las corrientes superficiales en la zona presentan velocidad moderada (0.3-0.4 m/s).

La intensidad de la corriente disminuye rápidamente con la profundidad en la columna de agua y la velocidad promedio de la corriente cae a aproximadamente 0,2 m/s hacia los 1500 metros de profundidad.

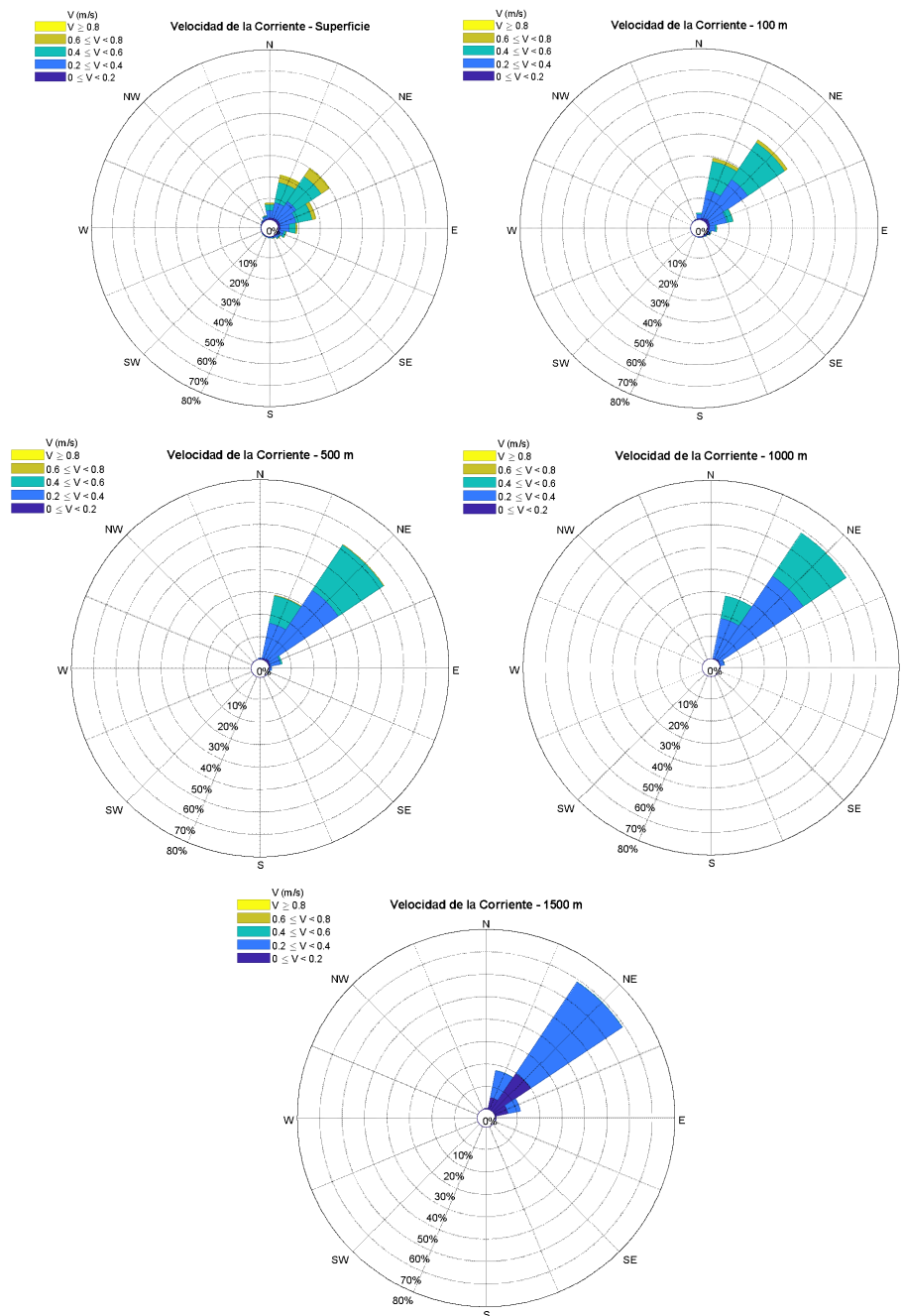


Fuente: ERM, 2021, adaptado de HYCOM + NCODA Global 1/12° Reanálisis de datos de corrientes

Figura 3-9: Velocidad de corriente neta (azul), componente u de los perfiles promedio de corriente (rojo) y componente v (verde) en el sitio del pozo EQN.MC.A.x-1.

Velocidad de corriente, componente u, componente v

Para visualizar la direccionalidad de la corriente en el sitio del pozo, se generaron rosetas de corriente. La Figura 3-10 muestra las rosetas de velocidad de la corriente neta en el sitio del pozo EQN.MC.A.x-1, a cinco profundidades diferentes: superficie, 100 m, 500 m, 1000 m y 1500 m (fondo).



Fuente: ERM, 2021, a partir de datos de HYCOM más TPX08.0

Figura 3-10: Rosetas de velocidad de corriente neta en el sitio del pozo EQN.MC.A.x-1 (1994-2015). Superficie (arriba a la izquierda), 100 m de profundidad (arriba a la derecha), 500 m de profundidad (centro a la izquierda), 1000 m de profundidad (centro a la derecha) y corriente en el fondo (abajo)

Las siguientes tablas muestran histogramas de excedencias para la velocidad de la corriente neta en el sitio del pozo EQN.MC.A.x-1, en la superficie y a profundidades de 100 m, 500 m, 1000 m y 1500 m (fondo), respectivamente.

Tabla 3-2: Excedencias para la velocidad de la corriente neta (superficie) en el sitio del pozo EQN.MC.A.x-1

V (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total	% Excedencia
[0 – 0,2)	1,52	2,12	1,69	0,89	0,47	0,36	0,36	0,66	8,07	100,00
[0,2 – 0,4)	7,44	18,52	9,03	2,26	0,69	0,31	0,28	1,02	39,55	91,93
[0,4 – 0,6)	6,97	24,60	6,63	1,02	0,22	0,07	0,03	0,26	39,79	52,38
[0,6 – 0,8)	2,01	7,54	1,49	0,21	0,11	0,02	0,00	0,03	11,41	12,59
[0,8 – 1,0)	0,23	0,67	0,11	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	1,08	1,18
[1,0 – 1,2)	0,02	0,04	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,09	0,10
[1,2 – 1,4)	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
[1,4 – 1,6)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00*	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	18,2	53,49	18,96	4,42	1,53	0,76	0,67	1,97	100,0	

Fuente: ERM, 2021, a partir de datos de HYCOM más TPX08.0

Tabla 3-3: Excedencias para la velocidad de la corriente neta (profundidad de 100) en el sitio del pozo EQN.MC.A.x-1

V (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total	% Excedencia
[0 – 0,2)	1,11	2,65	1,61	0,66	0,29	0,14	0,12	0,21	6,79	100,00
[0,2 – 0,4)	6,34	36,18	6,13	0,92	0,27	0,07	0,08	0,14	50,13	93,21
[0,4 – 0,6)	3,67	33,76	1,85	0,22	0,07	0,02	0,00	0,01	39,60	43,08
[0,6 – 0,8)	0,29	3,02	0,09	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	3,44	3,48
[0,8 – 1,0)	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04
[1,0 – 1,2)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
[1,2 – 1,4)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
[1,4 – 1,6)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	11,41	75,65	9,68	1,81	0,66	0,23	0,20	0,36	100,00	

Fuente: ERM, 2021, a partir de datos de HYCOM más TPX08.0

Tabla 3-4: Excedencias para la velocidad de la corriente neta (profundidad de 500) en el sitio del pozo EQN.MC.A.x-1

V (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total	% Excedencia
[0 – 0,2)	0,26	1,56	0,49	0,06	0,03	0,03	0,03	0,02	2,48	100,00
[0,2 – 0,4)	3,11	53,74	2,22	0,09	0,03	0,01	0,01	0,04	59,25	97,52
[0,4 – 0,6)	0,93	36,32	0,34	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	37,60	38,27
[0,6 – 0,8)	0,02	0,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	0,67
[0,8 – 1,0)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
[1,0 – 1,2)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
[1,2 – 1,4)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
[1,4 – 1,6)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	4,32	92,27	3,05	0,16	0,06	0,04	0,04	0,06	100,00	

Fuente: ERM, 2021, a partir de datos de HYCOM más TPX08.0

Tabla 3-5: Excedencias para la velocidad de la corriente neta (profundidad de 1000) en el sitio del pozo EQN.MC.A.x-1

V (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total	% Excedencia
[0 – 0,2)	0,10	0,73	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,97	100,00
[0,2 – 0,4)	1,76	63,22	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	65,42	99,03
[0,4 – 0,6)	0,28	33,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,58	33,61
[0,6 – 0,8)	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03
[0,8 – 1,0)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
[1,0 – 1,2)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
[1,2 – 1,4)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
[1,4 – 1,6)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	2,14	97,28	0,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	100,00	

Fuente: ERM, 2021, a partir de datos de HYCOM más TPX08.0

Tabla 3-6: Excedencias para la velocidad de la corriente neta (profundidad de 1500) en el sitio del pozo EQN.MC.A.x-1

V (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total	% Excedencia
[0 – 0,2)	1,72	28,71	1,88	0,04	0,02	0,00	0,00	0,03	32,40	100,00
[0,2 – 0,4)	1,49	65,00	0,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	67,33	67,60
[0,4 – 0,6)	0,01	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,27
[0,6 – 0,8)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
[0,8 – 1,0)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
[1,0 – 1,2)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
[1,2 – 1,4)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
[1,4 – 1,6)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	3,22	93,97	2,72	0,04	0,02	0,00	0,00	0,03	100,00	

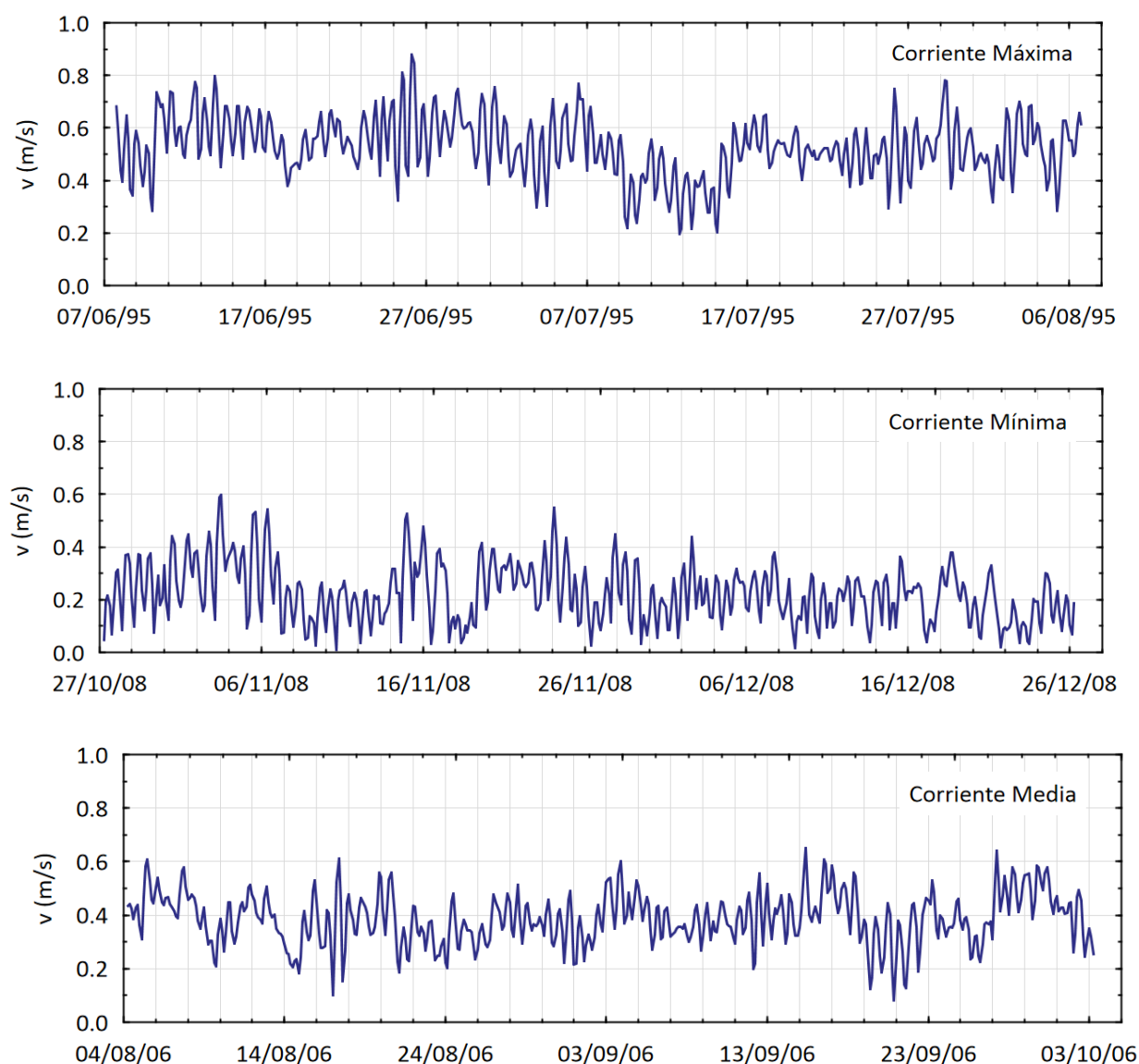
Fuente: ERM, 2021, a partir de datos de HYCOM más TPX08.0

Las corrientes en el sitio del pozo, independientemente de la profundidad, se dirigen predominantemente al NE. Sin embargo, las corrientes superficiales están más dispersas. Rango de velocidad de la corriente desde menos de 0.2 ms^{-1} a más de 0.8 ms^{-1} .

3.4 Desarrollo de escenarios actuales para la perforación en el sitio del pozo EQN.MC.A.x-1

Debido a que las corrientes son la principal fuerza impulsora para el transporte y la dispersión de los *cuttings* descargados en la columna de agua, la variabilidad de las corrientes oceánicas influirá en el destino y la trayectoria del material descargado. El análisis de los datos del modelo hidrodinámico (Sección 3.4) sugiere que las corrientes en la región son complejas y exhiben patrones de flujo estacionales. Dado que se espera que la perforación tome aproximadamente sesenta días, se consideraron tres escenarios diferentes de corriente neta de 60 días para que el modelo de dispersión represente el programa de descarga que se muestra en la Figura 3-11. Para estos tres escenarios, las corrientes que varían verticalmente y en el tiempo del conjunto de datos de corrientes netas que cubren el periodo 1994-2015, se utilizaron como el forzamiento ambiental primario.

Dos escenarios representan corrientes superficiales extremas (máxima y mínima) y el tercero representa una corriente superficial media. Se considera que la corriente de máxima intensidad favorecerá la dispersión de los *cuttings* descargados, mientras que la mínima favorecerá la acumulación en las cercanías del pozo. Estos escenarios de 60 días se pueden ver en la Tabla 3-7.



Fuente: ERM, 2021, a partir de datos de HYCOM más TPX08.0

Figura 3-11: Serie de tiempo de velocidad actual (m/s) para los escenarios de 60 días seleccionados para las simulaciones de dispersión. Escenario de velocidad máxima (arriba), escenario de velocidad mínima (centro) y escenario de velocidad media (abajo)

La metodología para encontrar el periodo de 60 días de máxima velocidad de corriente consistió en tomar un promedio móvil de la serie de velocidades de corriente superficial con una ventana de 60 días. Entonces, el máximo de esta serie filtrada representa el centro del intervalo de 60 días de corriente máxima, que fue en última instancia el periodo del 07/JUN/95 a las 18:00 horas al 06/AGO/95 a las 15:00 horas.

Para seleccionar el periodo de 60 días de velocidad mínima de corriente, se utilizó la metodología explicada anteriormente considerando el mínimo de la serie filtrada de promedio móvil de 60 días. Entonces, se encontró que el intervalo de 60 días de corriente mínima era el periodo comprendido entre el 27/OCT/08 a las 06:00 horas y el 26/DIC/08 a las 03:00 horas.

Finalmente, para seleccionar el periodo de 60 días de velocidad promedio de corriente, se tomó el intervalo de tiempo de 60 días que presentó la menor desviación acumulada con respecto a la corriente promedio, resultando en el periodo del 08/ABR/06 a las 06:00 al 03/OCT/06 a las 03:00.

Las velocidades promedio y máxima de corriente neta superficial y en el fondo en el sitio del pozo EQN.MC.A.x-1 para cada escenario se presentan en la . Las velocidades promedio y máximas de las corrientes superficiales fueron mayores (es decir, más rápidas) en comparación con las corrientes en el fondo, como se esperaba.

Tabla 3-7: Velocidades máximas y medias de las corrientes superficiales y en el fondo para los escenarios de 60 días seleccionados para las simulaciones de dispersión

Escenario	Corriente Superficial (m/s)		Corriente en el Fondo (m/s)	
	Velocidad Media	Velocidad Máxima	Velocidad Media	Velocidad Máxima
1: Corriente Superficial Máxima	0,50	0,90	0,20	0,31
2: Corriente Superficial Mínima	0,22	0,56	0,15	0,40
3: Corriente Superficial Media	0,38	0,65	0,17	0,32

Fuente: ERM, 2021, a partir de datos de HYCOM más TPX08.0

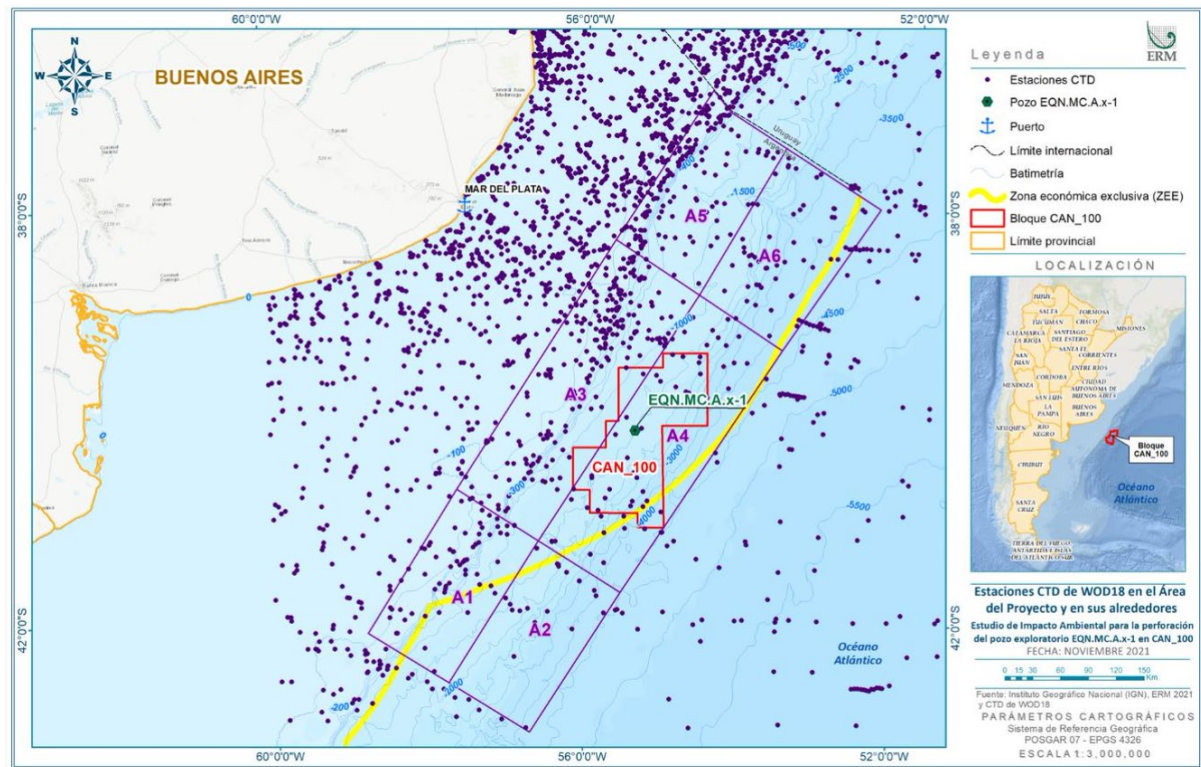
4. TEMPERATURA Y SALINIDAD DEL AGUA

Para representar con precisión la temperatura y la salinidad de la columna de agua en el sitio del pozo, se utilizaron datos de conductividad, temperatura y profundidad (CTD) de World Ocean Database 2018 (WOD18). WOD18 es una base de datos de perfiles oceánicos preparada por el Laboratorio de Clima Oceánico (OCL) en el Centro Nacional de Datos Oceanográficos (NODC) en Silver Spring, Maryland, Estados Unidos. Esta base de datos incluye mediciones de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y otras variables oceanográficas, con control de calidad realizado científicamente. Incluye todas las estaciones argentinas de CEADO (Centro Argentino de Datos Oceanográficos), así como otras estaciones internacionales.

Los valores de salinidad presentados en este trabajo corresponden a la Salinidad Absoluta (S_A , g/kg) y fueron calculados siguiendo la recomendación del grupo de trabajo 127 integrado por la Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO (COI-UNESCO), el Comité Científico de Investigación Oceánica (SCOR) y por la Asociación Internacional para las Ciencias Físicas de los Océanos (IAPSO) para adoptar la ecuación del estado del agua de mar TEOS-10 (Ecuación termodinámica del agua de mar-2010) en las ciencias marinas como descripción oficial de las propiedades del hielo y agua de mar (IOC, SCOR e IAPSO, 2010).

Una de las principales ventajas y mejoras incorporadas en TEOS-10 es que proporciona una representación termodinámica consistente de todas las propiedades termodinámicas del agua de mar. También considera explícitamente la composición química del agua de mar e incorpora correcciones para anomalías de la composición, lo que también mejora nuestro conocimiento y comprensión de la circulación oceánica y las formas en que se modela.

La Figura 3-11 muestra la ubicación de las estaciones CTD en el área del Proyecto y en sus alrededores, correspondiente a la base de datos WOD18.

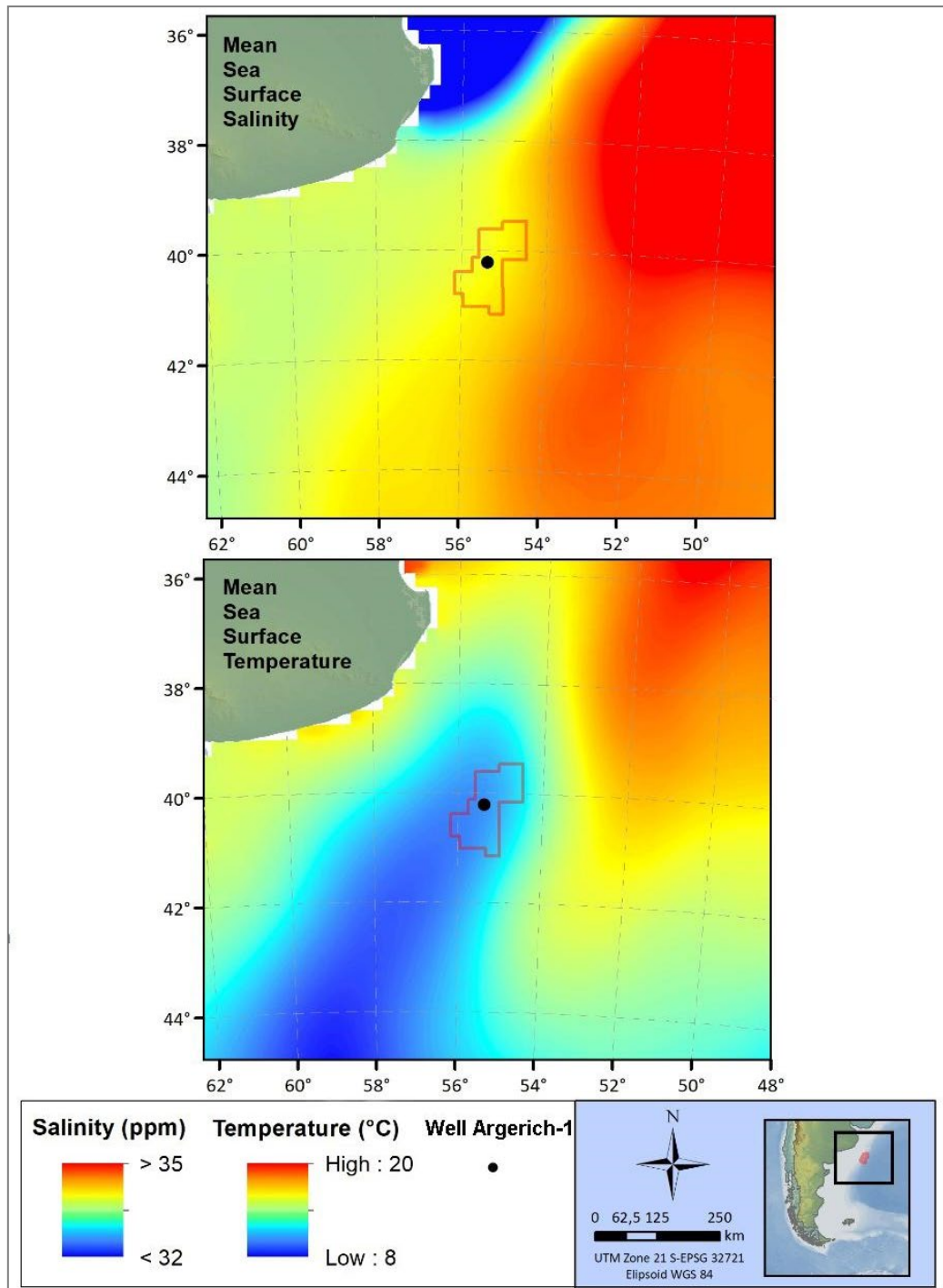


Fuente: ERM, 2021

Figura 4-1: Estaciones conductividad, temperatura y profundidad (CTD) de WOD18 en el área del Proyecto y en sus alrededores

De la base de datos CTD disponible en WOD18, se obtuvieron los campos de salinidad superficial, de temperatura del agua de mar superficial y los perfiles estacionales medios en seis regiones denominadas A1, A2, A3, A4, A5 y A6. Cabe notar que el Bloque CAN_100 se encuentra casi en su totalidad dentro de la región A4. Por lo tanto, los perfiles de esta región se consideran característicos del área del Proyecto.

La Figura 4-2 muestra los campos de salinidad superficial y temperatura del agua de mar superficial para el área del Proyecto y sus alrededores, donde se puede observar la región de la confluencia Brasil-Malvinas.



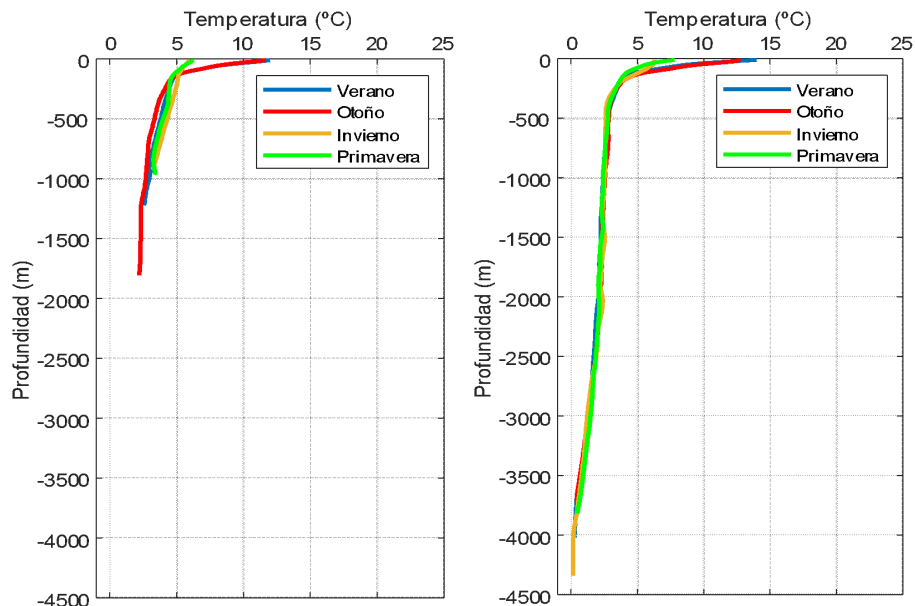
Fuente: ERM, 2021, Fuente: ERM 2021, con datos WOD18

Figura 4-2: Campos de salinidad superficial (arriba) y temperatura del agua de mar superficial (abajo) para el área del proyecto y sus alrededores

Salinidad superficial marina media, Temperatura superficial marina media, Salinidad (ppm), Temperatura (°C) Pozo Argerich-1 (refiere a EQN.MC.A.x-1), Zona UTM 21-S-EPG 32721, Elipsoide WGS 84

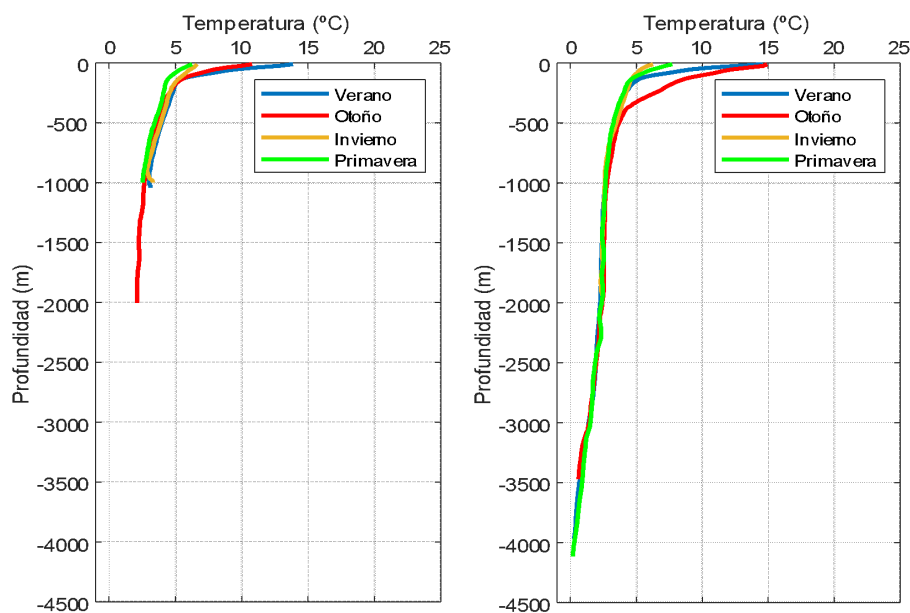
De la Figura 4-3 a la Figura 4-5 se muestra que la temperatura superficial del mar en el área presenta un marcado ciclo estacional como consecuencia de variaciones en la radiación solar, nubosidad,

vientos y corrientes marinas. Durante el verano austral ingresan desde el sur aguas frías subantárticas de la Corriente de Malvinas, mientras que en el sector norte las aguas cálidas de origen subtropical de la Corriente de Brasil se desplazan hacia el sur, sin cambios significativos en los perfiles de temperatura entre las zonas de poca profundidad y puntos profundos del área en estudio. Sin embargo, existe una marcada diferencia en la temperatura superficial del mar entre las regiones ubicadas más al norte (A5 y A6) con respecto a las demás, debido al aporte de TW de la Corriente de Brasil.



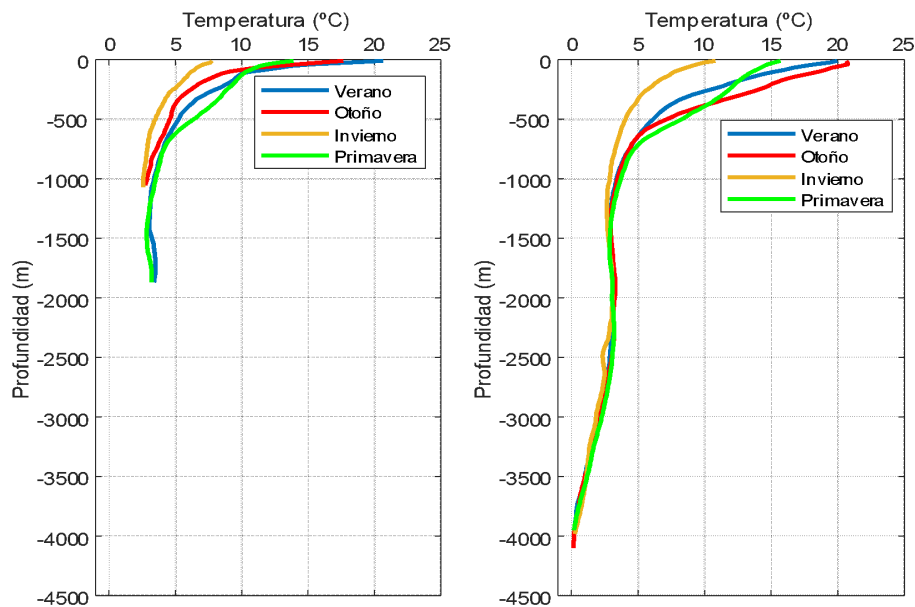
Fuente: ERM 2021, con datos WOD18

Figura 4-3: Perfiles estacionales medios de temperatura del mar para las regiones A1 (izquierda) y A2 (derecha)



Fuente: ERM 2021, con datos WOD18

Figura 4-4: Perfiles estacionales medios de temperatura del mar para las regiones A3 (izquierda) y A4 (área CAN_100, derecha).

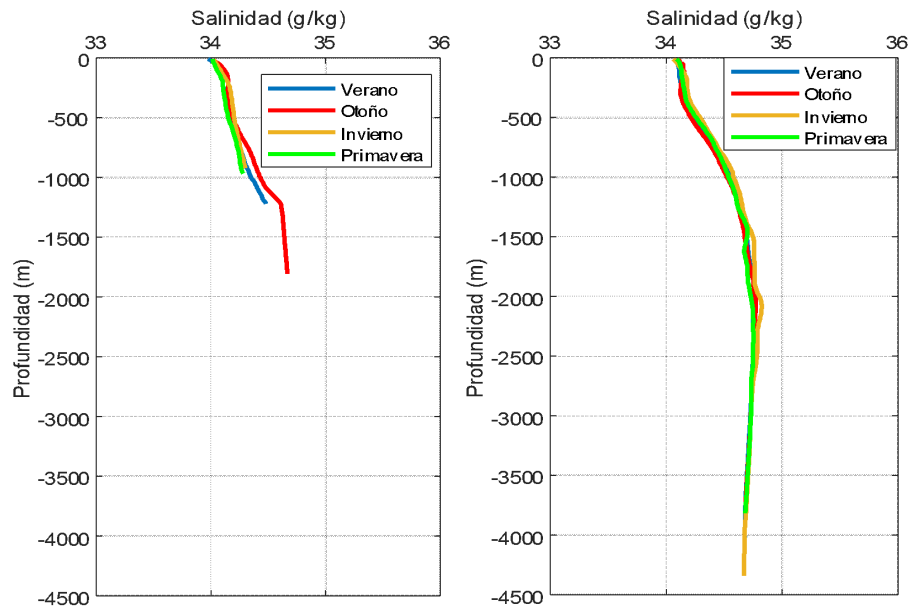


Fuente: ERM 2021, con datos WOD18

Figura 4-5: Perfiles estacionales medios de temperatura del mar para las regiones A5 (izquierda) y A6 (derecha).

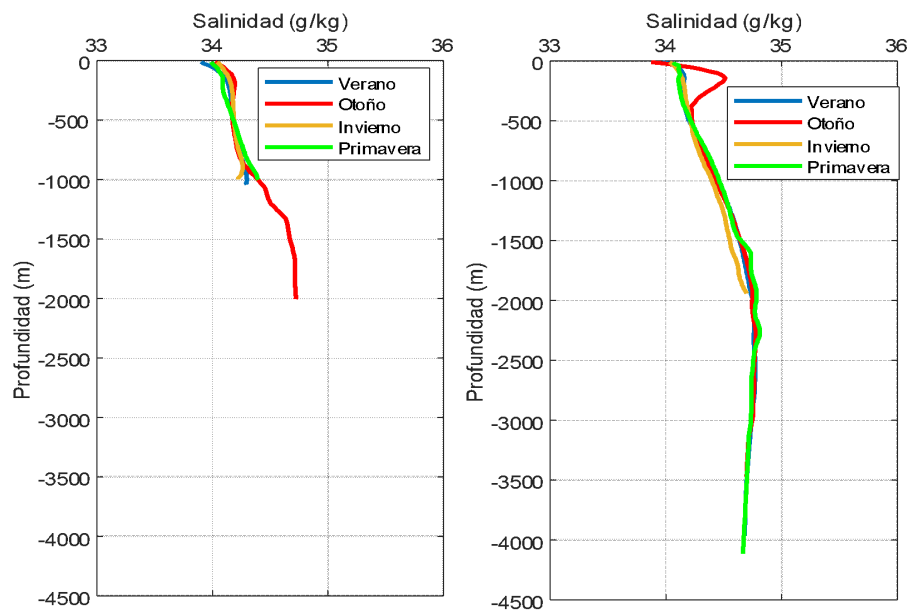
De la Figura 4-6 a la Figura 4-8 se muestran los perfiles estacionales medios de salinidad para las regiones A1 a A6. No se observan variaciones significativas entre aguas profundas y poco profundas en las regiones A1 y A2. En la región A4 (área CAN-100) hay un ligero aumento en otoño con respecto a la región A3, mientras que en la región A6 hay un marcado aumento de la salinidad con respecto al resto de regiones.

La salinidad superficial responde al equilibrio entre la evaporación, la precipitación, el aporte de corrientes y ríos con diferentes características físico-químicas y los procesos de mezcla oceánica. La mayor parte del Mar Patagónico se encuentra bajo la influencia de Aguas Subantárticas diluidas por descargas continentales que se originan en el Pacífico sureste y entran por el sur por el Estrecho de Magallanes y con la Corriente de Malvinas. En la zona norte, el ingreso de aguas salinas por la Corriente de Brasil y la descarga de aguas continentales del Río de la Plata, generan frentes salinos de importancia biológica. Sus valores se encuentran entre 34 g/kg y 34.5 g/kg en la zona sur y 34 g/kg y 35.5 g/kg en la zona norte, dependiendo de si es el borde occidental u oriental del área del Proyecto. Se observa un aumento significativo de la salinidad superficial en las áreas A5 y A6 ubicadas en la región de la confluencia Brasil-Malvinas, llegando a casi 36 g/kg.



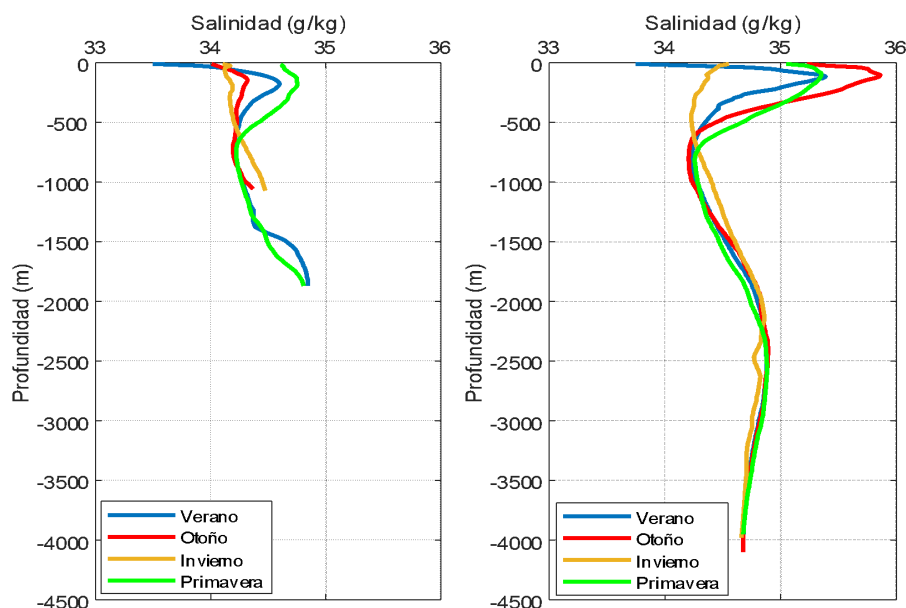
Fuente: ERM 2021, con datos WOD18

Figura 4-6: Perfiles estacionales medios de salinidad para las regiones A1 (izquierda) y A1 (derecha)



Fuente: ERM 2021, con datos WOD18

Figura 4-7: Perfiles estacionales medios de salinidad para las regiones A3 (izquierda) y A4 (área CAN-100, derecha)



Fuente: ERM 2021, con datos WOD18

Figura 4-8: Perfiles estacionales medios de salinidad para las regiones A5 (izquierda) y A6 (derecha)

5. METODOLOGÍA PARA MODELAR LA DISPERSIÓN DE CUTTINGS

5.1 Descripción del modelo de dispersión de sedimentos: MIKE 3 Particle Tracking

El módulo Particle Tracking (Rastreo de Partículas) de MIKE 3 Flow Model FM se utiliza para modelar el transporte y determinar el destino de partículas/sustancias disueltas, suspendidas y sedimentadas descargadas en mar abierto, como *cuttings* de perforación y agua producida, entre otros. El modelo calcula la ruta de cada partícula y genera las concentraciones instantáneas de clases individuales en 2D o 3D dependiendo de la entrada hidrodinámica.

Las partículas se dividen en diferentes grupos llamados clases. Cada clase tiene propiedades específicas con respecto a la descomposición, sedimentación/flotabilidad, erosión y dispersión que deben especificarse por separado. Los ejemplos típicos de clases son fracciones de diferentes tamaños de partículas de sedimento.

5.2 Programa de descarga

El orificio conductor de 42" y los intervalos de orificios superficiales de 26" se perforarán con agua de mar, mientras que los dos intervalos de orificios intermedio y en el fondo (17.5", 12.25" y 8.5") se perforarán usando lodos de base sintética (SBM). Los *cuttings* del conductor y los intervalos de orificios superficiales se devolverán directamente al fondo marino. Los *cuttings* y lodos de perforación de los dos intervalos intermedios y del fondo del pozo se llevarán al buque perforadora través del tubo ascendente, antes de ser tratados por un equipo de control de sólidos para separar el fluido de perforación de los *cuttings*. Los *cuttings* y lodos irrecuperables impregnados a los *cuttings* se descargarán desde una tubería con orientación vertical entre 3 y 5 m por debajo de la superficie del mar.

La Tabla 5-1 proporciona un resumen de los volúmenes estimados de los *cuttings* y lodos de perforación impregnados descargados para cada intervalo de pozo.

Tabla 5-1: Resumen de los volúmenes y masas estimados de los *cuttings* y lodos de perforación irrecuperables que se descargarán para cada intervalo de pozo

Sección	Diámetro (pulgadas)	Sólidos de <i>cuttings</i> de perforación			SBM impregnados en los recortes			Tiempo desde el inicio de la perforación (días)	Duración de la perforación (días)	Velocidad de liberación	Profundidad de liberación
		Volumen (m ³)	Masa (toneladas)	Tasa de liberación (kg/s)	Tipo de lodo	Masa de sólidos descargados (toneladas)	Tasa de liberación (kg/s)				
1	42	97	242,5	4,25	Agua de mar			3,37	0,66	Continua	Lecho marino
2	26	154	385	4,24	Agua de mar			6,88	1,05	Continua	Lecho marino
3	17 ½	80	200	1,68	SBM	13,8	0,12	18,96	1,38	Continua	Superficie del mar
4	12 ¼	51	127,5	0,63	SBM	8,8	0,04	29,22	2,36	Continua	Superficie del mar
5	8 1/2	39	97,5	0,22	SBM	6,7	0,02	43,48	5,16	Continua	Superficie del mar
Total descargas		420	1051	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

lodos de base sintética (SBM).

Fuente: EQUINOR, 2021

5.2.1 Descarga de datos de entrada

Los datos de entrada utilizados para configurar el modelo de dispersión incluyeron:

- Masa y duración de descarga de los *cuttings*, impregnados de lodos no recuperables
- Distribución del tamaño de las partículas y velocidades de sedimentación de los *cuttings* descargados, impregnados de lodos no recuperables
- Densidad aparente de los *cuttings* descargados, impregnados de lodos no recuperables
- Perfiles de temperatura y salinidad de las aguas receptoras
- Altura/profundidad del punto de descarga en relación con el nivel medio del mar
- Datos actuales que varían en profundidad para representar el forzamiento físico local.

La Tabla 5-2 proporciona un resumen de las características de descarga y la masa estimada de *cuttings* y lodos utilizados como entrada en el modelo de descarga. Las descargas cercanas al lecho marino incorporaron 313.8 toneladas de *cuttings*. Las descargas a la superficie del mar incorporaron 425 toneladas de *cuttings* y 29.3 toneladas impregnadas con lodos de perforación no recuperables. El modelo se ejecutó durante el tiempo suficiente para permitir que los *cuttings* más finos se asentaran fuera de la suspensión para descargas superficiales.

Tabla 5-2: Datos de entrada utilizados para el modelado de dispersión de lodos y *cuttings* de perforación

Parámetro/Descripción	Detalle
Masa de <i>cuttings</i> descargados cerca del lecho marino (toneladas)	313.8
Masa de lodos de perforación descargados cerca del lecho marino (toneladas)	0
Masa de <i>cuttings</i> descargados cerca de la superficie del mar (toneladas)	425
Masa de lodos de perforación descargados cerca de la superficie del mar (toneladas)	29.3
Masa total de <i>cuttings</i> descargados (toneladas)	1053
Masa total de lodos de perforación impregnados a los recortes (toneladas)	29.3
Densidad de <i>cuttings</i> (kg/m ³)	2600
Densidad de lodos de perforación (kg/m ³)	4200
Altura de la descarga cercana al lecho marino por encima del lecho marino (m)	2
Profundidad de las descargas superficiales del mar por debajo de la superficie del mar (m)	3 – 5

Fuente: EQUINOR, 2021

Se propone que se usen métodos de perforación convencionales de manera que las distribuciones de tamaño de partículas para los *cuttings* y lodos de perforación se representen por datos de literatura para la perforación convencional que sugieren que se esperaría que los tamaños de partículas varíen entre 0,016 mm y 6 mm de diámetro.

Se estableció el modelo con cuatro clases principales de partículas para representar *cuttings* grandes, medianos y ligeros, y sólidos de fluidos de perforación (es decir, partículas de lodo). La proporción de cada clase de tamaño se ajustó para cada intervalo de pozo de acuerdo con la proporción propuesta de lodos y *cuttings*, como se muestra en la Tabla 5-3. Cabe notar que el tamaño de las partículas tiene una mayor influencia en la tasa de sedimentación que la densidad (Neff, 2005). Por lo tanto, al configurar el material para la descarga en el modelo, cada clase de tamaño de partícula se distribuyó en hasta seis subcategorías con velocidades de sedimentación específicas. Las velocidades de sedimentación para las diversas subcategorías de tamaño se derivaron de datos empíricos proporcionados por Dyer (1986), como se resume en la .

Tabla 5-3: Proporción propuesta de lodos y *cuttings* y velocidades de sedimentación para las distintas subcategorías de tamaño

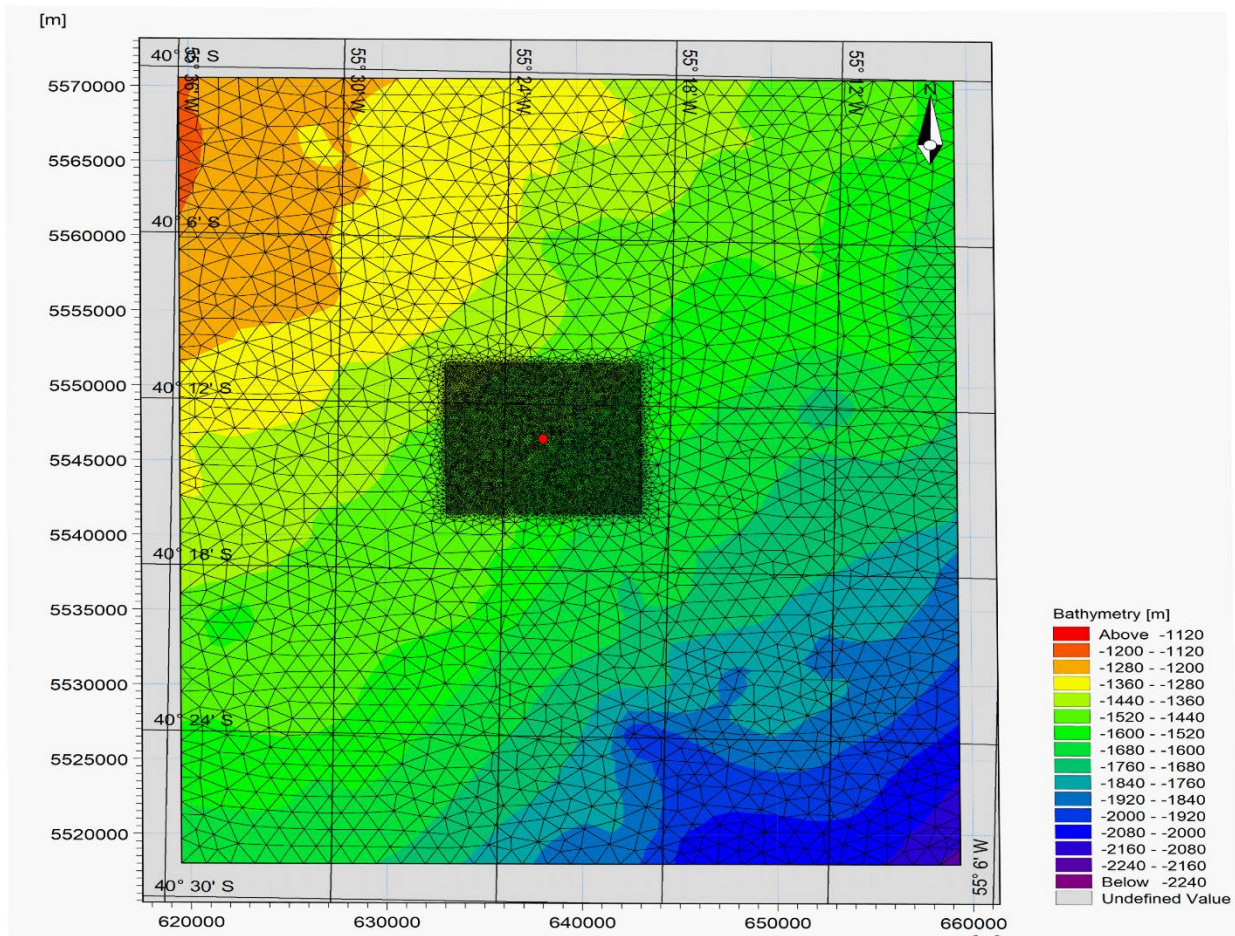
Clase	Tamaño de grano (mm)	Velocidad de sedimentación (cm/s)	Perforación con agua de mar	Perforación con SBM
			Distribución (%)	Distribución (%)
Cuttings grandes	6	53,62	8,6	8,2
	5	49,46	8,6	8,2
	2	28,55	8,6	8,3
	1	12,73	5,8	5,5
	0,5	7,5	5,8	5,5
	0,45	6,6	2,9	2,8
Cuttings medianos	0,4	6	2,9	2,8
	0,35	5	2,8	2,8
	0,3	4	2,8	2,8
	0,25	3,1	2,8	2,8
	0,2	2,3	2,8	2,8
	0,15	1,6	2,8	2,7
Cuttings pequeños	0,1	0,8	2,8	2,7
	0,05	0,22	2,8	2,7
	0,04	0,15	2,9	2,7
	0,03	0,08	2,9	5,5
	0,02	0,04	2,9	0,0
Sólidos de fluido de perforación	0,063	0,34	0,4	0,0
	0,05	0,22	1,6	1,8
	0,035	0,11	3,7	4,1
	0,026	0,06	6,0	25,3
	0,02	0,038	7,4	0,0
	0,016	0,026	9,4	0,0

Fuente: EQUINOR, 2021, Dyer (1986)

5.3 Configuración de cuadrícula

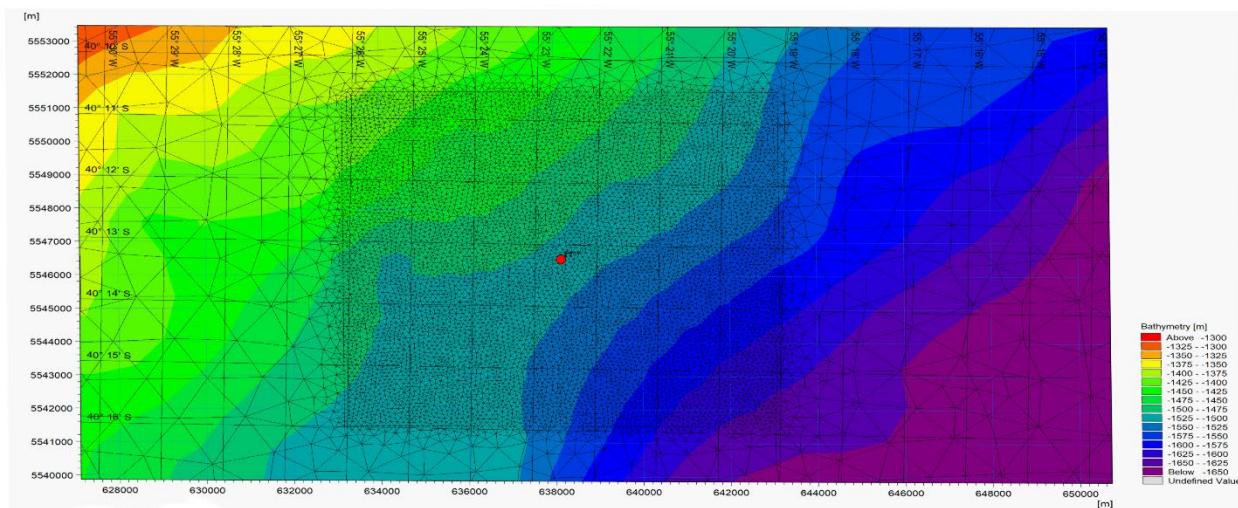
Se empleó una cuadrícula no uniforme que cubría una región de 20 km (longitud, dirección x) por 20 km (latitud, dirección y) alrededor de la ubicación del pozo para calcular la concentración de lodos y *cuttings* de perforación en la columna de agua y en el lecho marino (Figura 5-1). La resolución de las celdas de la cuadrícula se incrementó en las cercanías del sitio del pozo.

La resolución vertical consistió en 35 capas sigma (su espesor se ajusta según la profundidad de la cuadrícula) con más definición cerca de la superficie y el fondo.



Fuente: ERM 2021

Figura 5-1: Cuadrícula empleada para calcular la concentración de lodos y cuttings de perforación en la columna de agua y en el lecho marino (20 km (longitud, dirección x) por 20 km (latitud, dirección y). Se muestran las coordenadas geográficas y planas (utm 21S).



Fuente: ERM 2021

Figura 5-2: Cuadrícula con resolución aumentada en las cercanías del sitio del pozo (punto rojo). Se muestran las coordenadas geográficas y planas (utm 21S)

5.4 Parámetros de mezcla

Los coeficientes de dispersión horizontal y vertical se utilizan en el modelado de dispersión para representar los procesos de mezcla y difusión causados por turbulencias. La mezcla turbulenta describe el intercambio transversal resultante de la fluctuación turbulenta de parámetros termohidráulicos como la velocidad y la temperatura o la entalpía.

La mezcla turbulenta de propiedades como la sal o la temperatura y el efecto de fricción que tiene sobre el impulso es de gran importancia para todos los procesos oceánicos. Sin embargo, el cierre de turbulencias, la solución de una representación exacta de los efectos de los movimientos turbulentos no resueltos sobre los movimientos integrales o de gran escala, sigue siendo un problema sin resolver. Todos los modelos hidrodinámicos utilizan aproximaciones de estos movimientos turbulentos no resueltos, es decir, parametrizaciones de turbulencia, como coeficientes de dispersión.

Los coeficientes de dispersión se expresan en unidades de tasa de cambio de área (m^2/s). El aumento del coeficiente de dispersión horizontal aumentará la extensión horizontal de la pluma de descarga y disminuirá las concentraciones de la línea central. El aumento del coeficiente de dispersión vertical extiende la descarga más a través de las capas verticales.

La difusión turbulenta horizontal de la pluma depende de las condiciones hidrodinámicas (es decir, viento, olas y corriente) y la escala física de la misma en comparación con las escalas de los procesos oceánicos que dispersan la pluma. Para una pluma de aproximadamente 10-100 m de ancho, la dispersión ocurre principalmente a través de movimientos de remolinos horizontales a pequeña escala y mezcla vertical, con una tasa de dispersión horizontal del orden de $0,1 m^2/s$. A medida que crece la pluma a una escala de 1 a 10 km, comienza a estar sujeta a remolinos de mesoescala y la tasa de dispersión horizontal se vuelve del orden de unas pocas decenas de m^2/s . A escalas aún mayores, la pluma sería más grande que los remolinos de mesoescala y la mezcla de remolinos se convierte en el mecanismo dominante, con una tasa de dispersión horizontal de $100-1000 m^2/s$ (EQUINOR, 2019).

Para este Proyecto, con un entorno de mar abierto y escalas de longitud de 10 m a 1 km, se aplicó una tasa de difusión horizontal de $0,25 m^2/s$. Se estableció un valor de $0,10 cm^2/s$ para el coeficiente de dispersión vertical para tener en cuenta la influencia de la turbulencia dentro de la columna de agua, así como la inducida por las olas.

5.5 Umbrales mínimos de notificación

Se seleccionaron concentraciones y espesores de sedimentos biológicamente relevantes para informar los resultados del modelado. Rogers (1990) informó que una velocidad de sedimentación de 1 mg/cm²/día resultó en ningún efecto o efecto mínimo en las comunidades bentónicas. Con base en la densidad combinada de los *cuttings* y lodos de aproximadamente 2700 kg/m³, esta tasa de sedimentación es equivalente a 1,35 mm/año. Por lo tanto, como medida conservadora, se empleó un espesor de 0,05 mm como umbral mínimo.

Según la literatura disponible, se utilizaron umbrales de 1-10 mm y superiores a 10 mm para definir la exposición baja y alta, respectivamente, en este estudio. Además, Trannum et al. (2009) informaron de una disminución significativa en el recuento de especies, abundancia de individuos, diversidad de Shannon-Wiener y biomasa de animales marinos con el aumento de la profundidad de los *cuttings* depositados (3-24 mm). Además, un estudio de Kjeilen-Eilertsen et al. (2004) informa que es probable que espesores de depósito superiores a 9,6 mm causen impactos sofocantes en los ecosistemas bentónicos, incluidos los corales. También cabe señalar que un estudio de Smit et al. (2008) estableció que se necesitaría un umbral de espesor superior a 6.5 mm antes de que ocurra un daño potencial a la macrofauna bentónica. Suponiendo que los *cuttings* y los lodos de perforación impregnados recién sedimentados serán menos compactos debido a la incorporación de agua entre los granos de los depósitos de sedimentos, se aplicó un factor de aumento de 2,5 a los espesores reportados para tener en cuenta los huecos entre partículas (EQUINOR, 2019).

Además, el umbral mínimo de notificación para las concentraciones de SST (sólidos suspendidos totales) utilizados para este estudio es 0.05 mg/l. Nelson et al. (2016) informa <10 mg/l como un efecto mínimo o nulo, mientras que las concentraciones superiores a 10 mg/l tienen un efecto subletal para la biota pelágica. Asimismo, IOGP (2016) cita que se ha demostrado que concentraciones muy altas (> 1830 mg/l) de TSS dan como resultado la mortalidad de la biota pelágica. Por lo tanto, se utilizaron rangos de umbral de 10-1830 mg/l y superiores a 1830 mg/l para definir la exposición baja y alta, respectivamente (EQUINOR, 2019).

La Tabla 5-4 resume los umbrales de informes para el espesor de los sedimentos y las concentraciones de SST para los *cuttings* de perforación y el modelado de descargas de lodos.

Tabla 5-4: Umbrales para el espesor de sedimentos y concentraciones de SST para los *cuttings* de perforación y el modelado de descarga de lodos

Criterios	Espesor de sedimentos (mm)	Sólidos suspendidos totales Concentración (mg/l)
Umbral mínimo de notificación	0.05	0.05
Exposición baja (LE)	1-10	10-1830
Exposición elevada (HE)	Por encima de 10	Por encima de 1830

Fuente: ERM, 2021, de diferentes autores.

6. RESULTADOS

En la Sección 6.1 se presentan los resultados del grosor estimado de los sedimentos mientras que en la Sección 6.2 figuran las concentraciones predichas de Sólidos Suspendidos Totales (SST). En la Sección 6.3 se muestra el grosor de sedimentos máximo de SST encontrado en cada escenario de modelado.

6.1 Espesor de sedimentos previsto

6.1.1 Escenario 1: Velocidad de corriente superficial máxima

La Tabla 6-1 presenta el área total prevista de cobertura de los *cuttings* y lodos impregnados depositados y la distancia máxima al pozo para diferentes umbrales de espesor de sedimentos para el Escenario 1 (velocidad de corriente superficial máxima).

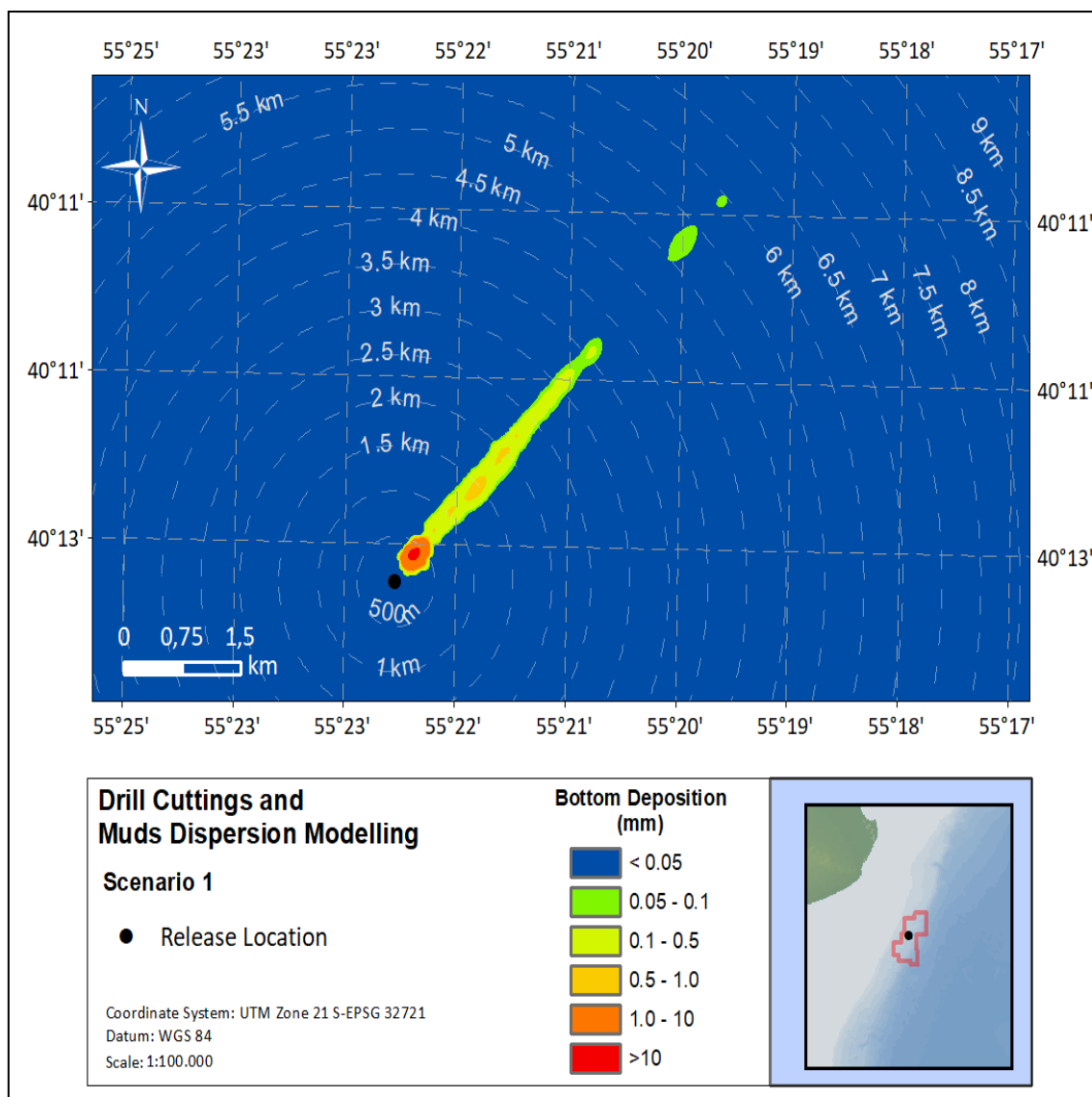
Tabla 6-1: Predicción de área de cobertura en el fondo marino y distancia al pozo en función del espesor de sedimentos para la velocidad de corriente superficial máxima (Escenario 1)

Espesor de sedimento (mm) Escenario 1	Área de cobertura de <i>cuttings</i> y lodos impregnados (km ²)	Porcentaje de área cubierta	Distancia máxima al pozo (km)
0,05 – 0,1	0,35	31	6,0
0,1 – 0,5	0,57	51	3,7
0,5 – 1	0,10	9	2,3
1 – 10 (LE)	0,08	7	0,6
> 10 (HE)	0,02	2	0,5
Total	1,11	100	

LE: Exposición baja; HE Exposición elevada

Fuente: ERM, 2021

El área máxima prevista de cobertura de *cuttings* impregnados con lodos no recuperables es 0,57 km² con un espesor entre 0,1 y 0,5 mm a una distancia máxima de 3,7 km del pozo. La disposición espacial de estas descargas puede verse en la Figura 6-1.



Fuente: ERM 2021

Figura 6-1: Cobertura prevista y espesor de sedimentos de los *cuttings* y lodos de perforación irrecuperables en el fondo marino para el escenario de velocidad de corriente superficial máxima (Escenario 1).

Modelado de Dispersión de *Cuttings* y Lodos impregnados, Escenario 1, Ubicación de la liberación, Sistema de Coordenadas: Zona UTM 21-S-EPSS 32721, Datum WGS 84, Escala: 1:100,000, Deposición de Fondo (mm)

6.1.2 Escenario 2: Velocidad de corriente superficial mínima

La Tabla 6-2 presenta el área total de cobertura prevista de los *cuttings* y lodos impregnados en estos y la distancia máxima al pozo para diferentes umbrales de sedimentos para el escenario 2 (velocidad de corriente superficial mínima).

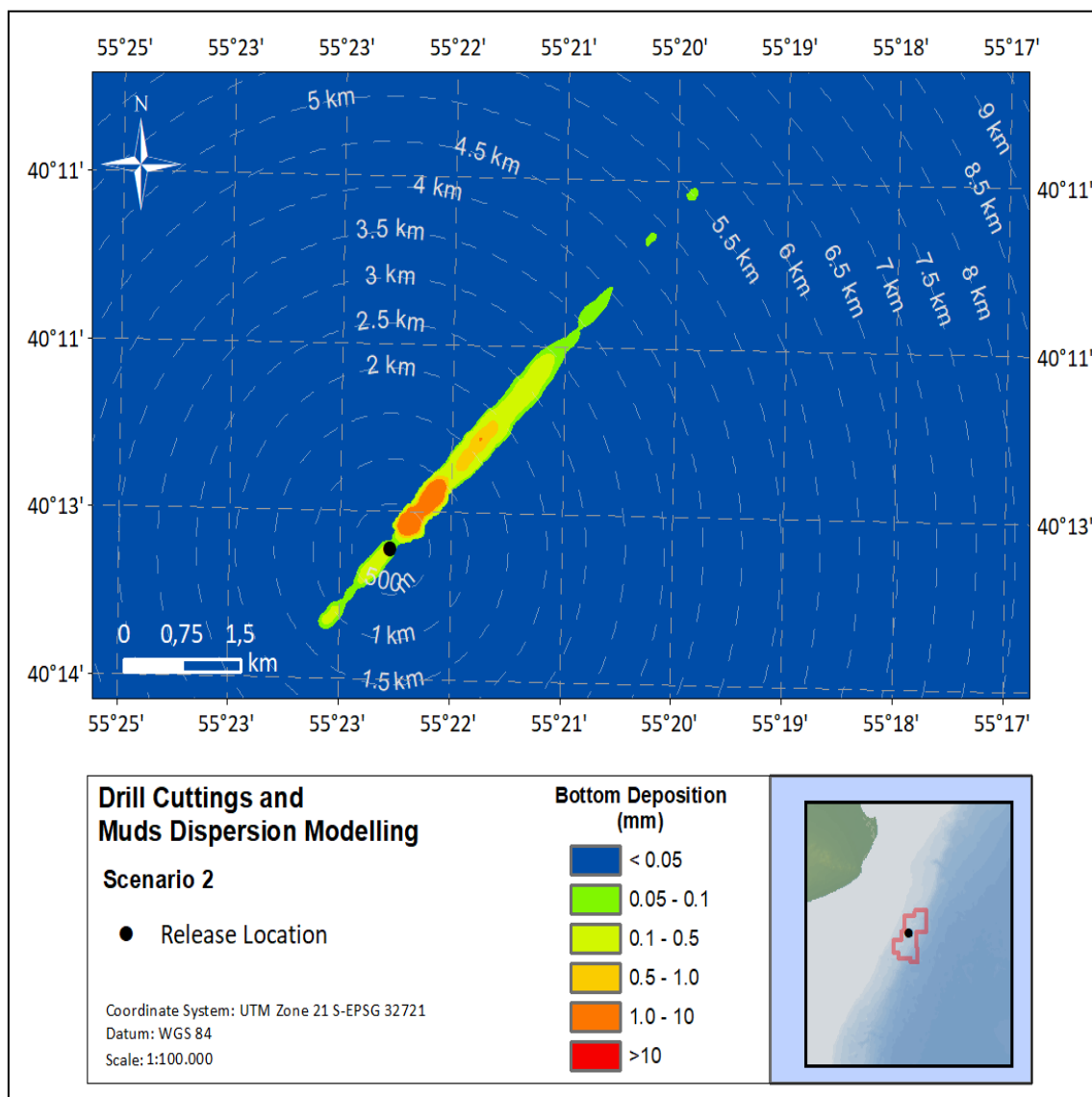
Tabla 6-2: Área prevista de Cobertura en el fondo marino y distancia como una función del espesor de sedimentos para velocidad de corriente superficial mínima (Escenario 2)

Espesor de sedimentos (mm) Escenario 2	Área de cobertura de los <i>cuttings</i> impregnados con lodos (km ²)	Porcentaje de área cubierta	Distancia máxima del pozo (km)
0,05 – 0,1	0,46	33	5,6
0,1 – 0,5	0,61	44	3,0
0,5 – 1	0,15	11	2,0
1 – 10 (LE)	0,17	12	1,7
> 10 (HE)	0,00	0	0
Total	1,39	100	

LE: Exposición baja; HE Exposición elevada

Fuente: ERM, 2021

El área de cobertura prevista máxima de los *cuttings* y lodos impregnados en estos es 0,61 km² con espesor de sedimentos entre 0,1 y 0,5 mm, a una distancia máxima de 3,0 km del pozo. La disposición espacial de estas descargas puede verse en la Figura 6-2.



Fuente: ERM 2021

Figura 6-2: Cobertura prevista y espesor de sedimentos de los *cuttings* y lodos de perforación irrecuperables en el fondo marino para el escenario de velocidad de corriente superficial mínima (Escenario 2).

Modelado de Dispersión de *Cuttings* y Lodos impregnados, Escenario 2, Ubicación de la liberación, Sistema de Coordenadas: Zona UTM 21-S-EPSSG 32721, Datum WGS 84, Escala: 1:100,000, Deposición de Fondo (mm)

6.1.3 Escenario 3: Velocidad de corriente superficial media

La Tabla 6-3 presenta el área de cobertura total prevista de los *cuttings* y lodos impregnados en estos y la distancia máxima al pozo para diferentes umbrales de espesor de sedimentos, para el Escenario 3 (velocidad de corriente superficial media).

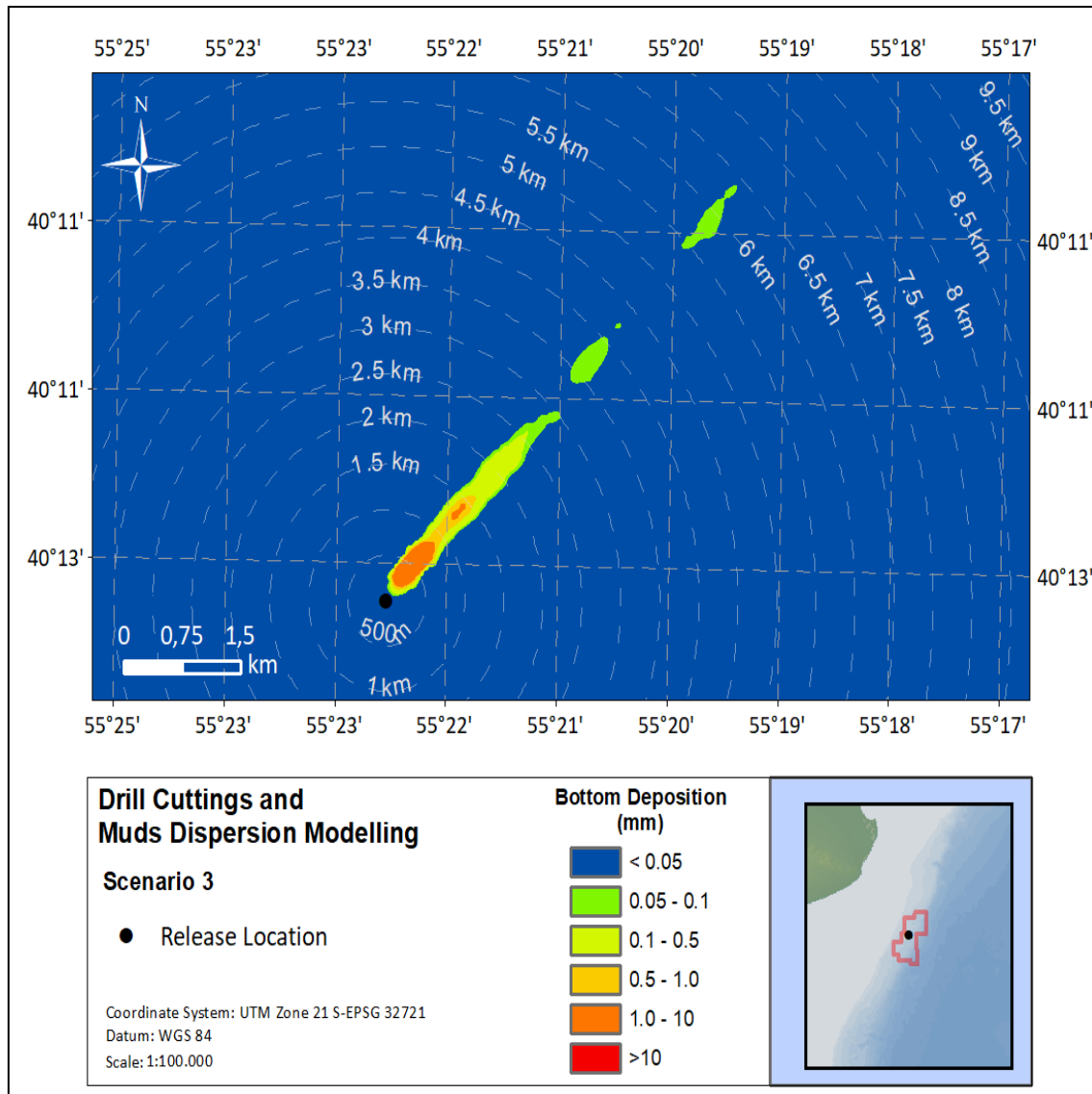
Tabla 6-3: Área de cobertura prevista en el fondo marino y distancia como una función del espesor del sedimento para velocidad de corriente superficial media

Espesor de sedimento (mm) Escenario 3	Área de cobertura de <i>cuttings</i> impregnados con lodos (km ²)	Porcentaje de área cubierta	Distancia máxima desde el pozo (km)
0,05 – 0,1	0,49	42	6,4
0,1 – 0,5	0,39	34	2,6
0,5 – 1	0,12	11	1,6
1 – 10 (LE)	0,16	14	1,5
> 10 (HE)	0,00	0	0
Total	1,17	100	

LE: Exposición baja; HE: Exposición elevada

Fuente: ERM, 2021

El área de cobertura máxima prevista de *cuttings* y lodos impregnados en estos es 0,49 km² con espesor de sedimentos entre 0,05 y 0,1 mm a una distancia máxima de 6,4 km desde el pozo. La disposición espacial de estas descargas puede verse en la Figura 6-3.



Fuente: ERM 2021

Figura 6-3: Cobertura prevista y espesor de sedimentos de los *cuttings* de perforación y lodos de perforación irre recuperables en el fondo marino para el escenario de velocidad de corriente superficial media (Escenario 3).

Modelado de Dispersión de *Cuttings* y Lodos impregnados, Escenario 3, Ubicación de la liberación, Sistema de Coordenadas: Zona UTM 21-S-EPSS 32721, Datum WGS 84, Escala: 1:100,000, Deposición de fondo (mm)

6.1.4 Integración de resultados del modelo: escenario combinado

En esta sección se presentan resultados basados en la evaluación integral de los 3 escenarios modelados. La evaluación colectiva se logra considerando el espesor de sedimento máximo en cada celda de grilla a partir de los 3 escenarios simulados. La Tabla 6-4 presenta el área de cobertura prevista total de *cuttings* y lodos impregnados en estos a una distancia máxima del pozo para umbrales diferentes de espesor de sedimentos para el Escenario Combinado.

Tabla 6-4: Área de cobertura prevista en el fondo marino y distancia como una función del espesor de sedimento

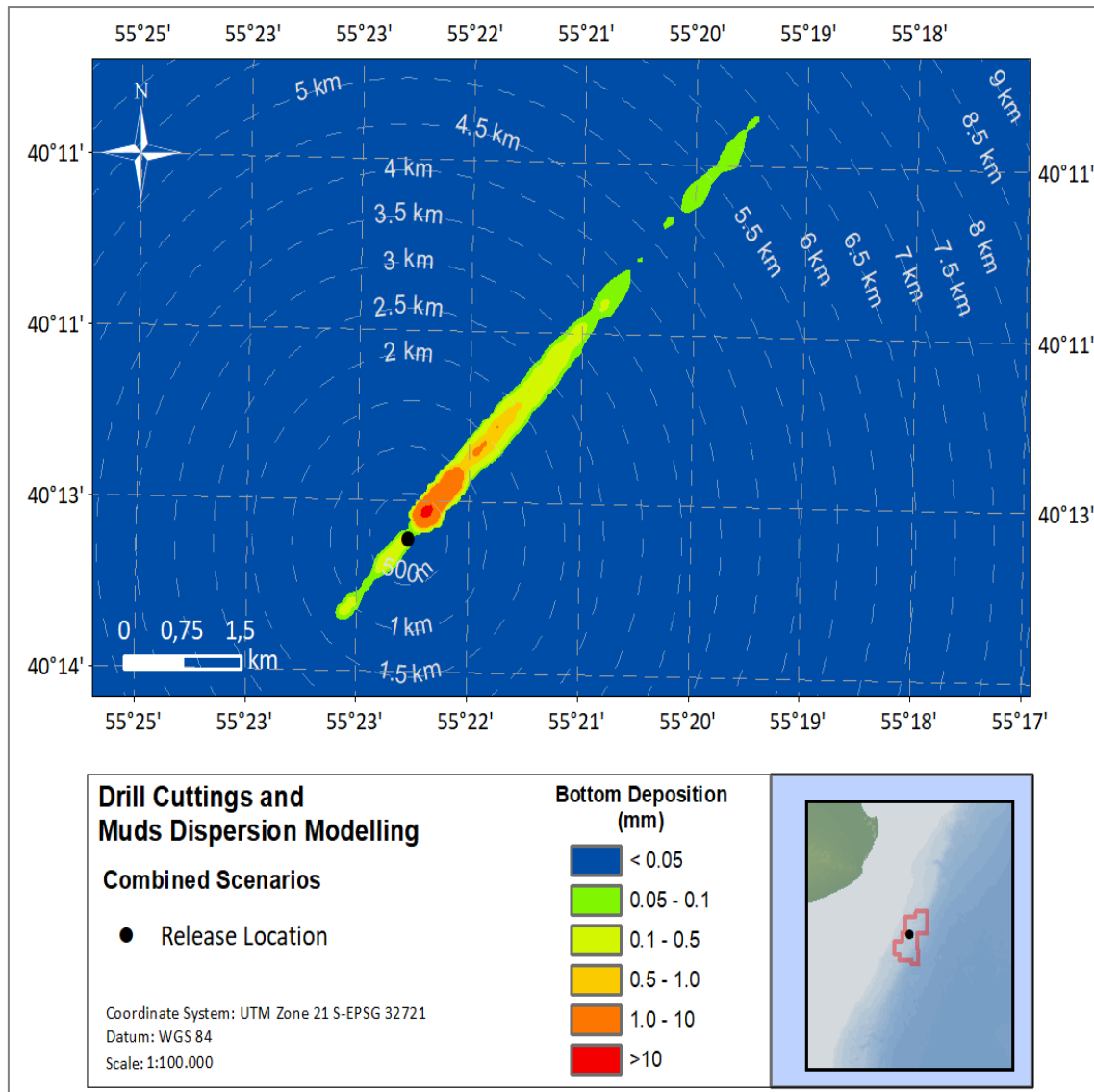
Espesor de sedimento (mm) Escenario combinado	Área de cobertura de <i>cuttings</i> y lodos impregnados (km ²)	Porcentaje del área cubierta	Distancia máxima del pozo (km)
0,05 – 0,1	0,72	41	6,4
0,1 – 0,5	0,61	35	3,7
0,5 – 1	0,20	11	2,3
1 – 10 (LE)	0,19	11	1,7
> 10 (HE)	0,02	1	0,5
Total	1,74	100	

LE: Exposición baja; HE: Exposición elevada

Fuente: ERM, 2021

Los resultados se basan en la evaluación colectiva de los 3 escenarios Modelados.

El área de cobertura máxima prevista de *cuttings* impregnados con lodos de perforación no recuperables es 0,72 km² con un espesor de sedimentos entre 0,05 y 0,1 a una distancia máxima de 6,4 del pozo. La disposición espacial de estas descargas puede verse en la Figura 6-4.



Fuente: ERM 2021

Figura 6-4: Espesor máximo previsto en el fondo marino, en cada celda de grilla, de los *cuttings* de perforación y lodos de perforación en el fondo marino para el escenario de evaluación colectiva de los 3 escenarios modelados (Escenario Combinado).

Modelado de Dispersión de *Cuttings* y Lodos impregnados, Escenario combinados, Ubicación de la liberación, Sistema de Coordenadas: Zona UTM 21-S-EPSS 32721, Datum WGS 84, Escala: 1:100,000, Deposición de Fondo (mm)

6.2 Concentraciones de SST Previstas

6.2.1 Escenario 1: Velocidad de corriente superficial máxima

La Tabla 6-5 presenta el área de exposición total prevista y la distancia máxima al pozo para diferentes umbrales de concentración de SST en el Escenario 1 (velocidad de corriente superficial máxima).

Tabla 6-5: Áreas de exposición previstas y distancia máxima del pozo a cada intervalo de concentración de SST para velocidad de corriente superficial máxima (Escenario 1)

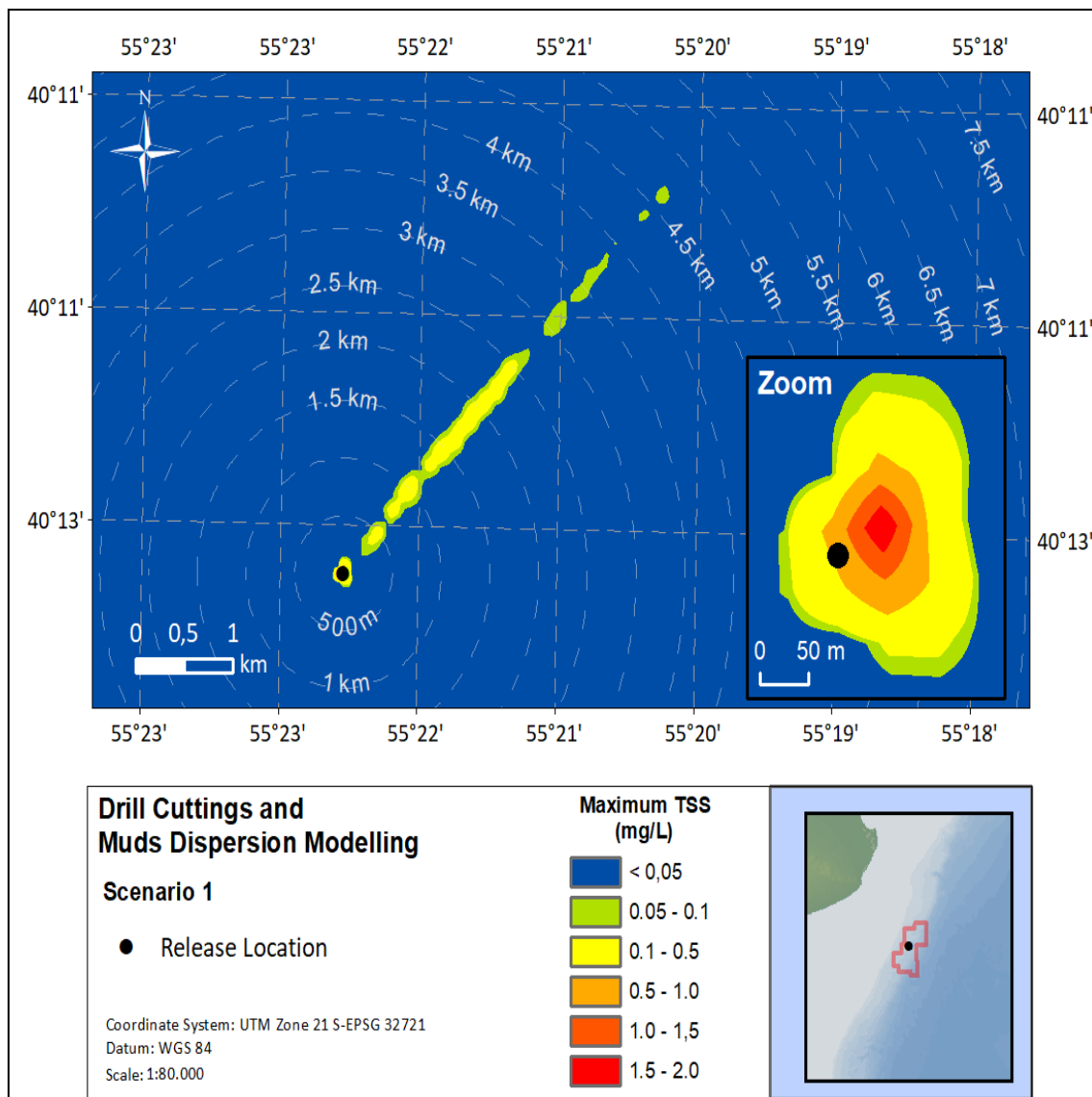
Concentración de SST (mg/l) Escenario 1	Área expuesta (km ²)	Porcentaje de área cubierta	Distancia máxima desde el pozo (km)
0,05 – 0,1	0,35	56	4,8
0,1 – 0,5	0,18	29	2,6
0,5 – 1,0	0,10	15	0,1
1,0 – 1,5	0,002	<1	0,1
1,5-10	0,001	<1	0,1
10-1830 (LE)	0,00	0,00	0,00
Total	0,63	100	

LE: Exposición baja

SST (Sólidos Suspendidos Totales)

Fuente: ERM, 2021

El área de exposición prevista máxima es 0,35 km² para una concentración que oscile entre 0,05 y 0,1 mg/l a una distancia máxima de 4,8 del pozo. La disposición espacial de estas concentraciones de SST puede verse en la Figura 6-5.



Fuente: ERM 2021

Figura 6-5: Cobertura prevista de concentraciones de SST en la columna de agua para el escenario de velocidad de corriente superficial máxima (Escenario 1)

Modelado de Dispersión de *Cuttings* y Lodos impregnados, Escenario 1, Ubicación de la liberación, Sistema de Coordinadas: Zona UTM 21-S-EPSS 32721, Datum WGS 84, Escala: 1:80,000, SST, Máximo de SST (mg/L)

6.2.2 Escenario 2: Velocidad de corriente superficial mínima

La Tabla 6-6 presenta el área de exposición total prevista y la distancia máxima al pozo para diferentes umbrales de concentración de SST en el Escenario 2 (velocidad de corriente superficial mínima).

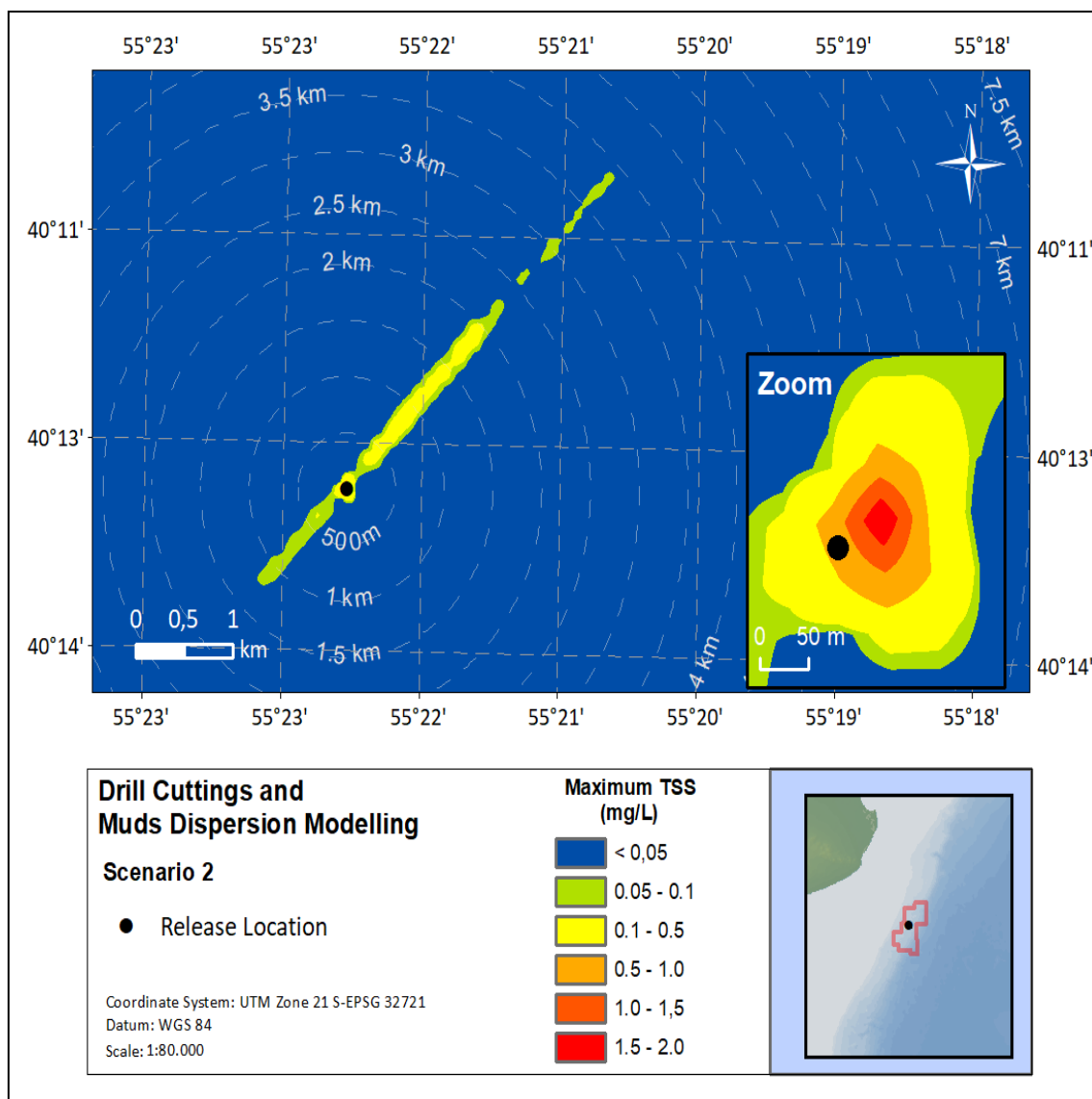
Tabla 6-6: Áreas de exposición previstas y distancia máxima del pozo a cada intervalo de concentración de SST para velocidad de corriente superficial mínima (Escenario2)

Concentraciones de SST (mg/l) Escenario 2	Área expuesta a concentración de SST (km ²)	Porcentaje de área cubierta	Distancia máxima del pozo (km)
0,05 – 0,1	0,46	63	3,9
0,1 – 0,5	0,26	36	2,1
0,5 – 1,0	0,01	1	0,1
1,0 – 1,5	0,003	<1	0,1
1,5-10	0,001	<1	0,1
10-1830 (LE)	0,00	0,00	0,00
Total	0,73	100	

LE: Exposición baja

Fuente: ERM, 2021

El área de exposición prevista máxima es 0,46 km² para una concentración que varía entre 0,05 y 0,1 mg/l a una distancia máxima de 3,9 desde el pozo. La disposición espacial de estas concentraciones de SST puede verse en la Figura 6-6.



Fuente: ERM 2021

Figura 6-6: Cobertura prevista de concentraciones de SST en la columna de agua para el escenario de velocidad de corriente superficial mínima (Escenario 2).

Modelado de Dispersión de *Cuttings* y Lodos impregnados, Escenario 2, Ubicación de la liberación, Sistema de Coordenadas: Zona UTM 21-S-EPSSG 32721, Datum WGS 84, Escala: 1:80,000, SST, Máximo de SST (mg/L)

6.2.3 Escenario 3: Velocidad de corriente superficial media

La Tabla 6-7 presenta el área de exposición total máxima prevista y la distancia máxima al pozo para diferentes concentraciones de SST en el escenario 3 (velocidad de corriente superficial media).

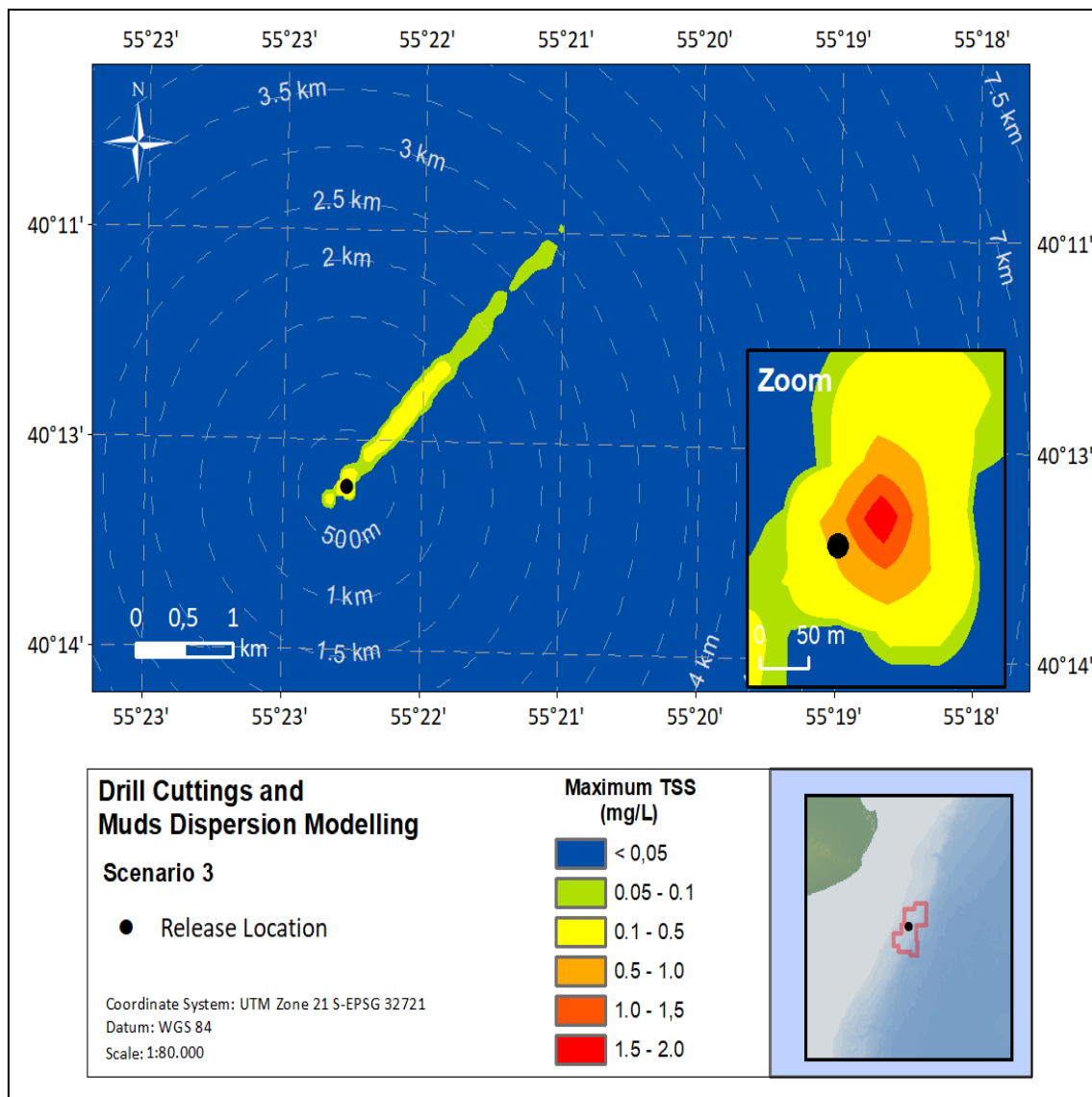
Tabla 6-7: Áreas de exposición prevista y distancia máxima desde el pozo a cada intervalo de SST para velocidad de corriente superficial media (Escenario 3)

Concentraciones de SST (mg/l) Escenario 3	Área expuesta a concentración de SST (km ²)	Porcentaje de área cubierta	Distancia máxima desde el pozo (km)
0,05 – 0,1	0,38	62	3,2
0,1 – 0,5	0,22	36	1,5
0,5 – 1,0	0,01	1	0,1
1,0 – 1,5	0,002	<1	0,1
1,5-10	0,001	<1	0,1
10-1830 (LE)	0,00	0,00	0,00
Total	0,61	100	

LE: Exposición baja

Fuente: ERM, 2021

El área de exposición máxima prevista es 0,38 km² para una concentración que varía de 0,05 a 0,1 mg/l a una distancia máxima de 3,2 km desde el pozo. La disposición espacial de estas concentraciones de SST puede verse en la Figura 6-7.



Fuente: ERM 2021

Figura 6-7: Cobertura prevista de concentraciones máximas de SST en la columna de agua para el escenario de velocidad de corriente superficial media (Escenario 3).

Modelado de Dispersión de *Cuttings* y Lodos impregnados, Escenario 3, Ubicación de la liberación, Sistema de Coordenadas: Zona UTM 21-S-EPSS 32721, Datum WGS 84, Escala: 1:80,000, SST, Máximo de SST (mg/L)

6.2.4 Integración de los resultados del modelo: escenario combinado

En esta sección se presentan los resultados basados en la evaluación colectiva de los 3 escenarios modelados. La Tabla 6-8 muestra el área de exposición total prevista y la distancia máxima al pozo para diferentes umbrales de concentración de SST en el escenario combinado.

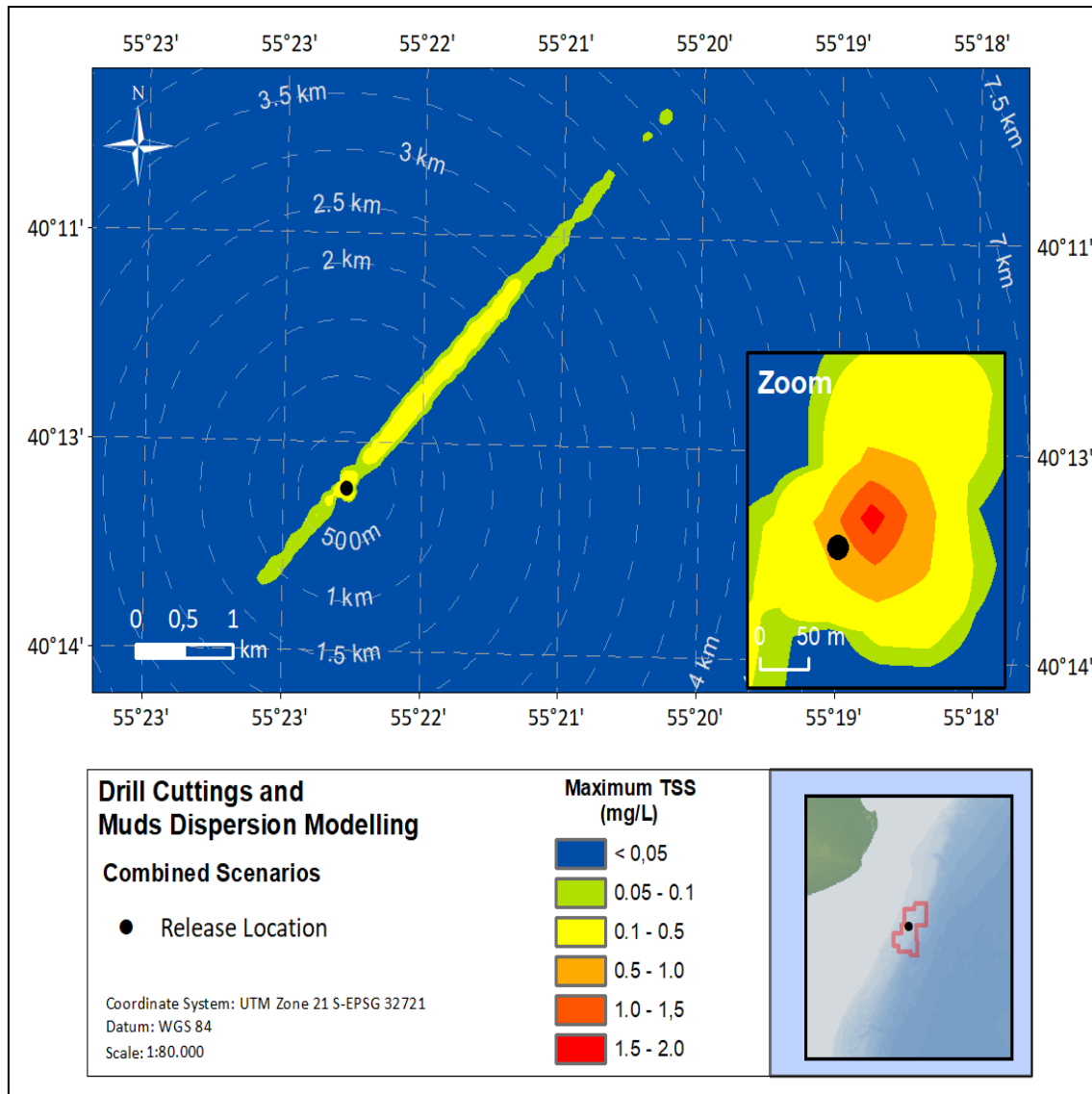
Tabla 6-8: Áreas de exposición previstas y distancia máxima desde el pozo a cada concentración de intervalo de SST sobre la base de la evaluación colectiva de los 3 escenarios modelados

Concentraciones de SST (mg/l) Escenario Combinado	Área expuesta a concentración de SST (km ²)	Porcentaje de área cubierta	Distancia máxima desde el pozo (km)
0,05 – 0,1	0,58	60	4,8
0,1 – 0,5	0,38	39	2,6
0,5 – 1,0	0,01	1	0,1
1,0 – 1,5	0,001	<1	0,1
1,5-10	0,003	<1	0,1
10-1830 (LE)	0,00	0,00	0,00
Total	0,97	100	

LE: Exposición baja

Fuente: ERM, 2021

El área de exposición prevista máxima es 0,58 km² para una concentración que oscila entre 0,05 y 0,1 mg/l a una distancia máxima de 4,8 km desde el pozo. La disposición espacial de estas concentraciones de SST puede observarse en la Figura 6-8.



Fuente: ERM 2021

Figura 6-8: Cobertura prevista de concentraciones de SST máximas en cada celda de grilla basada en la evaluación de los 3 escenarios modelados (Escenario Combinado)

Modelado de Dispersión de *Cuttings* y Lodos impregnados, Escenario Combinado, Ubicación de la liberación, Sistema de Coordenadas: Zona UTM 21-S-EPSS 32721, Datum WGS 84, Escala: 1:80,000, Máximo de SST (mg/L)

6.3 Espesor máximo de sedimentos y SST máximos encontrados en cada escenario modelado

En la Tabla 6-9 figuran el espesor de sedimento máximo y la concentración de SST para cada escenario considerado.

Tabla 6-9: Espesor de sedimento máximo y SST máximos encontrados en cada escenario modelado

Escenario	Espesor de sedimento máximo (mm)	SST máximos (mg/L)
1: Velocidad de corriente superficial máxima	16,4	2,0
2: Velocidad de corriente superficial mínima	8,7	2,0
3: Velocidad de corriente superficial media	8,8	2,0

Fuente: ERM 2021

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acha, M., Mianzan, H. W., Guerrero, R., Favero, M.: Marine fronts at the continental shelves of austral South America. January 2004, Journal of Marine Systems 44(1-2):83-105.
- Boebel, O., C. Schmid, G. Podesta y W. Zenk, 1999: Intermediate water in the Brazil-Malvinas Confluence Zone: A Lagrangian view. Journal of Geophysical Research, 104 (C9), 21,063-21,082.
- Bogazzi, E., Baldoni, A., Rivas, A., Martos, P., Reta, R., Orensanz, J.M. (Lobo), Lasta, M., Dell'Arciprete, P. y Werner, F. (2005). Association between areas of concentration of Patagonian scallop (*Zygochlamys patagonica*) and frontal systems in the Southwestern Atlantic. Fisheries Oceanography 14 359-376.
- Brandini, F.P., D. Boltovskoy, A. Piola, S. Kocmur, R. Rottgers, P.C. Abreu, y R.M. Lopes, 2000: Multiannual trends in fronts and distribution of nutrients and chlorophyll in the southwestern Atlantic (30-62 ° S). Deep-Sea Research Part I, 47, 1015-1033.
- Dyer, KR 1986, Coastal and Estuarine Sediment Dynamics, John Wiley & Sons Ltd., Chichester.
- Evans, D.L, S.S. Signorini and L.B. Miranda, 1983: A note on the transport of the Brazil Current. Journal of Physical Oceanography, 13, 1732-1738.
- EQUINOR: Environment plan Appendix 6-2 Drill *cuttings* and muds dispersion modelling study (RPS) Stromlo-1 exploration drilling program, 2019.
- Garzoli, S.L., 1993: Geostrophic velocity and transport variability in the Brazil-Malvinas confluence. Deep Sea Research, 40, 1379-1403.
- Garzoli S.L. and A. Bianchi, 1987: Time-Space Variability of the Local Dynamics of the Malvinas-Brazil Confluence as Revealed by Inverted Echo Sounders. Journal of Geophysical Research, 92, 1914-1922.
- Goni, G., S. Kamholz, S. Garzoli, y D. Olson, 1996: Dynamics of the Brazil-Malvinas Confluence based on inverted echo sounders and altimetry. Journal of Geophysical Research, 101, 16273-16289.
- Gordon, A.L. y C.L. Greengrove, 1986: Geostrophic circulation of the Brazil-Falkland Confluence. Deep Sea Research, 33, 573-585.
- Gordon, A. L.: Brazil – Malvinas Confluence – 1984, Deep Sea Res. Pt. 1, 36, 359–384, 1989.
- International Association of Oil and Gas Producers (IGOP) 2016, Environmental fates and effects of ocean discharge of drill *cuttings* and associated drilling fluids from offshore oil and gas operations, Report 543
- Harkema, R. and G.L. Weatherly, 1989: A compilation of moored current meter data in the Argentine Basin: April 25 1987 - March 14 1988. Technical Report CMF-89-01. Florida State University, 64 pp.
- Kjeilen-Eilertsen G, Trannum, H, Jak, RG, Smit, MGD, Neff, J y Durell, G 2004, Literature report on burial: derivation of PNEC as component in the MEMW model tool. Report AM 2004/024. ERMS report 9B.
- Legeckis, R. and A. Gordon, 1982: Satellite observations of the Brazil and Falkland Currents - 1975 to 1976 and 1978. Deep-Sea Research, 29, 375-401.
- Maamaatuaiahutapu, K., V. Garcon, C. Provost y H. Mercier, 1998: Transports of the Brazil and Malvinas currents at their confluence. Journal of Marine Research, 56, 417-438.

- Metzger, E. J.; Helber, R. W.; Hogan, P.J.; Posey, P. G.; Thoppil, P.G.; Townsend, T.L.; Wallcraft, A.J.; Smedstad, O.M.; Franklin, D.S.; 2017: Global Ocean Forecast System 3.1 Validation Testing NRL Report NRL/MR/7320--17-9722
- Memery, L., M. Arhan, X.A. Alvarez-Salgado, M-J. Messias, H. Mercier, C.G. Castro, A.F. Rios, 2000: The water masses along the western boundary of the south and equatorial Atlantic. *Progress in Oceanography*, 47, 69-98.
- Neff, J 2005, Composition, environment fates, and biological effect of water based drilling fluids and *cuttings* discharged to the marine environment: A synthesis and annotated bibliography, Battelle, Duxbury.
- Nelson, DS, McManus, J, Richmond, RH, King Jr, DB, Gailani, JZ, Lackey, TC & Bryant, D 2016, 'Predicting dredging-associated effects to coral reefs in Apra Harbor, Guam – Part 2: Potential coral effects', *Journal of Environmental Management*, vol. 168, p. 111–122.
- Olson, DB, G.P. Podesta, R.H. Evans y O.B. Brown, 1988: Temporal variations in the separation of Brazil and Malvinas currents. *Deep-Sea Research*, 35 (12), 1971-1990.
- Palma, E. D., Matano, R. P., y Piola, A. R.: A numerical study of the Southwestern Atlantic Shelf circulation: Stratified ocean response to local and offshore forcing, *J. Geophys. Res.*, (C0) 8014, doi: 10.1029/2004JC002315, 2008.
- Palma, E. D., Matano, R. P., Piola, A. A numerical study of the Southwestern Atlantic Shelf circulation: Barotropic response to tidal and wind forcing (2004)
- Partos, P. y M.C. Piccolo, 1988: Hydrography of the Argentine continental shelf between 38°S and 42°S. *Continental Shelf Research*, 8, 1043-1056.
- Peterson, R.G., 1992: The boundary currents in the western Argentine Basin. *Deep-Sea Research*, 39, 623-644.
- Peterson, R.G. y L. Stramma, 1990: Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. *Progress in Oceanography*, 26, 1-73.
- Piola A. R. et al., 2011: The Brazil Malvinas Confluence
- Piola, A. R., Campos, E. J. D., Moller, O. O., Charo, M. and Martinez, C.: Subtropical shelf front off eastern South America, *J. Geophys. Res.*, 105, C3, 6566–6578, 2000.
- Piola, A. and A.A. Bianchi, 1990: Geostrophic mass transports at the Brazil-Malvinas Confluence (abstract). *EOS*, 71, 17, 542
- Podesta, G.P., O.B. Brown, and R.H. Evans, 1991: The Annual Cycle of Satellite-derived Sea Surface Temperature in the Southwestern Atlantic Ocean. *Journal of Climate*, 4 (4), 457-467.
- Rogers, CS, 1990, 'Responses of coral reefs and reef organisms to sedimentation', *Marine Ecology Progress Series*, vol. 62, no. 1, pp. 185–202.
- Sabatini, M. y Martos, P. (2002). Mesozooplankton features in a frontal area off northern Patagonia (Argentina) during spring 1995 and 1998. *Scientia Marina* 66, 215-232.
- Saraceno, M., C. Provost, A.R. Piola, J. Bava, and A. Gagliardini, 2004: Brazil Malvinas Frontal System as seen from 9 years of advanced very high resolution radiometer data. *Journal of Geophysical Research*, 109 (C5)
- Saunders, P.M. y B.A. King, 1995: Bottom currents derived from a ship-borne ADCP on WOCE Cruise A11 in the South Atlantic. *Journal of Physical Oceanography*, 25, 329-347.
- Smit, MGD, Holthaus, KIE, Trannum, H, Neff, J, Kjeilen-Eilertsen, G, Jak, RG, Singsaas, I, Huijbregts, MAJ & Hendriks, AJ 2008, 'Species sensitivity distributions for suspended clays, sediment burial, and grain size change in the marine environment', *Environmental Toxicology & Chemistry*, vol. 27, no. 4, pp. 1006-1012.

- Stramma, L., Y. Ikeda, R.G. Peterson, 1990: Geostrophic transport in the Brazil Current region north of 20°S. *Deep-Sea Research*, 37 (12), 1875-1886.
- Tranum, HC, Nilsson, HC, Schaanning, MT & Øxnevad, S 2009, 'Effects of sedimentation from water- based drill *cuttings* and natural sediment on benthic macrofaunal community structure and ecosystem processes', *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, vol. 383, no. 2, pp.111–121.
- Vigan, X., C. Provost, y G. Podesta, 2000: Sea surface velocities from sea surface temperature image sequences 2. Application to the Brazil-Malvinas Confluence area. *Journal of Geophysical Research*, 105, 19515-19534.
- Vivier, F. y C. Provost, 1999a: Direct velocity measurements in the Malvinas Current. *Journal of Geophysical Research*, 104, 21083-21103.
- Vivier, F. y C. Provost, 1999b: Volume transport of the Malvinas Current: Can the flow be monitored by TOPEX/POSEIDON? *Journal of Geophysical Research*, 104, 21105-21122.