ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL
DRAGADO PUERTO COMODORO RIVADAVIA

CAPÍTULO 4 – LÍNEA DE BASE AMBIENTAL

PARTE 2 – MEDIO FÍSICO

JUNIO DE 2023

ÍNDICE

1	**INTRODUCCIÓN**	**6**
2	**CLIMATOLOGÍA**	**6**
2.1	**Introducción**	**6**
2.2	**Temperatura**	**6**
2.3	**Precipitación**	**7**
2.4	**Viento**	**8**
2.5	**Fenómenos meteorológicos relevantes**	**8**
3	**GEOLOGÍA**	**9**
3.1	**Geología local**	**9**
3.2	**Sismos y actividad volcánica**	**12**
4	**GEOMORFOLOGÍA**	**14**
4.1	**Descripción del área de estudio**	**15**
5	**GEOMORFOLOGÍA COSTERA**	**18**
5.1	**Descripción del área de estudio**	**18**
5.2	**Geoformas de erosión marina**	**19**
5.3	**Geoformas de acreción marina**	**20**

5.4 Erosión hídrica 21

6 OCEANOGRAFÍA 24

6.1 Accidentes costeros 25

6.2 Batimetría 30

6.3 Clima de olas 32

6.4 Mareas 37

6.5 Antecedentes de salinidad y temperatura 40

7 CARACTERIZACIÓN DE CALIDAD DE AGUA Y SEDIMENTOS EN EL ÁREA OPERATIVA E INMEDIACIONES 42

7.1 Caracterización de sedimentos 42

7.1.1 Naturaleza de los sedimentos a dragar 42

7.1.2 Normativa de referencia utilizada para el análisis de resultados 45

7.1.3 Monitoreo de sedimentos en zona de dragado 48

7.1.4 Monitoreo de sedimentos en zona de descarga 61

7.2 Caracterización de calidad del agua 68

7.2.1 Monitoreo de calidad de agua superficial en zona de dragado. 68

7.2.2 Resultados calidad de agua superficial en zona de descarga de sedimentos. 78

8 CONCLUSIONES GENERALES 82

9 BIBLIOGRAFÍA 85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cantidad de días promedio con presencia de fenómenos meteorológicos relevantes durante el período 2013-2022 en la Estación Meteorológica Comodoro Rivadavia Aero. Fuente: SMN, 2023. 9
Tabla 2. Batimetría del Golfo San Jorge obtenida de bases de datos aportados por distintas instituciones nacionales referentes. Fuente: adaptado de Sánchez-Carnero, 2021. 32
Tabla 3. Predicción de marea para el 2023 en el Puerto de Comodoro Rivadavia basadas en las cartas de Argentina H-357 A y B. Fuente: SHN, 2023. 38
Tabla 4. Valores según Tabla 1, Art. 16°: *De los valores a comparar,* Resolución N° 263/19 del Ministerio de Ambiente de la Prov. de Buenos Aires. 45
Tabla 5. Valores según Tabla 2, Art. 16°: *De los valores a comparar,* Resolución N° 263/19 del Ministerio de Ambiente de la Prov. de Buenos Aires. 46
Tabla 6. Clasificación de sedimentos según Resolución Nº 263/19. 47
Tabla 7. Tipo de Disposición de Sedimentos según Resolución Nº 263/19. 48

Tabla 8. Coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo (WGS 84). Fuente: Instituto de Desarrollo Costero, 2022. 50
Tabla 9. Tipos de sedimentos del puerto de Comodoro Rivadavia y sector aledaño según grupo textural, clasificación y tamaño promedio de grano. Fuente: adaptado de Instituto de Desarrollo Costero, 2022. 53
Tabla 10. Resultados del análisis granulométrico, informe septiembre 2022. Fuente: adaptado de Instituto de Desarrollo Costero, 2022. 54
Tabla 11. Resultados del análisis físico-químico, informe septiembre 2022. Fuente: adaptado de Instituto de Desarrollo Costero, 2022. 55
Tabla 12. Resultados del análisis físico-químico, informe septiembre 2022. Fuente: adaptado de Instituto de Desarrollo Costero, 2022. 56
Tabla 13. Clasificación de sedimentos según Resolución Nº 263/19. 57
Tabla 14. Análisis de los resultados obtenidos para sedimentos según Res. 263/19 del Ministerio de Ambiente de Bs. As. Fuente: elaboración propia a partir de Instituto de Desarrollo Costero, 2022. 58
Tabla 15. Análisis de los resultados obtenidos para sedimentos según Res. 263/19 del Ministerio de Ambiente de Bs. As. Fuente: elaboración propia a partir de Instituto de Desarrollo Costero, 2022. 59
Tabla 16. Coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo (WGS 84). Fuente: Instituto de Desarrollo Costero, 2022. 64
Tabla 17. Resultados del análisis granulométrico, informe mayo 2023. Fuente: adaptado de Instituto de Desarrollo Costero, 2023. 65
Tabla 18. Resultados del análisis físico-químico, informe mayo 2023. Fuente: adaptado de Instituto de Desarrollo Costero, 2023. 66
Tabla 19. Niveles guía norma canadiense. Fuente: Canadian Sediment Quality Guideline for the Protection of Aquatic Life (CEQG). 67
Tabla 20. Valores de los parámetros físico-químicos del agua de mar en el puerto de Comodoro Rivadavia y zonas aledañas. Fuente: Instituto de Desarrollo Costero, 2022. 69
Tabla 21. Comparación resultados de calidad de agua superficial en la zona de dragado. Fuente: elaboración propia a partir de Instituto de Desarrollo Costero, 2022. 72
Tabla 22. Comparación resultados de calidad de agua superficial en la zona de descarga. Fuente: elaboración propia a partir de Instituto de Desarrollo Costero, 2023. 80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Temperaturas media, máxima y mínima mensuales de la Estación Meteorológica Comodoro Rivadavia Aero correspondiente a los últimos 10 años (2013-2022). Fuente: SMN, 2023. 7
Figura 2. Precipitación mensual promedio (mm) de la Estación Meteorológica Comodoro Rivadavia Aero correspondiente a los últimos 10 años (2013-2022). Fuente: SMN, 2023. 7
Figura 3. Porcentaje de la frecuencia (%) de la dirección del viento (A) y la velocidad mensual promedio del viento (km/h) de la Estación Meteorológica Comodoro Rivadavia Aero de los últimos 10 años (2013-2022). Fuente: SMN, 2023. 8
Figura 4. Perfil estratigráfico correspondiente al área de estudio. Fuente: obtenido de la Carta Geológica de Comodoro Rivadavia 4566-III del SEGEMAR (Sciutto et al., 2000). 12
Figura 5. Mapa de zonificación sísmica de la Argentina. Fuente: INPRES, 2023. 14
Figura 6. Esquema geomorfológico correspondiente al área de estudio. Fuente: obtenido de la Carta Geológica de Comodoro Rivadavia 4566-III del SEGEMAR (Sciutto et al., 2000). 18
Figura 7. Tipo, morfología y estratigrafía de costas de erosión y acreción. Fuente: modificado de Codignotto, 1997. 20

Figura 8. Perfiles de las playas de Caleta Córdova (A) y El Límite (B) y porcentuales de las fracciones granulométricas a lo largo del perfil. AMG: arena muy gruesa, AM: arena media, AF: arena fina, AMF: arena muy fina. Fuente: Isla et al., 2002. 23
Figura 9. Accidentes costeros en sentido Norte-Sur (A-F) entre Punta Novales y el arroyo La Mata. Fuente: adaptado de Gómez et al., 2003. 27
Figura 10. Perfiles de playa siguiendo el recorrido Norte-Sur: Caleta Córdova (A), Cabo San Jorge (Compresora) (B), Restinga Alí (C), Km 8 (D), Barrio Usina (Km 5) (E), Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco (F), Km 3 (Restinga Coronel) (G), del Centro (H) y Barrio Stella Maris (Restinga del Sur) (I). Fuente: adaptado de Gómez et al., 2003. 29
Figura 11. Batimetría del Golfo San Jorge. Fuente: Violante et al., 2022. 31
Figura 12. Evolución temporal de altura significativa (Hs en metros) en olas locales en aguas profundas. Fuente: Serman & asociados S.A., 2023. 33
Figura 13. Evolución temporal del período pico (Tp en segundos) en olas locales en aguas profundas. Fuente: Serman & asociados S.A., 2023. 34
Figura 14. Evolución temporal de la dirección de incidencia de la ola (grados) en olas locales en aguas profundas. Fuente: Serman & asociados S.A., 2023..... 34
Figura 15. Evolución temporal de altura significativa (Hs en metros) de olas oceánicas en aguas profundas. Fuente: Serman & asociados S.A., 2023. 35
Figura 16. Evolución temporal del período pico (Tp en segundos) en olas oceánicas en aguas profundas. Fuente: Serman & asociados S.A., 2023. 36
Figura 17. Evolución temporal de la dirección de incidencia de la ola (grados) de olas oceánicas en aguas profundas. Fuente: Serman & asociados S.A., 2023..... 36
Figura 18. A) Amplitud de mareas (en colores) y líneas cotidales (líneas blancas) de la componente principal de marea semidiurna. La amplitud indica el aumento de nivel, incrementando a medida que se acerca a la costa. Las líneas cotidales son las fases donde la pleamar se da simultáneamente. B) Direcciones de circulación de corrientes en el Golfo San Jorge resultantes de los vientos dominantes del oeste. Las líneas amarillas indican la circulación en mar abierto no afectado por la configuración del golfo. Líneas azules: circulación en sentido horario. Líneas rojas: circulación en sentido antihorario. Líneas negras cortadas: divisorias de circulación. Fuente: modificado de Violante et al., 2022. 39
Figura 19. Distribución de la temperatura durante el período cálido (A) y frío (B) en la latitud 46,25°S correspondiente al Golfo San Jorge. Fuente: Baldoni et al., 2015. 41
Figura 20. Distribución de la salinidad (g/l) anual en la latitud 46,25°S correspondiente al Golfo San Jorge. Fuente: Baldoni et al., 2015. 41
Figura 21. Estilos de relleno del puerto de Comodoro Rivadavia. (A) Ubicación de secciones batimétricas arbitrarias, seleccionadas en base a los cambios batimétricos reconocidos en las figuras 12 a 19. (B) El corte 1 presenta los cambios en batimetría en el período 1996-2022 en una dirección aproximadamente longitudinal respecto a la morfología general del relleno, con patrón agradacional. (C) Corte SO-NE, evidenciando el desarrollo de un cuerpo de base plana y techo convexo que ha agradado más de 1,5 m luego de alcanzar el nivel de roca del sustrato. En ambos cortes en color gris se representa la topografía del año 1996. Fuente: Paredes y otros, 2023. 44
Figura 22. Estaciones de muestreo ubicadas en el área pasible de ser dragada y áreas adyacentes hacia el norte y noroeste del puerto de Comodoro Rivadavia. Fuente: elaboración propia a partir de Instituto de Desarrollo Costero, 2022. 49
Figura 23. Tabla Contenido de Carbono Orgánico Total (C), Nitrógeno total (N) y fracciones granulométricas (mm) en muestras de sedimento del Puerto. Fuente: Instituto de Desarrollo Costero, 2022..... 52
Figura 24. Mapa de ubicación general del área de estudio. Fuente: modificado de Instituto de Desarrollo Costero, 2023..... 63

Figura 25. Mapa de ubicación de las estaciones de muestreo en el área de estudio en el área de estudio. Fuente: modificado de Instituto de Desarrollo Costero, 2023. 64
Figura 26. Estaciones de muestreo utilizadas para la determinación de parámetros físico-químicos y bacteriológicos complementarios del agua de mar superficial. Fuente: Instituto de Desarrollo Costero, 2022..... 70
Figura 27. Variación espacial de la concentración de Bicarbonatos (mg/l) en agua de mar del puerto de Comodoro Rivadavia y zonas aledañas. Fuente: modificado de Instituto de Desarrollo Costero, 2022..... 74
Figura 28. Variación espacial de la concentración (mg/l) de Cloruros (A), Nitratos (B) y Sulfatos (C) en agua de mar del puerto de Comodoro Rivadavia y zonas aledañas. Fuente: modificado de Instituto de Desarrollo Costero, 2022. 75
Figura 29. Variación espacial de la concentración (mg/l) de Sólidos Disueltos Totales (SDT) (A) y Carbono Orgánico Total (COT) (B) en agua de mar del puerto de Comodoro Rivadavia y zonas aledañas. Fuente: modificado de Instituto de Desarrollo Costero, 2022. 76
Figura 30. Variación espacial de la concentración (mg/l) de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) (A) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) (B) en agua de mar del puerto de Comodoro Rivadavia y zonas aledañas. Fuente: modificado de Instituto de Desarrollo Costero, 2022. 76
Figura 31. Variación espacial de la concentración (NMP/100 ml) de Bacterias Coliformes Totales (A), Bacterias Coliformes Fecales (B) y *Escherichia coli* (C) en agua de mar del puerto de Comodoro Rivadavia y zonas aledañas. Fuente: modificado de Instituto de Desarrollo Costero, 2022. 77
Figura 32. Variación espacial de la concentración (mg/l) de Metales Pesados: Cadmio Total (A), Zinc Total (B), Cromo Total (C) y Cobre Total (D) en agua de mar del puerto de Comodoro Rivadavia y zonas aledañas. Fuente: modificado de Instituto de Desarrollo Costero, 2022... 78

1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se desarrolla la Línea de Base Ambiental del Medio Físico correspondiente a la zona costera del Golfo San Jorge, la cual fue desarrollada a partir de la información disponible de organismos oficiales y de datos obtenidos a partir de investigaciones realizadas por especialistas en cada uno de los temas.

El objetivo de esta Línea de Base es brindar las principales características del Medio Físico, las cuales se mencionan a continuación y son desarrolladas en las siguientes secciones:

- ✓ Climatología;
- ✓ Geología;
- ✓ Geomorfología;
- ✓ Geomorfología Costera; y
- ✓ Oceanografía
- ✓ Caracterización de calidad de sedimentos
- ✓ Caracterización de calidad de agua

La información que aquí se presenta, se tendrá en cuenta en el análisis de sensibilidad ambiental y en la evaluación de los impactos ambientales potenciales y vinculados al dragado del puerto Comodoro Rivadavia y posterior deposición de los sedimentos.

2 CLIMATOLOGÍA

2.1 INTRODUCCIÓN

La descripción de la climatología del área de estudio se realizó a partir del análisis de las principales variables meteorológicas, tales como temperatura, precipitación y vientos. Asimismo, se tuvieron en cuenta la ocurrencia de fenómenos meteorológicos relevantes, como tormentas eléctricas, granizo, nieve y niebla. Dicha información correspondió a los últimos 30 años (1993-2022) y fue solicitada al Servicio Meteorológico Nacional para la Estación Meteorológica Comodoro Rivadavia Aero ubicada en el aeropuerto de dicha ciudad (45°47'S y 67°30'O, 46 msnm) (SMN, 2023).

2.2 TEMPERATURA

La temperatura media anual para el período 1993-2022 fue de 13,3°C, con medias de 18,9°C en verano y de 7,7°C en invierno. Las temperaturas máximas se dan principalmente entre diciembre y febrero (25,0 – 26,3°C) y las mínimas entre mayo y septiembre (2,9 - 5,7°C) (Figura 1).

Con el fin de graficar la variación de la temperatura anual del área de estudio, se consideró la información meteorológica más actual y por este motivo se tuvieron en cuenta los últimos 10 años de datos (2013-2022), los cuales se encuentran representados en la Figura 1.

Los valores obtenidos para los últimos 10 años fueron similares a los del periodo de 30 años, ya que la temperatura media anual fue de 13,7°C. Durante el año, la temperatura media alcanzó 7,3°C en julio y 19,8°C en enero (Figura 1). Las temperaturas máximas ocurren en verano (diciembre-febrero) variando entre 25,5 y 26,5°C. Mientras que las temperaturas mínimas se dan en invierno (junio-agosto) alcanzando valores de entre 3,4 y 4,6°C (Figura 1).

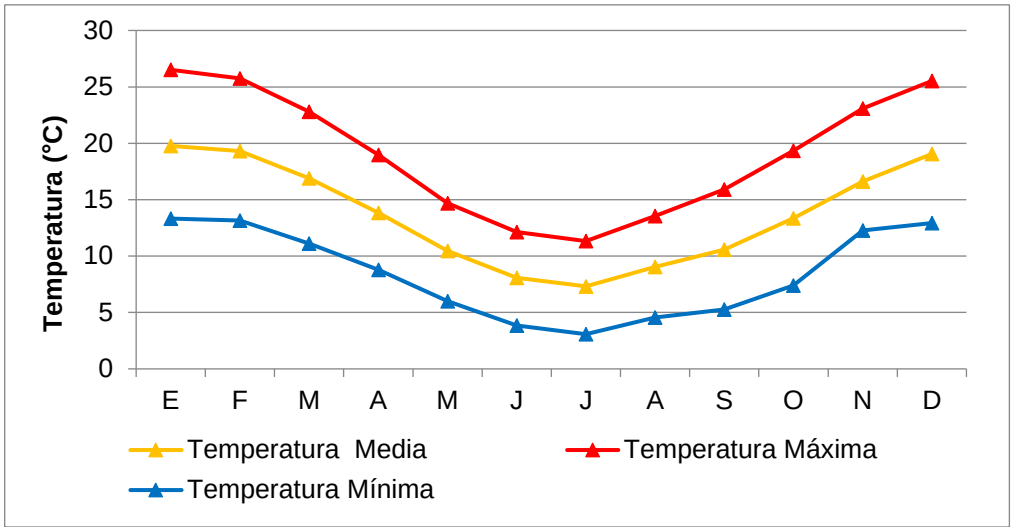


Figura 1. Temperaturas media, máxima y mínima mensuales de la Estación Meteorológica Comodoro Rivadavia Aero correspondiente a los últimos 10 años (2013-2022). Fuente: SMN, 2023.

2.3 PRECIPITACIÓN

La precipitación media anual para el período de 30 años fue de 251 mm y para los últimos 10 años resultó ligeramente mayor (269 mm).

En la Figura 2 se indica la precipitación mensual promedio correspondiente a los últimos 10 años. Los meses más lluviosos fueron marzo y abril con un valor medio de 52 y 42 mm, respectivamente. Mientras que el período de sequía se extendió de octubre a febrero (6 – 16 mm).

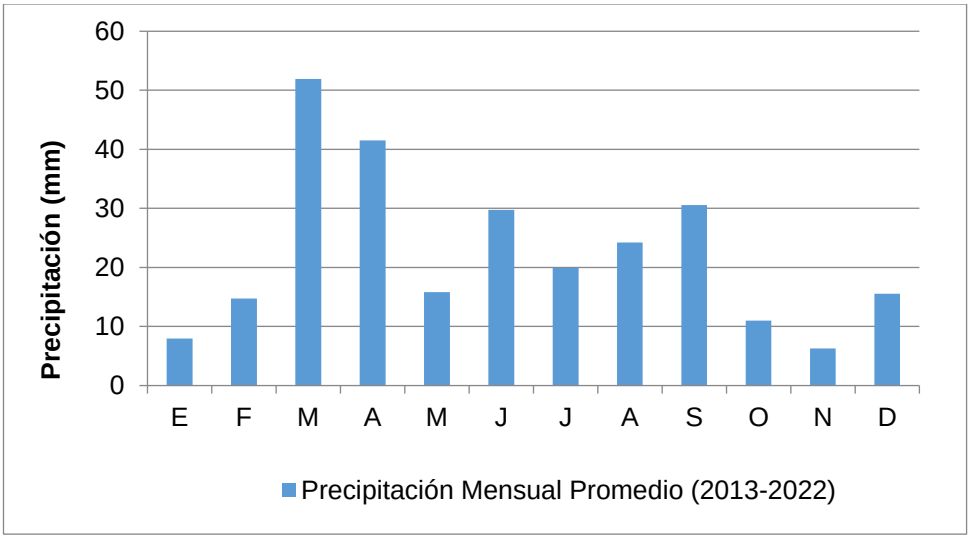


Figura 2. Precipitación mensual promedio (mm) de la Estación Meteorológica Comodoro Rivadavia Aero correspondiente a los últimos 10 años (2013-2022). Fuente: SMN, 2023.

2.4 VIENTO

Durante los últimos 10 años (2013-2022), los vientos predominates fueron del O (25%) y del ONO (22%) (Figura 3A), alcanzando una velocidad media anual de 20,2 km/h. Los vientos más intensos ocurrieron en verano (diciembre-enero), alcanzando entre 24,5 y 23,4 km/h, respectivamente. Disminuyeron hacia fines del verano y comienzo del otoño (febrero-mayo), donde la mínima velocidad promedio fue de 16,5 km/h en mayo y comenzó a aumentar nuevamente a partir del invierno (Figura 3B).

Si se considera el período de 30 años, los parámetros anteriores presentaron valores similares, ya que la velocidad media anual resultó de 21,4 km/h, con vientos predominates del O (28%) y del ONO (18%).

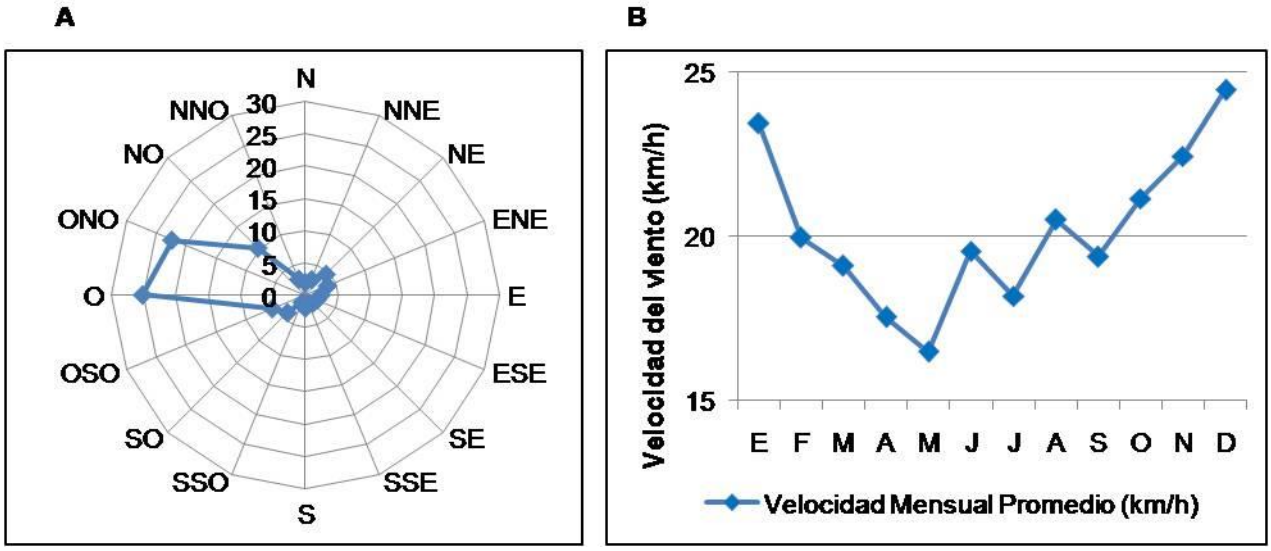


Figura 3. Porcentaje de la frecuencia (%) de la dirección del viento (A) y la velocidad mensual promedio del viento (km/h) de la Estación Meteorológica Comodoro Rivadavia Aero de los últimos 10 años (2013-2022). Fuente: SMN, 2023.

2.5 FENÓMENOS METEOROLÓGICOS RELEVANTES

En la Tabla 1 se indica la cantidad de días promedio donde ocurrieron fenómenos meteorológicos relevantes, tales como tormentas eléctricas, granizo, nieve y niebla, durante los últimos 10 años (2013-2022), basados en datos de la Estación Meteorológica de Comodoro Rivadavia, provistos por el SMN (2023).

Los fenómenos meteorológicos relevantes considerados en general fueron poco frecuentes, ya que anualmente no superaron los 5 días en promedio. Las tormentas eléctricas y la niebla resultaron ser los más frecuentes.

Durante los últimos 10 años, todos los meses tuvieron por lo menos algún fenómeno, ocurriendo 3 de ellos en la mayoría. En todos los casos la duración mensual fue <2 días y de 15 días de forma anual.

Tabla 1. Cantidad de días promedio con presencia de fenómenos meteorológicos relevantes durante el período 2013-2022 en la Estación Meteorológica Comodoro Rivadavia Aero. Fuente: SMN, 2023.

Fenómeno Meteorológico	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Tormentas eléctricas	0,9	1,5	1,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,6	0,7	**5,3**
Granizo	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,2	0,6	0,4	0,1	0,4	**2,1**
Nieve	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,6	0,5	0,1	0,1	0,0	0,0	**3,3**
Niebla	0,3	0,5	0,3	1,0	0,1	0,0	0,2	0,8	0,2	0,3	0,7	0,2	**4,6**
Al menos alguno	1,3	2,0	1,3	1,4	0,1	1,1	1,9	1,5	0,9	1,1	1,4	1,3	**15,3**

3 GEOLOGÍA

El Golfo San Jorge, es una cuenca semi abierta de 40.000 km^2 y el mayor golfo del litoral marítimo argentino. Millones de años de procesos geológicos y sucesivos avances y retrocesos del mar fueron moldeando su actual fisonomía. Las áreas próximas a los cabos están formadas por rocas volcánicas (basaltos), mientras que las costas interiores son producto de procesos erosivos y de sedimentación (Dans et al., 2020).

La evolución sedimentaria de la cuenca del Golfo San Jorge estuvo regulada por ciclos tectónicos y climáticos que otorgaron patrones característicos a la organización estratigráfica de las unidades involucradas, cuyo estudio es de relevancia académica e industrial (Paredes et al., 2022).

A continuación, se describen las características geológicas del área de estudio en cuanto a los siguientes aspectos:

- ✓ Geología Local
- ✓ Sismos y Actividad Volcánica

3.1 GEOLOGÍA LOCAL

El área de estudio se ubica dentro del Golfo San Jorge, el cual pertenece a la provincia geológica denominada “Meseta Patagónica Norte” (Ramos, 1999).

Se entiende como provincia geológica a la región caracterizada por una determinada sucesión estratigráfica, un estilo estructural propio y rasgos geomorfológicos peculiares, siendo el conjunto expresión de una particular historia geológica (Rolleri, 1976).

Las rocas más antiguas aflorantes en este sector corresponden a depósitos paleocenos, tanto marinos como continentales. Estos últimos son portadores de una abundante fauna de mamíferos paleógenos. Estas unidades están cubiertas por depósitos piroclásticos eoceno-oligocenos, que en el sector más oriental están subyaciendo a los depósitos marinos de la transgresión patagoniana. Los depósitos continentales, de origen fluvial, con clásicas faunas de mamíferos, caracterizan a la Formación Santa Cruz del Mioceno medio (Ramos, 1999).

Estas mesetas se desarrollan sobre la cuenca del Golfo San Jorge, que en el subsuelo está caracterizado por una serie de depósitos de sinrift de edad liásica a jurásica media, que son cubiertos por secuencias neojurásicas y cretácicas tempranas asignadas al Grupo Chubut. La estructuración extensional de la cuenca es dominantemente este-oeste en la región de las mesetas y se extiende costa afuera con igual constitución y diseño estructural (Lesta, 1968; Ramos, 1999).

El rasgo más característico de esta región lo constituyen las mesetas basálticas con coladas y cuellos volcánicos. Las rocas más antiguas aflorantes en estas mesetas corresponden a rocas hipabisales de la Formación Canquel, que caracterizan a los cuerpos subvolcánicos de edad eocena. Los derrames principales les corresponden a basaltos de plateau de composición alcalina y de edad oligocena a miocena.

El sector oriental está caracterizado por planicies sobreelevadas, como las pampas de Castillo y Salamanca, que se caracterizan por su cubierta de rodados patagónicos. Estos se corresponden a depósitos fluvioglaciarios desarrollados durante los estadíos de deshielo, que formaron amplias planicies fluviales de grava, actualmente disectadas por un descenso del nivel de base (Ramos, 1999).

A continuación, se muestra el perfil estratigráfico correspondiente al área de estudio, el cual se obtuvo de la Carta Geológica de Comodoro Rivadavia (4566-III) emitida por el Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) (Sciutto et al., 2000) (Figura 4). Dicha carta abarca una parte del sector norte de la cuenca del Golfo San Jorge, donde la localidad principal es Comodoro Rivadavia.

Formación Marifil (Jurásico)

En el perfil estratigráfico se observa que las rocas aflorantes más antiguas son las del complejo ígneo-volcano-sedimentario del Jurásico denominado Complejo Marifil. Está constituido por riolitas, ignimbritas, brechas y aglomerados. Los principales afloramientos se observan en la costa, en los cerros Tetas de Pineda, Ea. El Linyera y en el zanjón de Paso de Piedras. Estas unidades suelen presentar líneas de fracturación bien definidas (NE y NO) con algunos sectores con fuertes replegamientos. Los mayores espesores encontrados oscilan en los 270 m.

Esta Formación está cubierta en discordancia por sedimentitas marinas del Terciario temprano (Daniano) de la Formación Salamanca.

Formación Salamanca (Paleoceno inferior)

Se encuentra constituida por pelitas y psamitas con depósitos calcáreos. Los espesores no superan los 30 m. Los bancos son horizontales y hacia la parte superior aumenta el contenido de arena. Uno de los principales afloramientos se encuentra en los cerros Tetas de Pineda y en el tramo comprendido entre Puerto Visser y Bajada de Hansen. Considerando el perfil de este último lugar se aprecia que la sección inferior es arcillosa, mientras que en los términos superiores aparecen niveles de yeso y concreciones calcáreas con intercalaciones de arcilitas y limolitas. La sección media presenta una alternancia de psamitas y limolitas con yeso y por encima de la sección superior aparece un estrato de tobas y limolitas.

Sobre la Fm. Salamanca y transicionalmente se registran las sedimentitas continentales de las Formaciones Río Chico (engranaje lateral con la anterior) del Paleoceno superior y Sarmiento del Eoceno-Oligoceno. A partir de esta última unidad litoestratigráfica se aprecia un considerable aumento de sedimentos píroclásticos finos en su constitución litológica.

Formación Río Chico (Paleoceno superior a medio)

Consiste en una secuencia de arcillas, areniscas, conglomerados y tobas, con un espesor que alcanza los 250 m. La sección inferior está constituida por paratufitas mientras que en la superior son frecuentes las arcillas y areniscas. Se encuentran amplios afloramientos entre la costa y la Pampa de Salamanca con una estratificación tabular.

Formación Sarmiento (Eoceno-Oligoceno)

Conformada por areniscas, areniscas tobáceas y tufitas arcillosas. Uno de los principales afloramientos se puede observar en el cañadón Pilar.

Continúan las sedimentitas marinas del Patagoniano, Formación Chenque o Formación Patagonia, que rellenan una cuenca amplia y muy engolfada, llegando en su avance final hacia el oeste hasta las primeras estribaciones de la Cordillera de los Andes.

Formación Chenque (Oligoceno-Mioceno)

Son depósitos marinos que se ubican en las partes más altas de los bordes de las “pampas”. Los afloramientos están constituidos por areniscas, arcilitas y coquinas, éstas últimas se destacan en el perfil por su mayor resistencia a la erosión.

Transicionalmente y con un límite difícil de precisar, se pasa nuevamente a un ambiente continental, perteneciente a la Formación Santa Cruz.

Formación Santa Cruz (Mioceno)

Son depósitos continentales que afloran esporádicamente en las partes altas de las barrancas constituidos por areniscas, tobas y tufitas.

En clara discordancia erosiva se deposita el nivel más antiguo de las extensas gravas denominadas Rodados Patagónicos, del Plioceno o Pleistoceno.

Rodados Patagónicos (Plioceno superior-Pleistoceno)

Se denomina así a las gravas que cubren a la Meseta de Montemayor, continuándose en las Pampas de Malaspina y Salamanca. Posee un suelo esquelético con limos loessoides, bancos de rodados con entoscamiento y limo arenoso.

Depósitos sobre pedimentos (Pleistoceno-Holoceno)

Estos depósitos están integrados por rodados redepositados y material psamopelítico.

Finalmente lo hacen sedimentos fluviales, eólicos, marinos y de remoción en masa del Cuaternario.

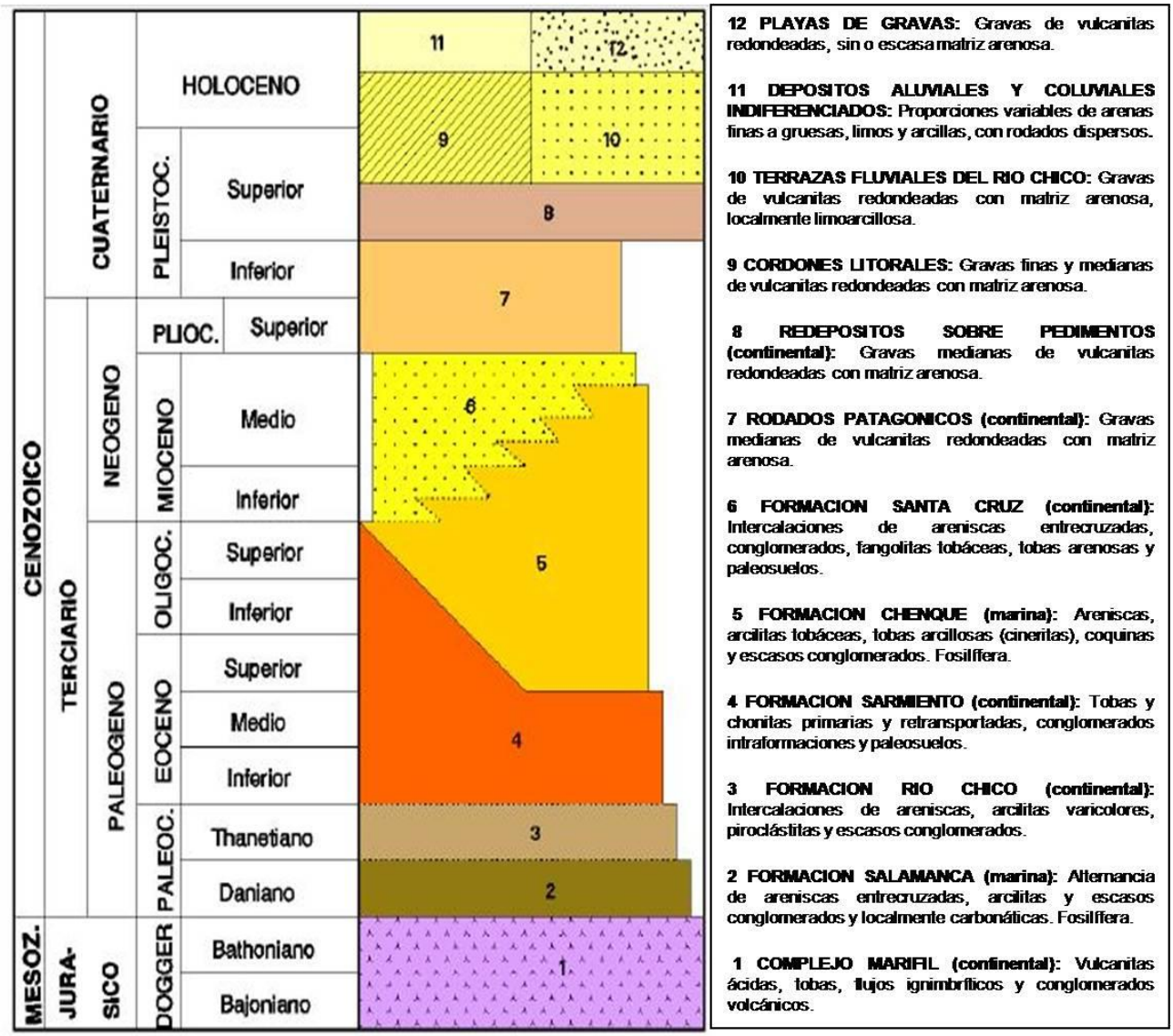


Figura 4. Perfil estratigráfico correspondiente al área de estudio. Fuente: obtenido de la Carta Geológica de Comodoro Rivadavia 4566-III del SEGEMAR (Sciutto et al., 2000).

3.2 SISMOS Y ACTIVIDAD VOLCÁNICA

El peligro sísmico, es la probabilidad de que ocurra una determinada amplitud de movimiento del suelo en un intervalo de tiempo fijado y depende del nivel de sismicidad de cada zona.

Los Mapas de Zonificación Sísmica individualizan zonas con diferentes niveles de Peligro Sísmico. En el Mapa de Zonificación Sísmica elaborado por el INPRES (Instituto Nacional de Prevención Sísmica), se encuentran identificadas 5 zonas. Un valor que permite comparar la actividad sísmica en cada una de ellas es la máxima aceleración del terreno para el sismo de diseño. El sismo de diseño es el resultado del análisis de los diferentes terremotos registrados en el país y en otros lugares del mundo con características sísmicas similares a las nuestras. En general, se adopta el movimiento más destructivo que puede ocurrir en una determinada zona, con una recurrencia de 500 años. Cabe destacar que la aceleración del terreno se expresa en unidades de "g", siendo "g", la aceleración de la gravedad.

Los requerimientos reglamentarios dependen de la zona donde se encuentre emplazada la obra, siendo más severos para la zona 4 y disminuyen a medida que se reduce la peligrosidad sísmica de la zona correspondiente (INPRES, 2023). En base al mapa de zonificación sísmica (Figura 5), el área de estudio se ubica en una zona con muy reducida peligrosidad sísmica, debido a que la aceleración máxima del terreno es de 0,04g.

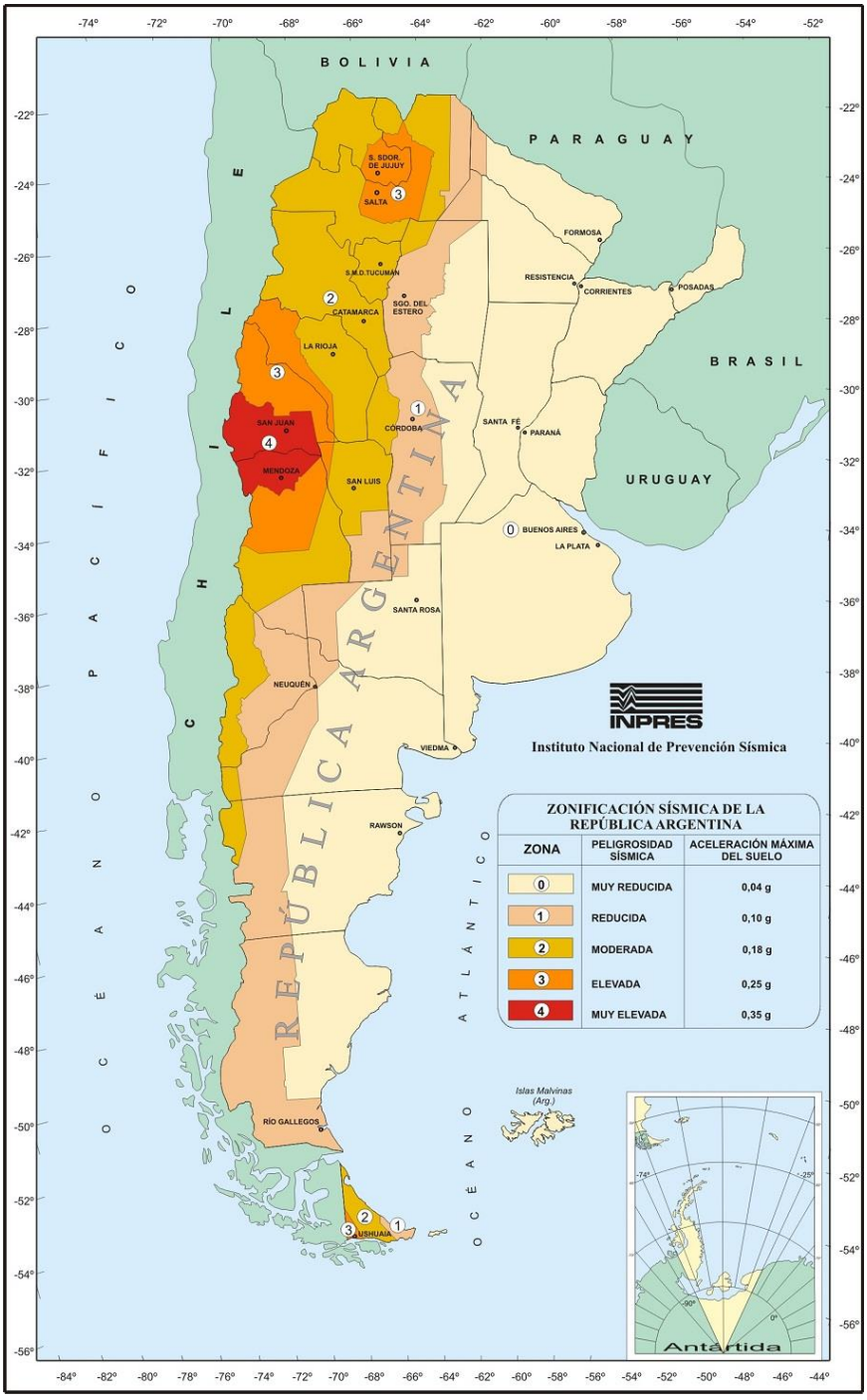


Figura 5. **Mapa de zonificación sísmica de la Argentina. Fuente: INPRES, 2023.**

4 GEOMORFOLOGÍA

Para llevar a cabo la descripción geomorfológica del área de estudio se tuvo en cuenta la Hoja Geológica 4566-III perteneciente a la localidad de Comodoro Rivadavia elaborada por el SEGEMAR (Sciutto et al., 2000).

4.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

En el área de estudio se identificaron 10 unidades geomorfológicas según Sciutto et al. (2000), las cuales se indican en la Figura 6 y son descriptas a continuación:

1. Relieve estructural disectado
2. Antiguas planicies fluvioglaciales terrazadas
3. Pedimentos
4. Terrazas del río Chico y valle Hermoso
5. Llanura aluvial del río Chico
6. Badlands
7. Deslizamientos
8. Bajos con lagunas temporarias
9. Cordones litorales
10. Plumas eólicas

1. Relieve estructural disectado

Corresponde al faldeo oriental con pendiente acentuada de la meseta de las pampas del Castillo y de Salamanca. Este relieve está labrado sobre sedimentitas poco consolidadas a friables de Formaciones Chenque (inferior) y Santa Cruz (superior). La estratificación es subhorizontal, con una pendiente menor a los 2° hacia el SSE, centro de la cuenca cretácico-terciaria.

La litología corresponde a sedimentos arenoarcillosos. En un perfil a la altura de Comodoro Rivadavia, entre la costa y el borde de la meseta (750 msnm) se distinguen los siguientes sectores: a) de la costa hasta la cota de 350/400 msnm, la Formación Chenque, la cual presenta arcilitas, areniscas arcillosas y bancos calcáreos con ostras. Estos materiales mantienen gran parte de sus sales originales, mayormente sulfato y cloruro de sodio que originan bajos salitrosos; b) por encima de dicha cota, los sedimentos se hacen más arenosos y permeables, aunque conservan cierto carácter arcilloso en algunas partes. Estos bancos arenosos pasan en transición a las areniscas tobáceas de la Formación Santa Cruz. Por encima de los 400 msnm aparecen manantiales de agua potable. Efectos erosivos importantes se manifiestan en los numerosos cañadones que bajan de la meseta.

2. Antiguas planicies fluvioglaciales terrazadas

Estas planicies, actuales mesetas, con una pequeña pendiente hacia el NE, fueron generadas posiblemente durante el retroceso de la glaciación pliocena. Corresponden a la zona proglacial o de outwash y comprende depósitos de gravas arenosas de tamaño variable, pero que disminuyen hacia el NE. Los espesores oscilan entre unos pocos a unos 20 m. En varios sectores son visibles los paleocanales de diseño entrelazado y bordes de terrazas. Estas últimas indican distintas reactivaciones erosivas por ascenso continental. La intensidad de este ascenso y la erosión diferencial subsiguiente queda evidenciada por una inversión del relieve que afecta a toda la zona, donde las gravas arenosas, depositadas en estos amplios valles, están actualmente coronando mesetas.

En las gravas arenosas se desarrollan niveles de carbonato de calcio de espesores y consistencia variables. En su superficie y con espesores de 20 á 30 cm, se adicionó material arcilloso proveniente principalmente de la erosión eólica de las unidades terciarias que rodean la meseta. Esto restringe la infiltración de las precipitaciones, permitiendo una mayor retención de la humedad en superficie.

3. Pedimentos

Son planos de erosión labrados sobre las sedimentitas terciarias, cuya descripción se realizó más arriba.

4. Terrazas del río Chico y valle Hermoso

Corresponden a la época en que el río Senguerr circulaba por el valle Hermoso y el río Chico desembocaba en el río Chubut, antes que el mismo fuera capturado y desviado hacia el gran bajo de Sarmiento, en la zona denominada Codo del río Senguerr.

Comprenden depósitos de gravas y arenas, parcialmente erosionados y presentan un agregado superficial de material arcilloso.

Los bordes de estas terrazas cortan a los pedimentos por lo tanto, son más modernas que éstos.

5. Llanura aluvial del río Chico

El cauce del río Chico se sobreimpone, sobre la misma traza, a aquél dejado por el río Senguerr, que nace por desborde del lago Colhue Huapi. Por avance de la aridez luego de la última glaciación, el nivel del mencionado lago queda por debajo del umbral de salida del río, que ve cortada su alimentación. La llanura aluvial es abandonada, el cauce sólo tiene circulación por tramos, en años de precipitaciones excepcionales, y sobre los depósitos gravo-arenosos se instala un manto de arena fina, arcillosa, traída por el viento desde los bordes S y E del lago Colhue Huapi, donde afloran las sedimentitas terciarias y cretácicas.

Estos depósitos superficiales finos están sujetos a una fuerte deflación, especialmente en los años muy secos.

6. Badlands

Corresponden a sectores de las unidades 1 y 3 que se diferenciaron por presentar graves efectos de erosión hídrica y eólica. Se caracterizan por la falta casi total de cobertura vegetal y un relieve accidentado, con gran cantidad de cañadones.

7. Deslizamientos

Bordean algunos sectores de las mesetas de gravas coronadas por bancos de areniscas cementadas con carbonato de calcio. Son de tipo rotacionales, con plano de deslizamiento curvo, tomando el bloque asentado una pendiente hacia el borde de la meseta. Esta contrapendiente, origina multitud de lagunas temporarias, subparalelas al borde de la meseta.

Las zonas deslizadas presentan un paisaje muy áspero, donde se mezclan bloques rocosos duros y sedimentos sensibles a la erosión hídrica y eólica. En años de buenas precipitaciones, suelen aparecer numerosos manantiales pequeños.

En general los deslizamientos están inactivos, habiéndose generado en épocas anteriores, de mayores precipitaciones que las actuales, posiblemente relacionadas con las glaciaciones de la cordillera. No obstante, donde la erosión es muy fuerte y renueva las condiciones de inestabilidad del talud, pueden producirse nuevos deslizamientos, coincidentemente con años lluviosos. Esto puede verse en el sector del pico Salamanca, al N de la bahía Solano, donde se produjeron deslizamientos de rocas ya deslizadas previamente; en este caso, los asentamientos viejos pierden estabilidad por la erosión marina.

Estos deslizamientos también pueden producirse donde la actividad humana realiza riegos excesivos o taludes con demasiada pendiente en la construcción de caminos.

8. Bajos con lagunas temporarias

Los bajos endorreicos se forman sobre sedimentos fácilmente erosionables, tanto por el agua como por el viento. Durante el invierno y la primavera se originan lagunas temporarias que meteorizan estos materiales; en el verano, los fuertes vientos secan la laguna y extraen grandes volúmenes de arena, limo y arcilla, profundizando continuamente el bajo.

Son visibles antiguas líneas de costas contorneando estos bajos, que marcan niveles excepcionales de las lagunas.

Por las características impermeables del sedimento, la gran variación de humedad y la fuerte erosión, la cubierta vegetal es inexistente. En algunos casos, de acuerdo a la composición de los sedimentos subyacentes o circundantes se forman salinas.

9. Cordones litorales

Se reconocieron numerosos y amplios cordones litorales que incluyen una abundante fauna fósil, fundamentalmente en la estancia La Ibérica, bahía Bustamante, caleta Malaspina, oeste de la península Aristizábal y bahía Solano.

Estos cordones son de gravas arenosas y aparecen subparalelos a la costa, en distintas cotas, que corresponden a épocas de diferentes niveles del mar. Los mismos están muy localizados y son originalmente muy permeables. Al igual que la unidad 2, por lo común presentan una infiltración arcillosa en su parte superficial, restringiendo la permeabilidad. Tienen escasa cobertura vegetal.

Entre los distintos grupos de cordones, aparecen zonas deprimidas, limoarcillosas, donde se forman lagunas temporarias.

10. Plumas eólicas

Se distinguen por su dirección dominante O-E, bordes rectilíneos y poseen cubierta vegetal. Constituyen mantos muy delgados de arena fina y arcillosa, esta última, cuando se seca y se fracciona en pequeñas partículas, es transportada por el viento como si fuera arena.

Las plumas se originan en aquellos lugares de fuerte meteorización y erosión de los sedimentos: badlands, llanuras aluviales abandonadas y bajos. A estas zonas naturales, hay que agregar los sectores de sobrepastoreo o excesiva construcción de explanadas, líneas sísmicas y caminos petroleros, que deterioraron la cubierta vegetal.

Cuando el volumen de arena en transporte es importante, suelen formarse médanos al resguardo del relieve irregular o verdaderos barjanes, como se observa en las costas del lago Colhue Huapi en años secos.

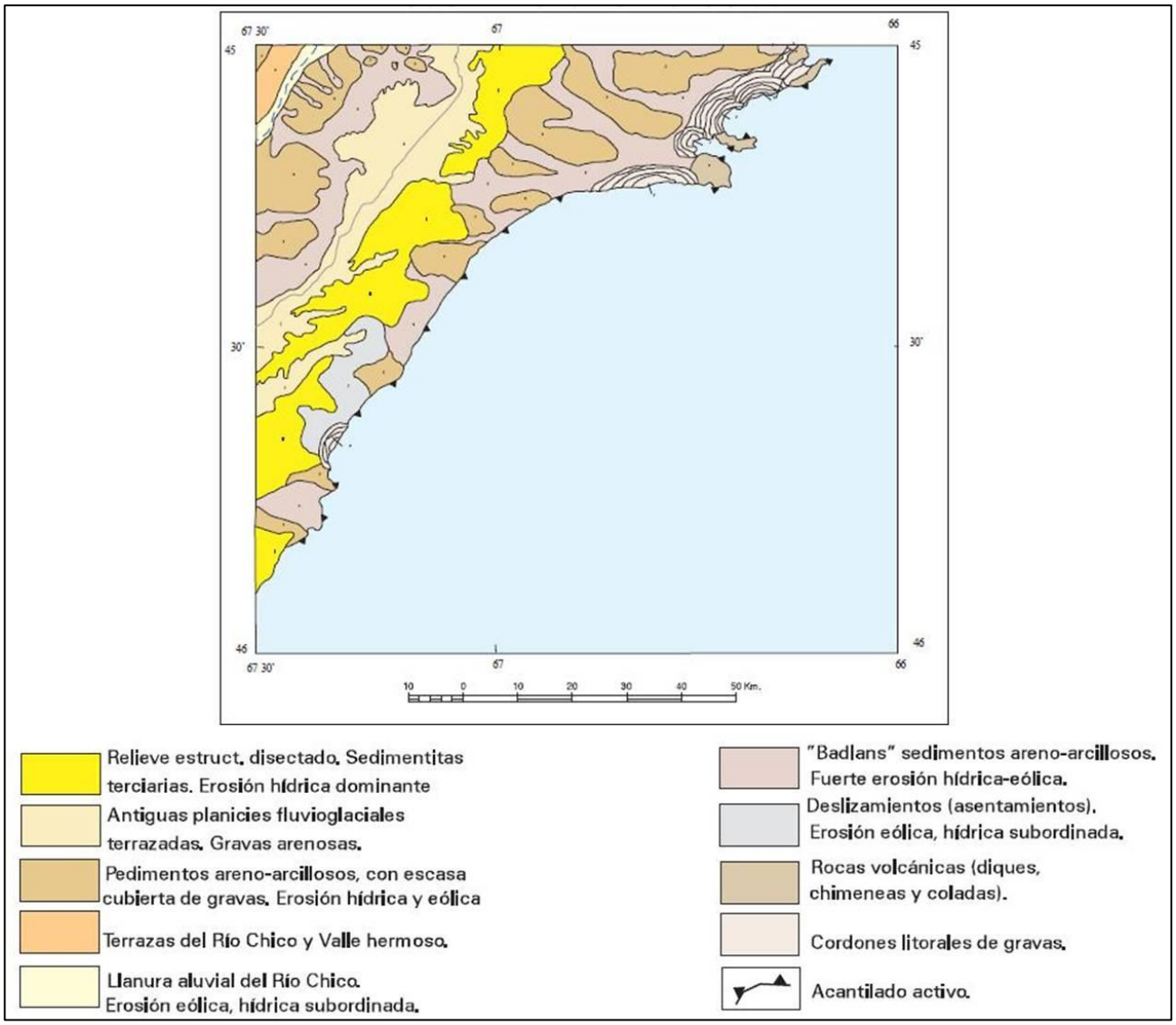


Figura 6. Esquema geomorfológico correspondiente al área de estudio. Fuente: obtenido de la Carta Geológica de Comodoro Rivadavia 4566-III del SEGEMAR (Sciutto et al., 2000).

5 GEOMORFOLOGÍA COSTERA

5.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La descripción geomorfológica costera del área de estudio se basó en consultas de la bibliografía disponible, donde se destacan los trabajos realizados por Codignotto et al. (1992; 1993) y Codignotto (1997; 2022).

El ambiente litoral constituye un sistema dinámico que involucra procesos geológicos, físicos y morfodinámicos. Sin embargo, el ambiente costero responde principalmente a las olas y las corrientes costeras. En consecuencia, las costas están sometidas a la erosión debida al oleaje, al balance del transporte de sedimentos ocasionado por la deriva litoral y al ascenso del nivel del mar (Codignotto, 2022).

La costa de la provincia del Chubut puede dividirse en tres sectores: el norte, el central y el sur, siendo los dos últimos los que abarcan el área de estudio.

El sector costero central presenta un contorno sinuoso con numerosos islotes donde afloran volcanitas. Mientras que el sector costero sur presenta mayormente un contorno rectilíneo (a excepción de la bahía Solano y Rada Tilly) y está afectado fundamentalmente por fenómenos erosivos. En Rada Tilly, los depósitos cordoniformes no presentan indicios de deriva y están constituidos por gravas, cubiertos por depósitos eólicos y por el ámbito urbano. En el área de bahía Solano existe una leve corriente de deriva hacia el sur y se visualizan rasgos geomorfológicos de acreción con deriva. Por otro lado, a medida que se ingresa en sectores costeros constituidos por volcanitas, las corrientes tienden a debilitarse y a ser poco significativas. La ciudad de Comodoro Rivadavia se encuentra sobre una terraza marina ubicada entre los 10 y los 12 msnm, constituida por arena y grava (Codignotto, 2022).

La faja costera corresponde a una costa de margen pasivo con una extensa plataforma continental, lo que supone cierta estabilidad tectónica. Su evolución se puede dividir en dos componentes: a) diseños geomorfológicos que representan desplazamientos horizontales, y b) desplazamientos verticales que acreditan los fenómenos de neotectonismo (Codignotto et al., 1992;1993; Codignotto, 1997).

Los desplazamientos en el plano horizontal de la línea de costa están representados por fenómenos de erosión y acreción. Las formas resultantes de estos procesos que se encuentran en el área costera se agrupan en dos sectores principales: 1) ubicado al norte de los 39°S, donde existen importantes fenómenos de acreción; y 2) ubicado al sur de los 39°S donde predominan las áreas de erosión. En el límite de ambos sectores se registra un cambio del régimen y amplitud de la marea (Codignotto, 1997).

Debido a que el área de estudio se encuentra al sur de los 39°S, está representada principalmente por significativas áreas en erosión donde se registraron, en un lapso que no fue posible cuantificar durante el Holoceno, retrocesos mínimos de la costa del orden de los 20 km, equivalentes a una superficie de 500 km^2 (Codignotto et al., 1993).

Desde el punto de vista de los fenómenos de erosión y acumulación, los tipos de costas patagónicas pueden agruparse en tres clases principales: 1) Costas de retrogradación; 2) Costas estacionarias y 3) Costas de progradación (Codignotto, 1997). El primer tipo de costa se vincula con procesos de erosión, el segundo con procesos de erosión y acreción en equilibrio dinámico, y el tercero con procesos de acreción.

En las siguientes secciones se describen los procesos de erosión y acreción marina y los fenómenos involucrados en la erosión hídrica en el área de estudio.

5.2 GEOFORMAS DE EROSIÓN MARINA

Cuando los trenes de ola inciden sobre la costa con cierto ángulo, el agua producto de la ruptura de la ola sube por la playa con ese ángulo, pero cuando la energía de ruptura se agota, el agua vuelve al mar según la máxima pendiente, de modo que se genera el movimiento de las partículas de agua a lo largo de la costa. Este movimiento ácueo constituye la corriente de deriva y se la conoce como deriva litoral ya que transporta sedimentos. El material así transportado se deposita en las entradas de la costa. En una bahía, el sedimento se deposita en continuidad morfológica con la línea de costa, originándose una espiga en gancho recurvada con su extremo libre hacia el interior de la bahía (Codignotto, 1997).

En el área de estudio, los acantilados activos corresponden al tipo de costa de retrogradación (Figura 7), son costas de erosión y son muy comunes a lo largo de la costa patagónica, como por ejemplo aquellas que se encuentran al sur de Comodoro Rivadavia. Estos fenómenos erosivos tienen su mayor magnitud donde el rango de mareas y de energía de ola presentan valores elevados (Codignotto, 1997).

Asociada a los acantilados se encuentra una estrecha plataforma de erosión elaborada sobre volcanitas, la cual es conocida con el nombre de restinga, que evidencia el retroceso de la línea de costa (Codignotto, 2022).

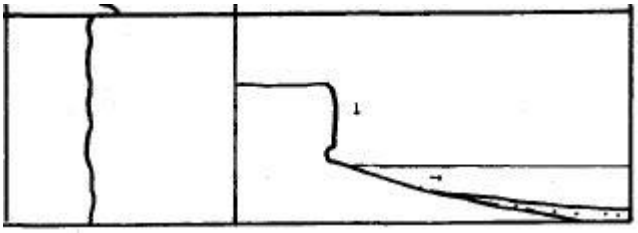
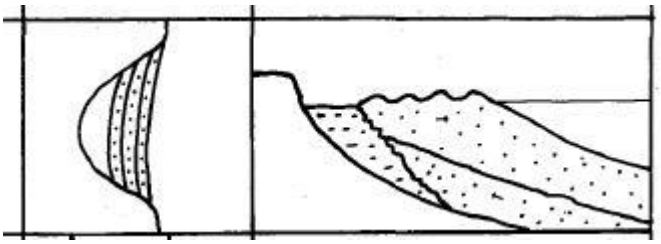
Tipo de costa		Morfología y Estratigrafía
Retrogradación	Acantilado activo (costa de erosión)	
Progradación	Crestas de playa (costa de acreción)	

Figura 7. Tipo, morfología y estratigrafía de costas de erosión y acreción. Fuente: modificado de Codignotto, 1997.

5.3 GEOFORMAS DE ACRECIÓN MARINA

A lo largo de la playa y en la parte sumergida de la misma hay material clástico en proceso de transporte. Cuando se producen en coincidencia la mayor tormenta con la mayor amplitud de marea, el oleaje alcanza los niveles más altos, depositando el material clástico de la playa sumergida a la playa propiamente dicha, generando un depósito con forma de montículo longilíneo paralelo o subparalelo a la lineación general de la costa. Este depósito por su posición altimétrica quedará alejado de los embates de las olas en tiempos de calma. Durante este tiempo la playa sumergida es reabastecida de material clástico por el fenómeno de la deriva litoral. Cuando se produce un nuevo pulso energético, se deposita otro montículo longilíneo, paralelo, adosado al anterior. Estas formas se conocen como crestas de playa. Cuando el fenómeno se repite, la primera cresta de playa queda cada vez más lejos del mar debido a la interposición de nuevas y sucesivas crestas de playa (Codignotto, 1997).

Las crestas de playa son costas de progradación cuyo proceso de formación se vincula con fenómenos de acreción marina (Figura 7). Este tipo de costa está conformado por depósitos clásticos arenosos o gravosos con o sin bioclastos. Como señalamos anteriormente, cada pulso de acreción queda representado morfológicamente por un depósito longilíneo levemente elevado, paralelo o subparalelo a la lineación de la costa. Este proceso puede rellenar bahías, total o parcialmente como por ejemplo la bahía Solano y Rada Tilly. Los fenómenos de progradación tienen su mayor manifestación en sectores con bajos valores de rangos de mareas y de energía de ola (Codignotto, 1997).

Al sur del Cabo Aristizábal, la costa se encuentra representada por grupos de cordones litorales constituidos por gravas con niveles comprendidos entre 30 y 40 msnm que reemplazan como geoformas a los afloramientos del Terciario y Cuaternario dominantes en los 60 km al sur de dicho cabo. En esa zona comienzan los afloramientos del Jurásico. En el Cabo Aristizábal afloran volcanitas ácidas de la Fm. Marifil (Codignotto, 2022).

La presencia de vulcanitas en la zona determinó una costa recortada, con profundas caletas, bahías y penínsulas, donde se destacan espigas y tómbolos. Las espigas constituyen zonas de acreción con deriva litoral, donde el crecimiento o erosión es muy lento y generalmente están en equilibrio dinámico. Por otro lado, los tómbolos son formados por el fenómeno de difracción de los trenes de olas (Codignotto, 1997; 2022).

En Bahía Bustamante los cordones litorales muestran buena estratificación en capas de 10 a 50 cm de espesor, horizontales o levemente inclinadas, a 10 msnm. Dichos cordones están representados por conglomerados y areniscas, consolidados a friables y gravas, arenas y limos con conchillas (Codignotto, 2022).

5.4 EROSIÓN HÍDRICA

Las olas, las corrientes y las mareas son los pulsos energéticos que modelan las áreas costeras. El conocimiento de ciertos fenómenos producidos por las olas y las corrientes es esencial para comprender la evolución del paisaje.

Las olas, al acercarse a la costa, pueden ser afectadas por los fenómenos de: 1) reflexión; 2) refracción y 3) difracción (Codignotto, 1997).

1. Fenómeno de reflexión

Se produce cuando los trenes de olas que se acercan a la costa con fondo empinado son reflectados hacia el mar, perdiendo por reflexión poca energía relativa. En estos casos, los fondos empinados pierden gradualmente inclinación por erosión y acumulación clástica, dando por resultado que, con el transcurso del tiempo, el movimiento ondulatorio de las partículas de agua que conforman las olas sean interferidas por el fondo cercano. Esto origina una paulatina disminución de la energía de la ola que llega a la línea de costa, llegando al punto en que la reflexión ya no es posible.

El movimiento ondulatorio de las olas es interferido por la presencia del fondo, erosionándose éste y frenándose la ola cuando se cumple la relación:

$$L/2 = d$$

Donde L es la longitud de onda del tren de olas medida entre dos crestas, y d es la profundidad al fondo medido desde la superficie del mar calmo.

2. Fenómeno de refracción

La modificación de la geometría de los trenes de olas por la interferencia con la topografía submarina produce concentración de energía sobre los cabos y una disipación en las bahías. En consecuencia, en los cabos se produce un aumento de la masa ácua y una disminución en las bahías. Esto origina una diferencia de potencial energético que se neutraliza a expensas de un flujo desde el cabo hacia la bahía. Esta corriente lleva sedimentos producidos por la destrucción de los cabos que son llevados a la bahía donde finalmente se depositan. El resultado de este proceso es el retroceso de los cabos y la progradación de las bahías.

Esta corriente a lo largo de la costa, constituye el elemento primordial en el modelado del paisaje, cuya evolución tiende a la rectificación de la línea de costa.

3. Fenómeno de difracción

La energía de la ola se transmite lateralmente a lo largo de su cresta. El efecto de la difracción se manifiesta por la propagación de las olas dentro del sector protegido de la costa, en la sombra geométrica de una barrera natural.

Esto se da cuando un sector del tren de olas es interceptado por un obstáculo natural o artificial. Si el obstáculo es una isla muy cercana a la costa se genera un tómbolo que consiste en un depósito de material clástico que une a la isla con la costa u otra isla. Lo mismo puede ocurrir si el obstáculo es artificial, como por ejemplo un rompeolas paralelo a la costa.

En el Golfo San Jorge se observa una morfología costera de tipo “relicto”, es decir, originada bajo condiciones climáticas diferentes a las actuales y en donde predominaban los procesos de depositación. Los actuales ríos patagónicos, empobrecidos, se desplazan sobre valles sobredimensionados; esto significa que, por el caudal que transportan jamás podrían labrar los valles en los que se encuentran. El material que presentan en la desembocadura es escaso y, de hecho, ya no aportan gravas. Por lo tanto, los materiales que cubren las playas por haber sido depositados hace por lo menos unos 6000 años son depósitos “fósiles” (Iantanos, 2012).

La forma semicircular del golfo, abierta a las olas del Atlántico provoca que existan diferencias en la orientación de sus playas y por lo tanto en el efecto de los vientos dominantes del oeste. Se han reconocido playas compuestas casi exclusivamente por grava (Bahía Solano), otras están compuestas exclusivamente por arena (El Límite, Alsina, La Herradura, Rada Tilly) y otras por arena y grava (Caleta Córdova, La Lobería, Mazarredo) (Isla et al., 2002).

Dichos autores describieron dos tipos de playas con diferentes condiciones morfodinámicas, una de ellas, Caleta Córdova (CC) (45° 43´30”S, 67° 22´20”O) al norte de Comodoro Rivadavia, como ejemplo de playa reflectiva con arena gruesa y costa erosiva. La otra, El Límite (Chubut – Santa Cruz; 46° 00´S, 67° 35´25”O), ubicada al sur de la mencionada ciudad, como ejemplo de playa disipativa con arena fina y rasgos de acumulación en los sectores distales (médanos). Las playas de grava y arena no exceden los 60 m en su sector intermareal y sus pendientes superan el 10%. En cambio, las playas de arena fina tienen anchos de más de 300 m y pendientes intermareales entre 1 y 2% (Figura 8) (Isla et al., 2002).

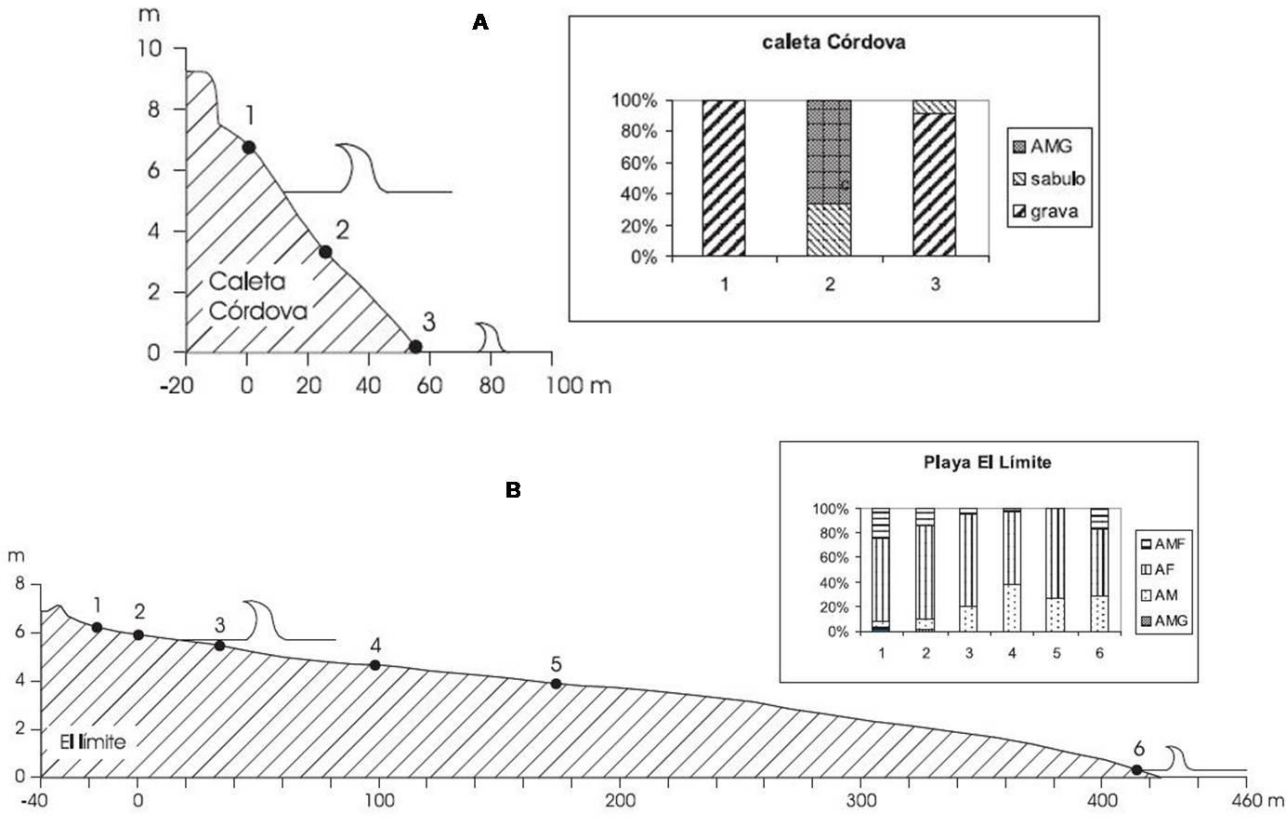


Figura 8. Perfiles de las playas de Caleta Córdova (A) y El Límite (B) y porcentuales de las fracciones granulométricas a lo largo del perfil. AMG: arena muy gruesa, AM: arena media, AF: arena fina, AMF: arena muy fina. Fuente: Isla et al., 2002.

Particularmente, en la zona de Comodoro Rivadavia las pendientes se suelen encontrar estabilizadas y el factor antrópico es el principal agente potenciador de los procesos erosivos, afectando generalmente a pendientes naturalmente estabilizadas (Tejedo et al., 1999).

Según dichos autores, la acción del escurrimiento superficial es la erosión en rills y en cárcavas que, en algunos sectores pueden ocasionar la formación de cañadones de varios metros de profundidad. Las características climáticas, escasas lluvias pero de alta intensidad, implican una alta erosividad de las precipitaciones. La situación se ve agravada en aquellos sectores en los cuales la cobertura vegetal es escasa, ya sea por las propias características de la región, como por el sobrepastoreo.

La naturaleza de los materiales superficiales también puede favorecer la erosividad de las lluvias. Los sectores más afectados por la erosión fluvial, vertical y lateral, se observan en la zona nororiental, en la cual se localizan los principales abanicos aluviales. En estos sectores, ocasionales crecidas afectaron las vías de comunicación deteriorándose los caminos, badenes y puentes.

En el sector sur, coincidiendo con la zona urbanizada, las inundaciones son frecuentes en respuesta a las grandes precipitaciones. En este caso, la ocupación de potenciales vías de escurrimiento y la impermeabilización del suelo debida a la urbanización disminuyen la capacidad de infiltración del suelo, aumentando consecuentemente el escurrimiento superficial.

En los sectores en los cuales afloran materiales poco consolidados y de granulometrías finas, generalmente desprovistos de vegetación natural, la intensa erosión fluvial puede producir verdaderos badlands. Finalmente, procesos de aluvionamiento (deposición rápida de sedimentos por desbordes) son frecuentes en los sectores distales de los abanicos aluviales, coincidiendo con quiebres de pendientes. Los mismos pueden afectar sectores ocupados por población.

La erosión costera, producida por la acción del oleaje y favorecida por las características de las rocas y materiales superficiales se encuentra ampliamente distribuida en toda la franja costera. El sostenido ascenso del nivel del mar ha generado en numerosos sectores una costa de tipo erosiva con acantilados activos. En el sector costero sur, el mayor grado de ocupación de la franja costera implicó que los efectos de la erosión costera sean especialmente perjudiciales. En particular la acción del oleaje actúa como factor disparador de caídas de rocas y deslizamientos como por ejemplo al pie de los tanques de combustible de YPF en la ciudad de Comodoro Rivadavia (Tejedo et al., 1999).

Una de las áreas que muestra mayor vulnerabilidad es la playa del puerto de Comodoro Rivadavia. Se trata de una playa que, por su pendiente, es de tipo reflectiva y está cubierta por gravas, que cumplen el rol de amortiguar el embate de las olas. Las olas chocan directamente en la base del acantilado, produciendo una erosión en media caña, socavándolo y, finalmente, desplomándolo por pérdida de equilibrio. El fenómeno no es fácilmente observable porque el material que cae (Fm. Patagonia o Chenque: arenas muy finas y arcillas) es removido e incorporado rápidamente al agua. Si a esto se le agrega la particularidad que el acantilado presenta, en la zona media, características de acuitardo (siempre húmedo), la pérdida de material aumenta (Iantanos, 2012).

6 OCEANOGRAFÍA

Las aguas del Golfo San Jorge pertenecen a la denominada Agua de Plataforma modificada por los aportes de aguas costeras de origen continental. En los extremos del golfo, de menor profundidad, se generan frentes de marea de desarrollo estacional y permanencia durante la primavera y fines del otoño. En su extremo sur, además, se origina un intenso frente termo-halino por el aporte de aguas frías y menos salinas de la Corriente Patagónica, el cual es de permanencia estacional y de posición variable (Akselman, 1996; Fernández, 2006).

Las características oceanográficas del área de estudio se basaron en consultas de la bibliografía disponible vinculada a los siguientes aspectos:

- ✓ Accidentes costeros
- ✓ Batimetría
- ✓ Caracterización físico- química de los sedimentos superficiales del fondo
- ✓ Calidad del agua
- ✓ Clima de olas
- ✓ Mareas

6.1 ACCIDENTES COSTEROS

El Golfo San Jorge consiste en una profunda escotadura de forma semicircular cuya boca se extiende entre el Cabo Dos Bahías (44° 55' S y 60° 32' O) en la Provincia del Chubut y el Cabo Tres Puntas (47° 06' S y 65° 52' O) en la Provincia de Santa Cruz. En sus extremos predominan las rocas eruptivas, pórfidos cuarcíferos que por su resistencia a la erosión dan origen a puntas y cabos, especialmente en la parte norte del arco; en tanto, en la parte central predominan los terrenos sedimentarios, ricos en fósiles marinos (Massera, 2012).

La costa norte del Golfo San Jorge se caracteriza por sus numerosos accidentes geográficos, tales como: caletas, bahías, islas e islotes. Mientras que la costa centro y sur alterna elevados acantilados y playas principalmente de canto rodado, aunque también es posible hallar amplias playas de arena. Se destacan las llamadas restingas conformadas por arcillas consolidadas expuestas por el retroceso de las costas producto de la erosión (Dans et al., 2020).

En el recorrido de la costa del Golfo San Jorge se observan acantilados, las caletas Leones, San Roque, Horno, Inglesa, Córdova, Malaspina, Visser, Olivares y Olivia, los cabos Dos Bahías, San Jorge y Tres Puntas, las bahías Bustamante y Solano y la playa Rada Tilly (Massera, 2012).

La ciudad de Comodoro Rivadavia, cabecera del Departamento Escalante, en la Provincia del Chubut, está localizada en el punto medio del semicírculo que forma el litoral del Golfo San Jorge. Se extiende entre el nivel del mar y no más allá de los 260 msnm, sobre niveles aterrazados y semiinclinados entre la línea de costa y la Pampa de Salamanca al norte, Pampa del Castillo al oeste y Meseta Espinosa al sur (Massera, 2012).

La descripción de los accidentes costeros vinculados al puerto de Comodoro Rivadavia se basó en Gómez et al. (2003). Para ello, se consideró el tramo costero entre Punta Novales al norte (45º 44´ S y 67º 22´O) y el arroyo La Mata (45º 54´ S y 67º 31´ O) sobre la Restinga del Sur (Figura 9).

El sector de Caleta Córdova abarca el faldeo sur de Punta Novales hasta Punta Pando. Las geoformas diferenciadas son: acantilados activos, plataformas de abrasión y playas. Los acantilados activos poseen una altura entre 15 y 2 m (Figura 10A). En Punta Novales están los acantilados de mayor altura, constituidos por las sedimentitas de la Fm. Sarmiento.

Hacia el sudoeste se observan acantilados de menor altura formados por material inconsolidado dispuesto en bancos subhorizontales, correspondientes a relictos de antiguas playas. La plataforma de abrasión también está labrada sobre la Fm. Sarmiento. Se observan nódulos de calcedonia de 5 cm de diámetro en promedio. En algunos sectores se ve que la plataforma está cubierta por bloques y gravas, sobresalen también pequeños remanentes de erosión de sección circular y aproximadamente 50 cm de altura, colonizados por cirripedios. Entre el acantilado y la plataforma de abrasión se observa una terraza de 1 a 2 m de ancho y 1 m por encima de la plataforma de abrasión. El desarrollo de esta terraza es discontinuo a lo largo de la costa. Las playas son angostas, están constituidas por gravas y poseen una pendiente de 10º. Como geoformas de acumulación menores se distinguen bermas de marea baja, marea alta y de tormenta. En algunos sectores las tormentas o marejadas están evidenciadas por pequeños acantilados activos (entre 1 y 2 m de alto) constituidos por material inconsolidado.

En Punta Pando, límite sur de la caleta, se observa nuevamente un acantilado activo de 6 m con plataforma de abrasión labrada sobre la Fm. Sarmiento.

El sector de Caleta Olivares está limitado al norte por Punta Pando y al sur por el Cabo San Jorge. Aquí se distinguen geoformas de erosión, tales como acantilados activos, plataformas de abrasión y pilares. Los acantilados activos tienen una altura de 3 a 20 m y están labrados sobre la Fm. Sarmiento. En el sector central de la caleta el acantilado activo está labrado sobre un depósito laminado fino que puede corresponder a una paleoalbúfera. Junto al acantilado activo del Cabo San Jorge se observa un pilar importante que indica la actividad erosiva del mar. La plataforma de abrasión está labrada sobre la Fm. Sarmiento.

En la zona conocida como La Compresora (45º 47´ S y 67º 23´O) se observan acantilados activos, plataforma de abrasión y playas. Los acantilados están constituidos por depósitos modernos subhorizontales sobre la Fm. Sarmiento. La plataforma de abrasión es casi horizontal y está labrada sobre la Fm. Sarmiento. Se observan dos tipos de playas: una en el sector de La Compresora y otra en Restinga Alí. En La Compresora, se vió que los sedimentos de la playa son de tamaño grava y arena y la pendiente es de 4° (Figura 10B).

En la zona de la Restinga Alí, la playa es ancha y alcanza los 200 m en marea baja. Posee una pendiente casi nula y está constituida por arena. Continuando hacia el sur se observan otras playas, acantilados activos y plataformas de abrasión (Figura 10C).

La playa del Km 8 está constituida por arena, con similares características a la playa de Restinga Alí, pero su ancho en marea baja es de 100 m (Figura 10D). Entre las playas del Km 8 y de Restinga Alí hay un acantilado activo de 3 m de altura constituido por las sedimentitas de la Fm. Sarmiento sobre las cuales se observa material de relleno

Más al sur se observa la Cementera Petroquímica Comodoro Rivadavia. El límite entre la fábrica de cemento y la playa está dado por un pequeño acantilado activo, la altura del mismo va aumentando hacia el sur hasta llegar al denominado “Km 5” o Barrio Usina (45º 49´ S y 67º 27´ O), donde tiene unos 5 m. A lo largo de este sector, la costa está coronada por una plataforma de abrasión muy ancha, labrada sobre las sedimentitas de la Fm. Sarmiento y su respaldo es un acantilado activo. La playa del Km 5 posee una pendiente de 6°, con bermas de marea baja, marea alta y de tormenta. Está constituida por gravas y a espaldas de la misma hay material de relleno a modo de pequeño acantilado que en momentos de marejadas es erosionado (Figura 10E).

La plataforma de abrasión, llamada Restinga del Medio, no tiene depósito en tránsito y está constituida por la Fm. Sarmiento. Este sector está protegido por murallones verticales.

La playa conocida como “del Km 3” (45º 50´ S y 67º 27´ O) donde se encuentra la Restinga Coronel, está constituida por sedimentos de tamaño arena muy gruesa a sabulítica y con una pendiente de 5 a 3°. Se distinguen como geoformas menores de acumulación a las bermas de marea baja, alta y de tormenta o marejada (Figura 10G).

En el sector Playa del Centro entre Punta Alta (al sur de la Restinga Coronel) y Punta Borja, la construcción del puerto de Comodoro Rivadavia en la Punta Borja generó una bahía artificial donde se distinguen geoformas de erosión y acumulación. Las geoformas de erosión son: el acantilado activo, la plataforma de abrasión y las cárcavas. Las geoformas de acumulación son las playas y como formas menores se distinguen cuspilitos y bermas. Los acantilados son activos y hay de dos tipos; uno está labrado sobre las sedimentitas de la Fm. Patagonia (con la bajamar aflora la Fm. Sarmiento "restinga") y el otro sobre depósitos de relleno actuales que podrían corresponder a antiguos deslizamientos del Cerro Chenque. El acantilado labrado en la Fm. Patagonia posee una altura de 10 a 15 m. En la base se observan depósitos de caída, producto de la combinación de la acción marina y la inestabilidad de la pendiente. El acantilado tallado sobre los depósitos de relleno posee una altura de 5 a 7 m. La plataforma de abrasión está labrada sobre las tobas de la Fm. Sarmiento, presenta diaclasas orientadas en dirección N-S con un espaciamiento de 5 m (Figura 10H).

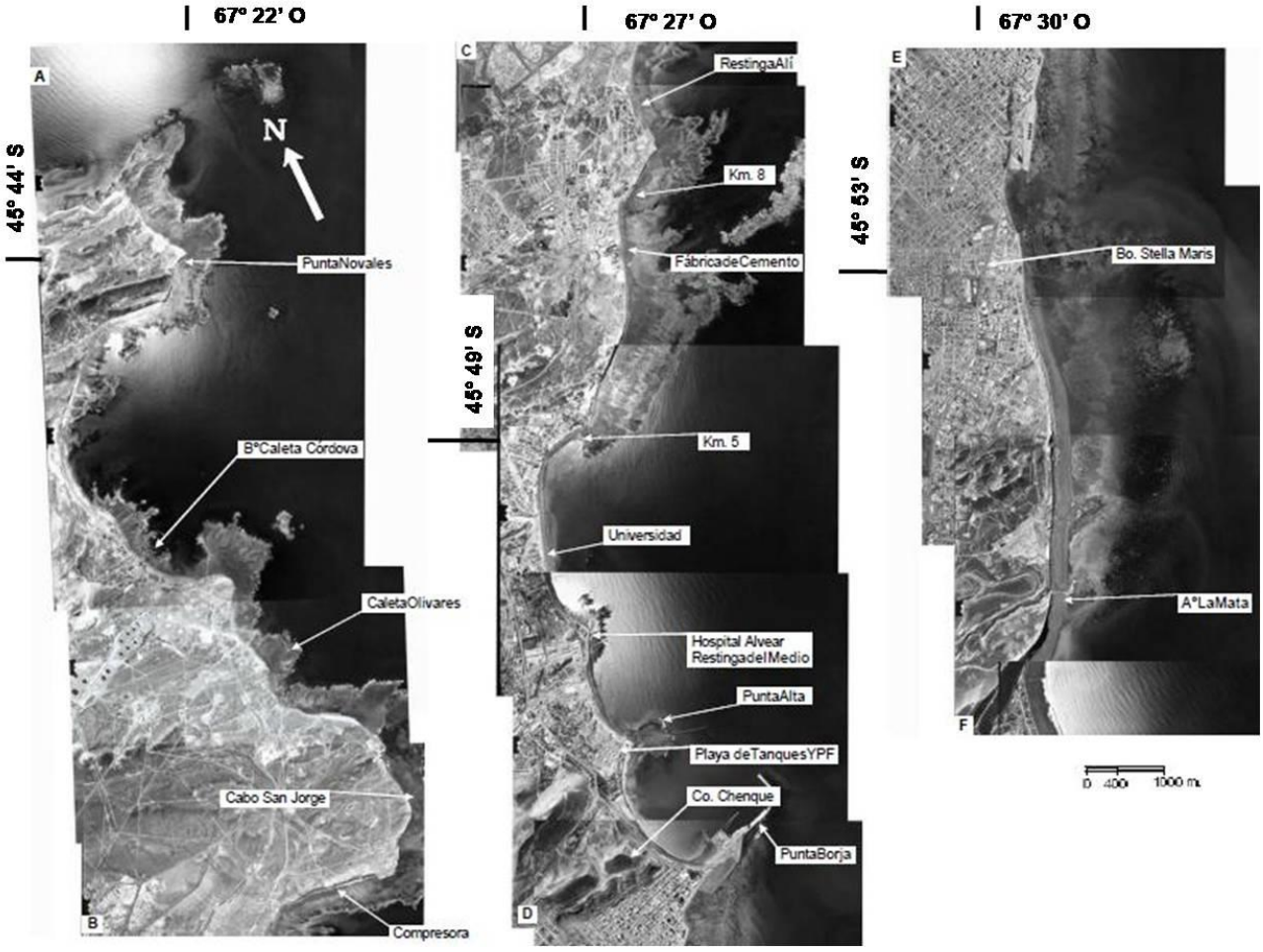
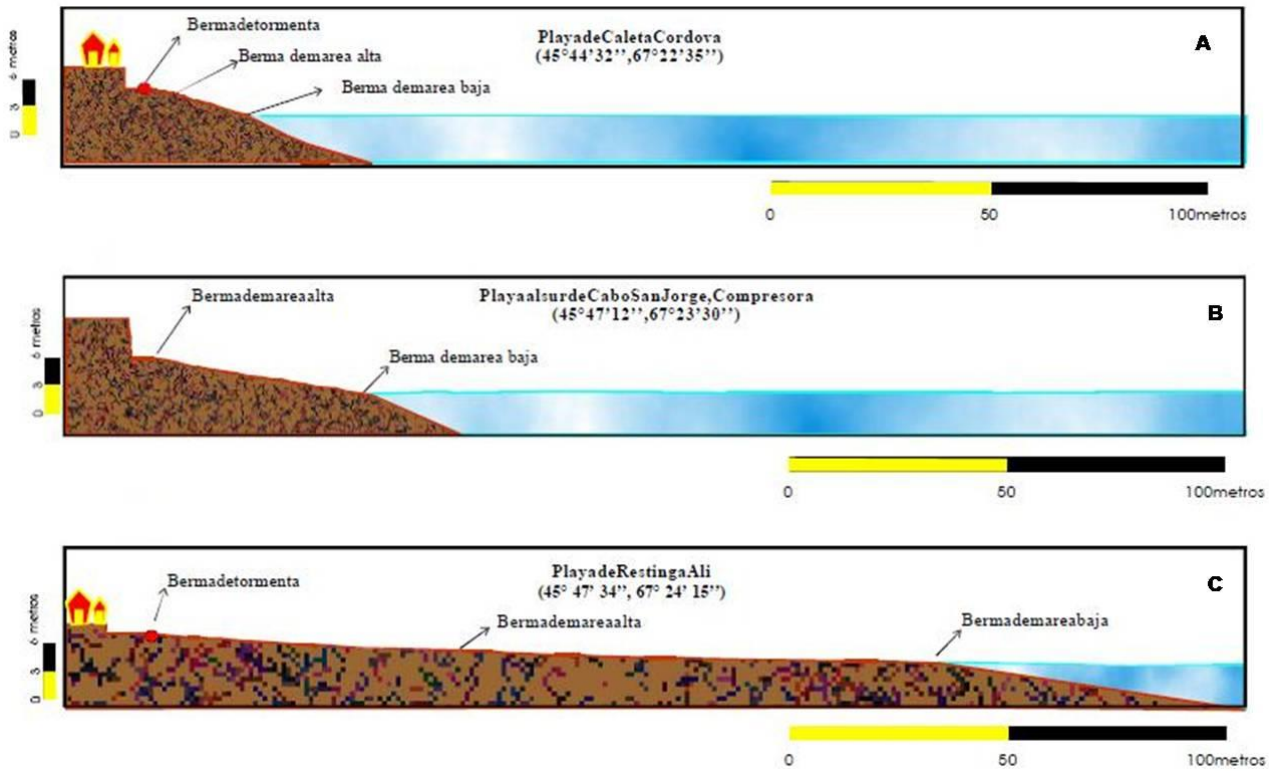


Figura 9. Accidentes costeros en sentido Norte-Sur (A-F) entre Punta Novales y el arroyo La Mata. Fuente: adaptado de Gómez et al., 2003.

La playa en el Barrio Stella Maris ubicada sobre la Restinga del Sur, es ancha, en marea baja alcanza 350 m de extensión, está constituida por arenas finas y su pendiente es casi nula. En este sector se encuentran desagües cloacales que son arrojados al mar. Hacia el arroyo La Mata, se observa un acantilado activo compuesto por las arcilitas de la Fm. Patagonia con una altura de 30 m en promedio (Figura 10I).

Es importante mencionar que en el área de estudio hay dos sectores que tienen potencial peligrosidad, uno es la pendiente inestable junto a la Playa de Tanques de YPF afectada por la combinación del retroceso del acantilado, actuación de las cárcavas y el descalce de la base del acantilado producido por el oleaje; el otro riesgo potencial es el que posee la Ruta Nacional Nº 3 debido a la cercanía del acantilado activo, el cual presenta un retroceso de 4 m cada 10 años. La playa en este sector es de grava, con una pendiente de 8° y con tres bermas: de marea baja, alta y de tormenta. En el lado norte de Punta Borja se observa la acumulación de sedimento tamaño arena. Como geoforma de acumulación menor se observan cuspilitos debido a las corrientes de retorno o de resaca. El tramo desde Punta Borja hasta la zona de las Torres (sector de edificios altos), son tierras ganadas al mar, cuyas defensas están destruidas por la acción del oleaje.



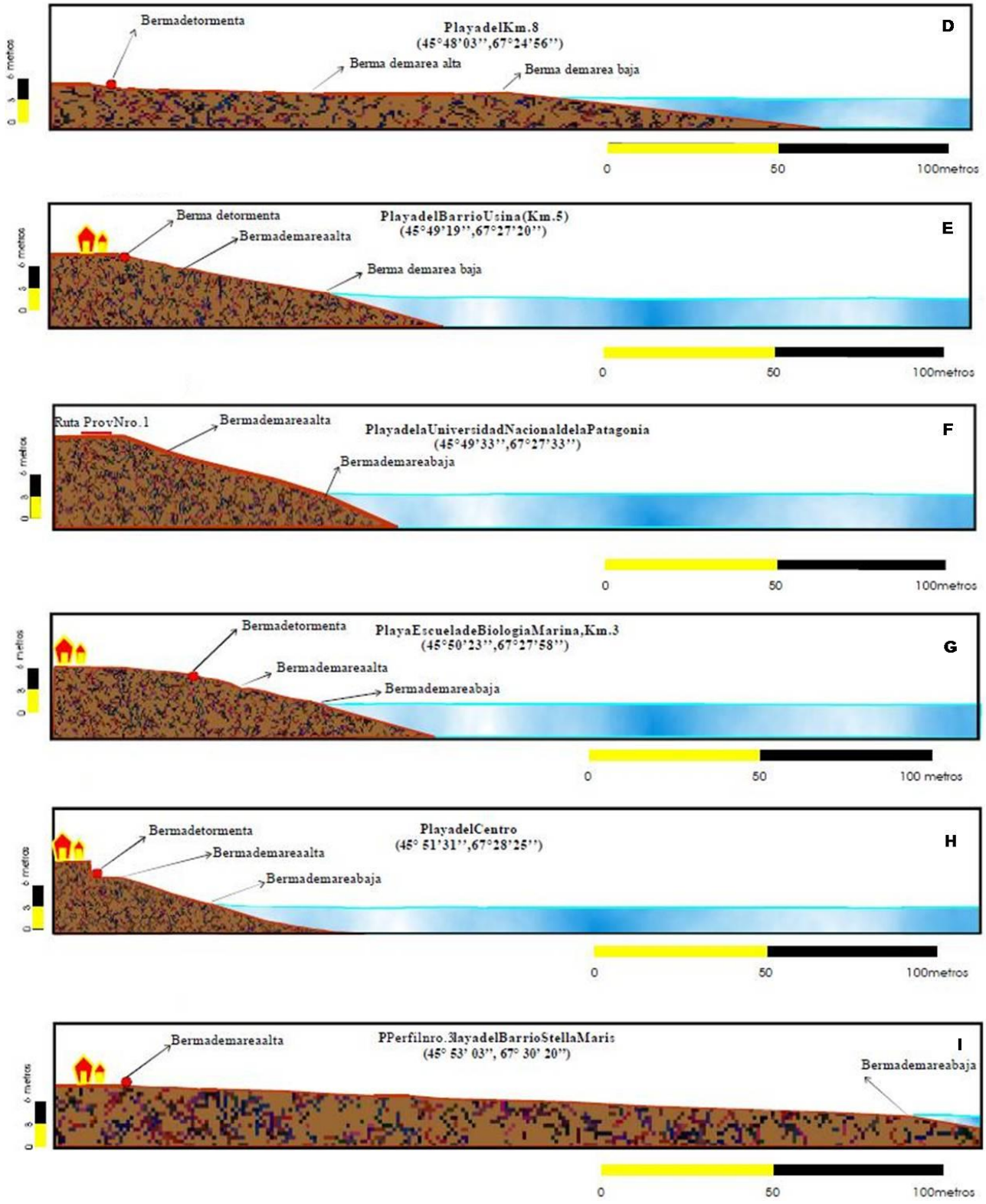


Figura 10. Perfiles de playa siguiendo el recorrido Norte-Sur: Caleta Córdova (A), Cabo San Jorge (Compresora) (B), Restinga Alí (C), Km 8 (D), Barrio Usina (Km 5) (E), Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco (F), Km 3 (Restinga Coronel) (G), del Centro (H) y Barrio Stella Maris (Restinga del Sur) (I). Fuente: adaptado de Gómez et al., 2003.

En síntesis, en la costa de Comodoro Rivadavia se pueden distinguir: acantilados activos, playas de alta y baja pendiente con granulometría gruesa y fina, respectivamente. Entre los acantilados activos de mayor resistencia están los constituidos por las sedimentitas de la Fm. Sarmiento y forman la saliente o cabos de la costa como: Punta Novales, Punta Pando, Cabo San Jorge, saliente entre Restinga Alí y Km 8 y todo el sector de la Cementera Petroquímica. Entre los acantilados activos de resistencia intermedia están los formados por las sedimentitas de la Fm. Chenque, desde Punta Alta hasta Punta Piedras (acantilado que eleva las playas desde el barrio Stella Maris de Comodoro Rivadavia hasta Rada Tilly). Finalmente, entre los acantilados activos de menor resistencia se encuentran constituidos por material inconsolidado reciente (como relleno de paleocanales, paleoalbúferas y antrópico). Están ubicados en bahías como: Caleta Olivares, La Compresora en Restinga Alí y todo el sector del Km 5 hasta el Km 3 (Barrio Usina hasta Punta Alta, que corresponde al puerto Gral. Mosconi).

La presencia de playas con alta pendiente y granulometría gruesa indica que el sector soporta una alta energía de olas. Esto sucede en las playas de Caleta Córdova, sur de Cabo San Jorge (sector de La Compresora), Km 5, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco y playa del Centro (entre Punta Alta y Punta Borja) (Figura 10 A, B, E, F y H). Las playas de baja pendiente están constituidas por gravas, en su parte frontal, y arenas gruesas a finas, en su parte distal. Se encuentran en sectores donde la plataforma de abrasión es muy ancha como por ejemplo: Restinga Alí, Km 8, Cementera Petroquímica y Barrio Stella Maris (Figura 10 C, D e I). Esta plataforma de abrasión disipa la energía y permite la acumulación de material de granulometría fina, que proviene de la gran erosión producida en los cabos vecinos. Este tipo de playas representan zonas de menor energía relativa de olas, en comparación con las playas antes descriptas que en momentos de temporales o marejadas, son erosionadas por las olas.

6.2 BATIMETRÍA

El Golfo San Jorge en su zona marginal tiene profundidades que aumentan rápidamente desde la costa hasta los 90 m, a partir de donde se extiende un fondo plano que cubre casi toda su área central, excepto por depresiones de hasta 120 m con orientación NE (Figura 11). El fondo del golfo presenta numerosos pockmarks (dunas de arena). Este banco restringe el intercambio de agua entre el golfo y la plataforma adyacente. La boca que separa al golfo de la plataforma desarrolla un umbral en su parte sur de hasta 60 m de profundidad (Dans et al., 2020; Violante et al., 2022).

La Tabla 2 sintetiza la información obtenida en un estudio realizado por Sánchez-Carnero (2021), el cual reúne diferentes bases de datos sobre la batimetría del Golfo San Jorge. Cabe destacar que en este trabajo se tuvo en cuenta un área mayor, que considera zonas adyacentes al Golfo San Jorge que incluyen al Cabo Raso (paralelo 44° 20’ S) al norte, la Punta Buque (paralelo 48° 05’ S) al sur y al este una línea N-S coincidente con el meridiano 64°O. El área así definida cubre un total de aproximadamente 82.382 km^2.

En dicha tabla se observa que la mínima profundidad fue de 0,3 m registrada en las cartas náuticas del Servicio de Hidrografía Naval (SHN), mientras que la máxima profundidad fue de 146,7 m obtenida durante las campañas oceanográficas realizadas por el Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP) y el Centro para el Estudio de Sistemas Marinos (CESIMAR) dependiente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET).

Asimismo, como resultado del trabajo realizado por Sánchez-Carnero (2021), se obtuvo un rango de profundidades entre -1,4 y 128,3 m, siendo los valores negativos topográficamente positivos, correspondientes a áreas del intermareal. Dicho estudio involucró procesos de interpolación, los cuales permiten asignar un peso a los valores batimétricos de partida, basado en su fiabilidad y en su coincidencia con otros valores batimétricos cercanos. Entre otras cosas, estos procesos evitan la influencia excesiva de zonas con mucha densidad de puntos sobre otras cercanas de baja densidad de puntos.

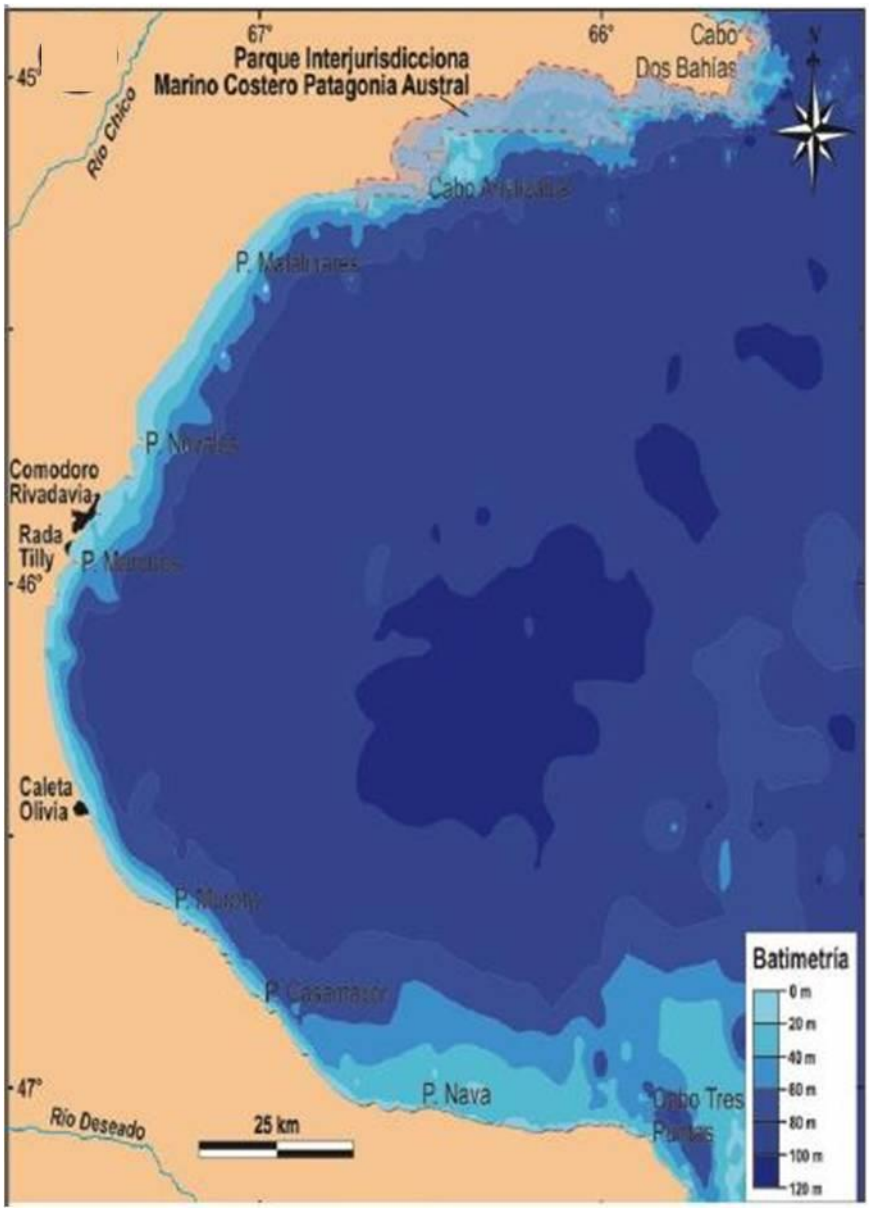


Figura 11. Batimetría del Golfo San Jorge. Fuente: Violante et al., 2022.

Tabla 2. Batimetría del Golfo San Jorge obtenida de bases de datos aportados por distintas instituciones nacionales referentes. Fuente: adaptado de Sánchez-Carnero, 2021.

Fuente	Tipo de datos	Rango profundidad (m)	Observaciones
Cartas Náuticas del Servicio de Hidrografía Naval (SHN): AR 203100; AR 303120; AR 40357 A; AR 403560; AR 403590 y AR 50357 B	3.522 sondas	0,3 - 119	SD
Campañas oceanográficas realizadas por el Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP)	85.085 sondas	11,5 – 123,1	La mayoría de los datos corresponden a las zonas norte y sur del Golfo San Jorge y a profundidades entre 60 y 95 m
Campañas oceanográficas realizadas por el INIDEP y el Centro para el Estudio de Sistemas Marinos (CESIMAR) dependiente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET)	147.755 sondas	4,2 – 146,7	Datos distribuídos a lo largo del Golfo San Jorge, cuyas transectas presentaron en su mayoría orientación NO-SE
Lances de pesca del Programa Observadores a Bordo (POBCh) de la Secretaría de Pesca de la Provincia del Chubut	38.249 lances	2,8 - 123	SD
Campañas oceanográficas realizadas por el CESIMAR y el Instituto Argentino de Oceanografía (IADO)	11.305 sondas	5,2 – 121,3	Los datos fueron tomados íntegramente en el Parque Interjurisdiccional Marino Costero Patagonia Austral (PIMCPA) al norte del Golfo San Jorge

Referencias: SD: sin datos.

6.3 CLIMA DE OLAS

Se utilizaron datos provenientes de un modelo global de olas en aguas profundas realizado por Serman & asociados S.A. (2023). La metodología empleada consistió en elaborar el clima de olas en aguas profundas, basado en una serie de datos de 10 años para el período enero 1995 – diciembre 2005 del modelo global de pronóstico de olas (GROW) y luego trasladarlo hacia el sitio de interés. La información que brinda consiste en series de tiempo de parámetros de ola y viento a 10 m de altura.

Los parámetros de ola considerados fueron: altura significativa (Hs), período pico (Tp) y dirección para olas locales (SEA) y olas océanicas (SWELL). La dirección está expresada en grados medidos en sentido horario respecto del norte e indica hacia dónde viaja la ola (convención oceanográfica). La altura significativa (Hs) de la ola de diseño resultó de 2,2 m, con un rango de períodos probable entre 11 y 14 segundos, y sin limitación por rompiente en prácticamente la totalidad de la estructura, tanto si se considera un nivel de agua correspondiente a una pleamar de sicigias (5,6 m al plano de reducción) más un metro de sobreelevación meteorológica, como si solamente se considera la pleamar astronómica.

Olas locales (SEA)

Durante el período de tiempo considerado se registraron pocos eventos con alturas mayores a 5 m, poseen períodos pico entre 8,5 y 12 segundos y provienen del cuadrante S-O (Figura 12, Figura 13 y Figura 14). La máxima altura registrada fue de 6,8 m, proveniente del sector SSO (212°) con un período pico de 11,7 segundos, el cual es a su vez fue el máximo período registrado. Las olas provinieron mayoritariamente del sector SSO – NNO, con alturas entre 0,5 - 3 m y períodos pico entre 2 - 8 segundos. Se observó una correlación significativa entre las olas y los vientos locales.

Las direcciones de interés para el presente estudio corresponden al sector NE-SSE, por ser las que finalmente ingresarán al Golfo San Jorge. En la boca del golfo la probabilidad de ocurrencia de olas locales provenientes de dichas direcciones (Sector NE – SSE) es sólo del 8,7%. La dirección predominante (en concordancia con la dirección predominante del viento local) es del sector SSO-NNO con un 69% de probabilidad de ocurrencia.

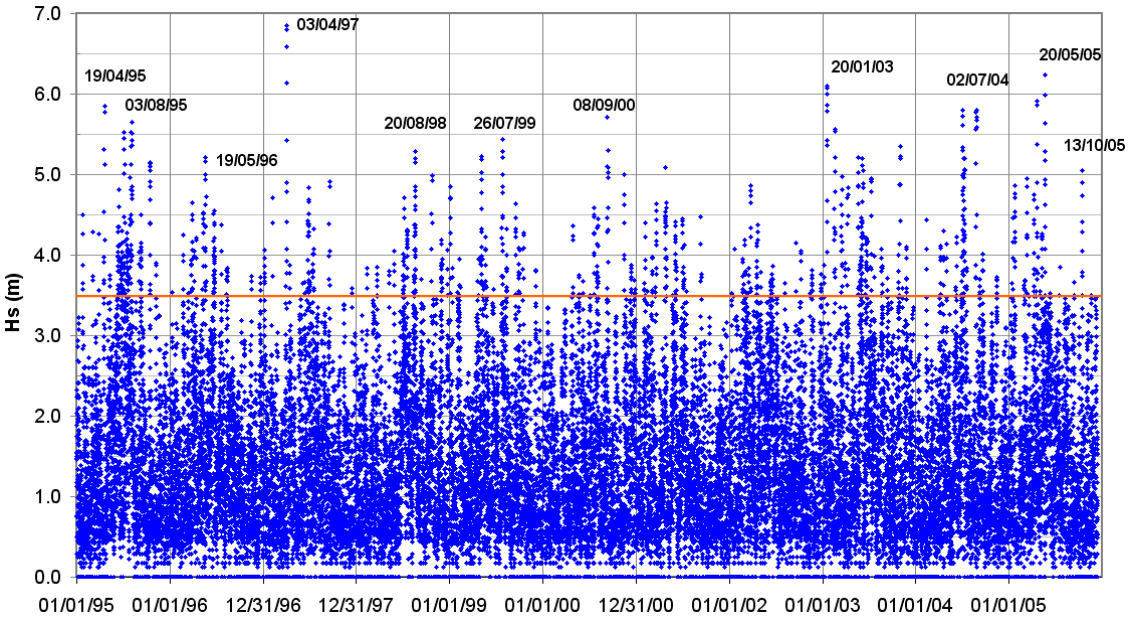


Figura 12. Evolución temporal de altura significativa (Hs en metros) en olas locales en aguas profundas. Fuente: Serman & asociados S.A., 2023.

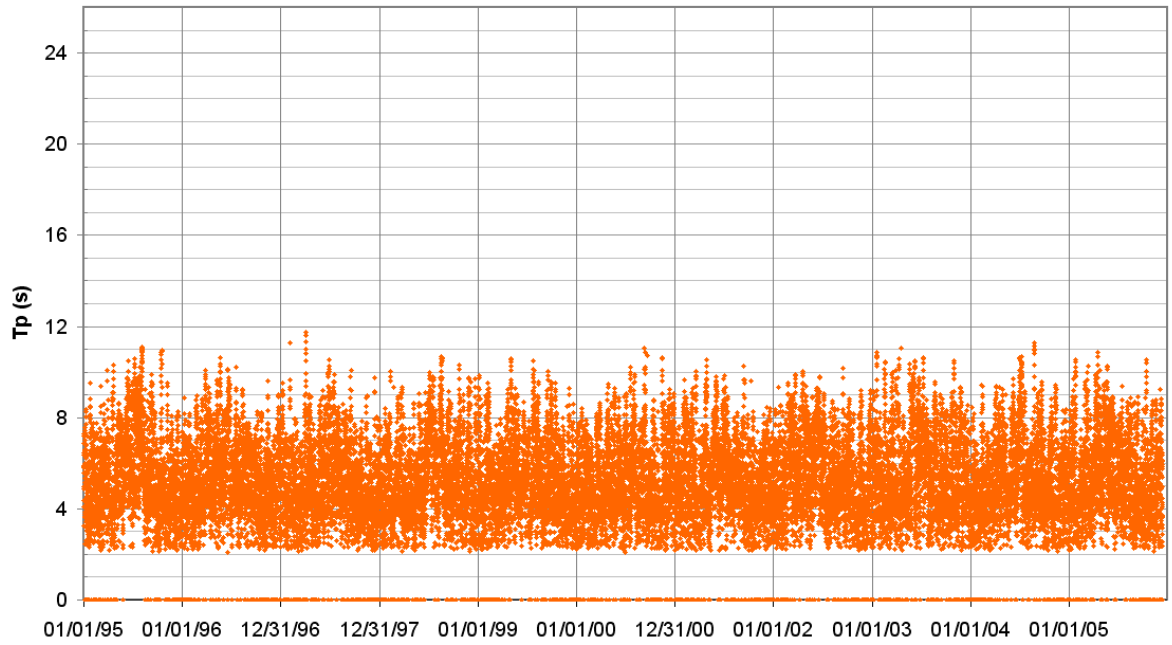


Figura 13. Evolución temporal del período pico (Tp en segundos) en olas locales en aguas profundas. Fuente: Serman & asociados S.A., 2023.

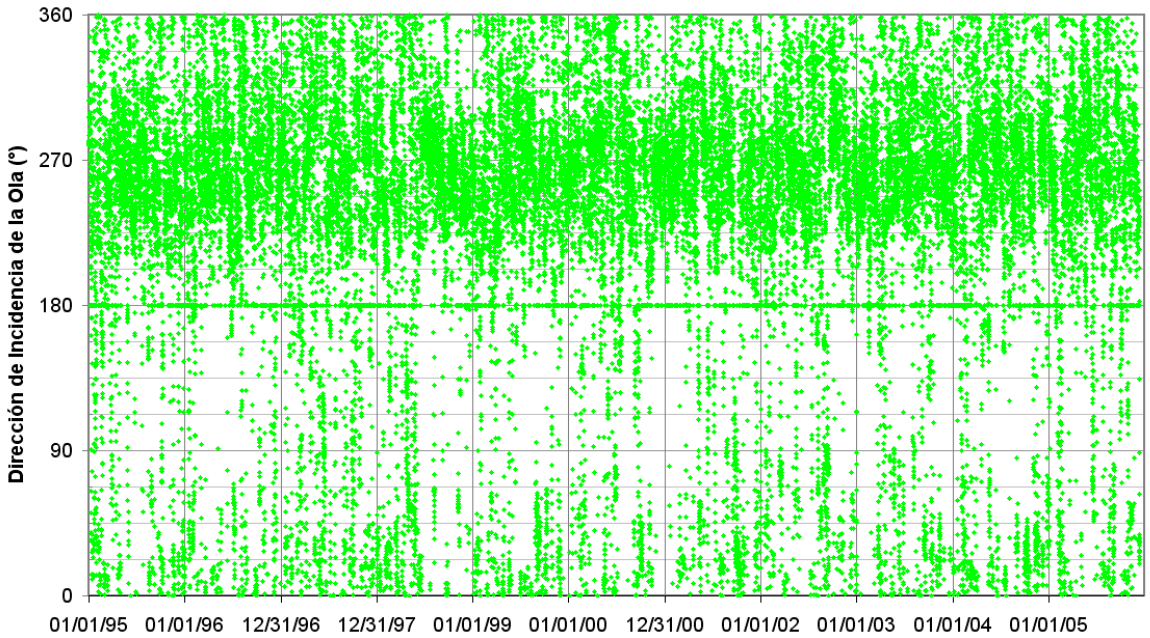


Figura 14. Evolución temporal de la dirección de incidencia de la ola (grados) en olas locales en aguas profundas. Fuente: Serman & asociados S.A., 2023.

Olas océanicas (SWELL)

Al igual que para las olas locales, con los datos del modelo global GROW se prepararon gráficos para las olas oceánicas, que resumen las principales características de dichas olas en la zona exterior del Golfo San Jorge.

Durante el período analizado (enero/95 – diciembre/05) se registraron pocos eventos con alturas mayores a 4 m (4 < Hs < 6), con períodos pico entre 9 - 16,5 segundos y provenientes del sector S-ENE (Figura 15, Figura 16 y Figura 17). La máxima altura registrada fue de 5,9 m, con un período pico de 16,4 segundos, proveniente del ESE (114°). Los períodos pico más elevados (18 - 26 segundos, correspondieron a olas con altura significativa inferior a 1 m. Las olas provinieron mayoritariamente del sector O–S y NNE-ENE, con alturas entre 0,5 y 2 m, con períodos pico entre 6 - 14 segundos (Figura 15, Figura 16 y Figura 17).

No hubo correlación entre las olas oceánicas y el viento local, lo cual se debe a que las ondas oceánicas en la zona exterior del Golfo San Jorge están compuestas principalmente por ondas largas (mar de fondo, SWELL) derivadas de tormentas extratropicales de gran escala del sur del Océano Atlántico sur y de tormentas que se forman en la costa sur argentina.

En la boca del golfo la probabilidad de ocurrencia de olas oceánicas provenientes de las direcciones de interés (sector NE – SSE) fue 33,8%. Las olas provinieron predominantemente de los sectores NNE-ENE (28,8%) y O-S (41,6%).

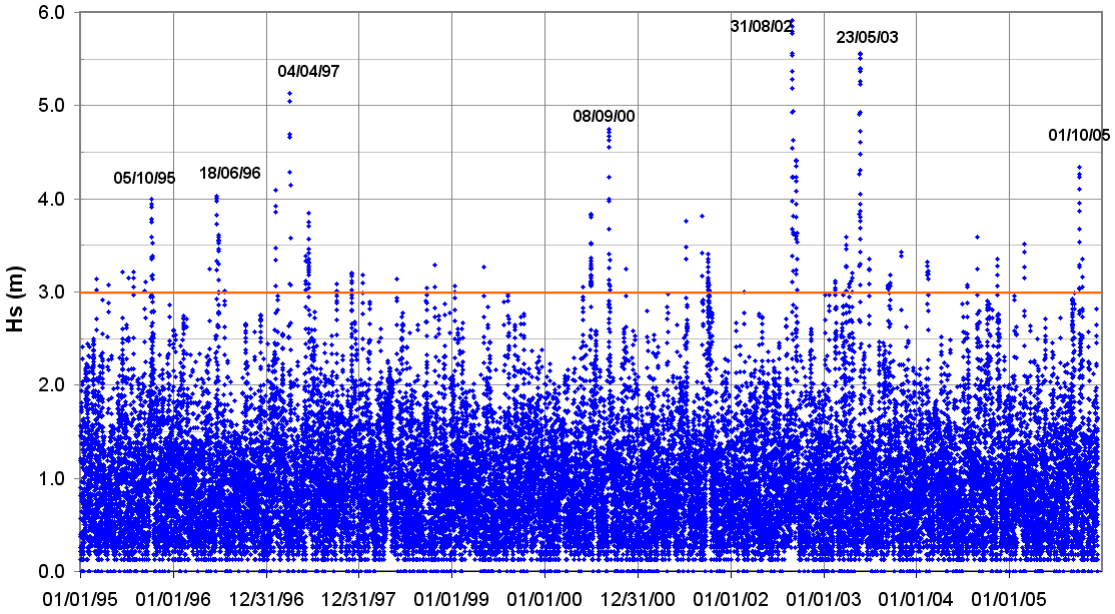


Figura 15. Evolución temporal de altura significativa (Hs en metros) de olas oceánicas en aguas profundas. Fuente: Serman & asociados S.A., 2023.

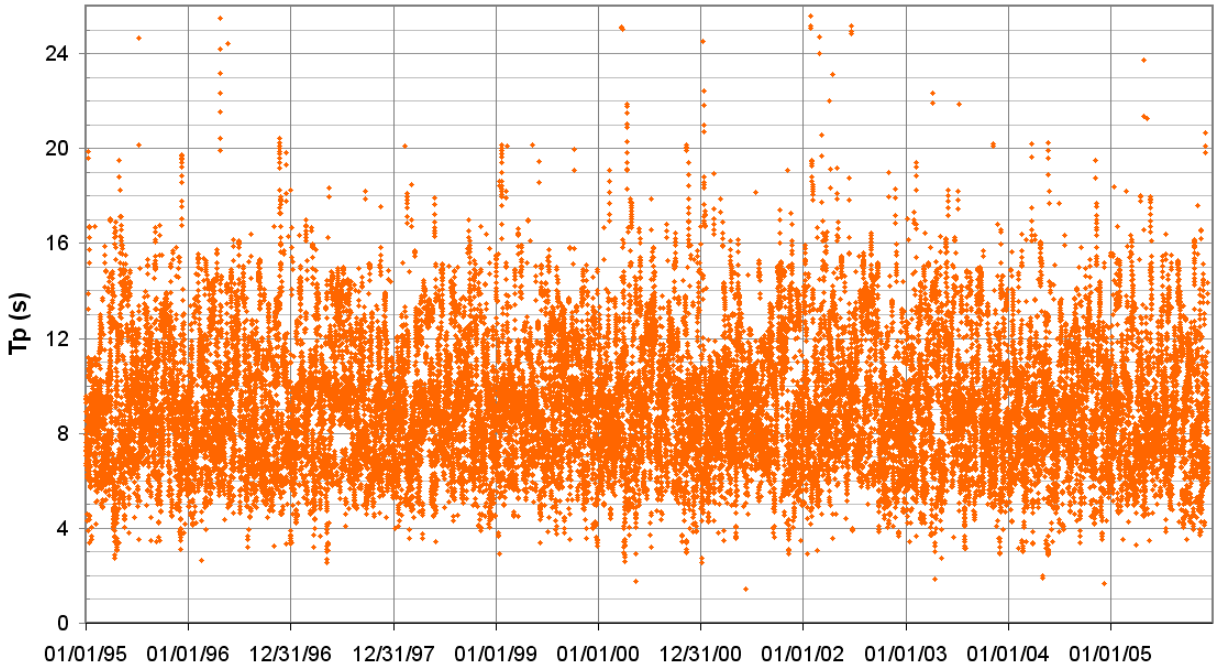


Figura 16. Evolución temporal del período pico (Tp en segundos) en olas oceánicas en aguas profundas. Fuente: Serman & asociados S.A., 2023.

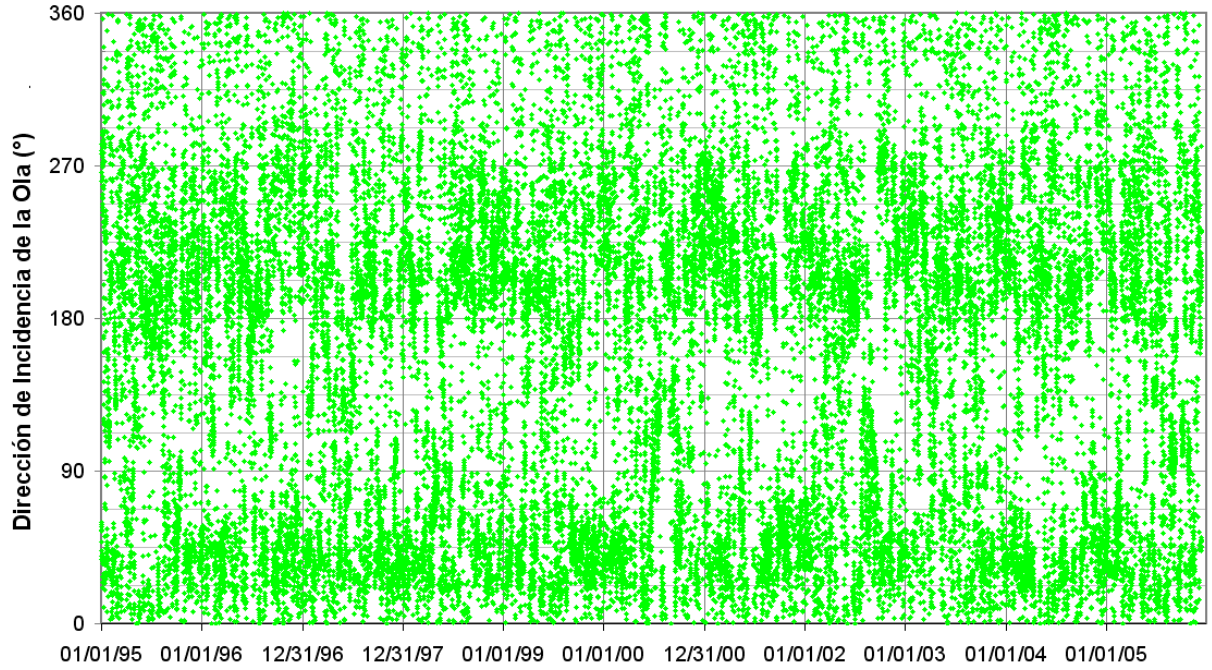


Figura 17. Evolución temporal de la dirección de incidencia de la ola (grados) de olas oceánicas en aguas profundas. Fuente: Serman & asociados S.A., 2023.

6.4 MAREAS

La región del Margen Continental del Chubut (MCC) está en el núcleo de la circulación oceánica de origen antártico del Atlántico Suroccidental, dominada por la Corriente de Malvinas (CM). En la plataforma, las capas superficiales de la CM circulan con un flujo neto hacia el norte. En las zonas cercanas a la costa, donde se suman las aguas costeras y los aportes fluviales, los agentes principales movilizadores de sedimentos son las olas inducidas por los vientos (altura de olas de 2 a 4 m), las corrientes de mareas con desniveles de hasta unos 6 m y velocidades máximas de hasta 2,7 nudos y las corrientes litorales. El agua de la plataforma es de origen subantártico e ingresa a la misma entre las Islas Malvinas y Tierra del Fuego como consecuencia de la bifurcación oeste de la Corriente Circumpolar Antártica (CCA) después de cruzar el pasaje de Drake. Traslada aguas frías y de baja salinidad (<33,4 PSU) que son diluidas en zonas costeras por aportes fluviales. La marea y la variabilidad de los intensos vientos, así como los intercambios de masa y calor con la atmósfera son modeladores de la circulación. El flujo superficial medio anual de calor es hacia el mar, por lo que la evaporación supera a la precipitación afectando la densidad y estabilidad de la columna de agua. La magnitud y dirección de los vientos oeste están moduladas por la oscilación estacional del sistema de alta presión del Atlántico Sur, y en consecuencia la fuerza del viento afecta al mar produciendo depresiones y elevaciones del nivel del mar que inducen un flujo medio con dirección preponderante NNO (Violante et al., 2022).

El régimen de marea semidiurno domina la región interna de la plataforma patagónica, mientras que la externa presenta contribuciones de régimen diurno, propagándose como una onda hacia el noreste y afectando el nivel del mar, alcanzando las mayores amplitudes sobre la costa (Figura 18A). En la plataforma más somera, la interacción entre las corrientes de marea y la fricción de fondo generan mezcla vertical en la columna de agua con destrucción de la estratificación, favoreciendo así el ascenso de nutrientes hacia la superficie (Palma et al., 2004; Tonini et al., 2006; Violante et al., 2022).

Algunos estudios hallaron asociaciones entre los frentes de mareas con zonas de alta producción primaria y secundaria, definiendo la frontera entre aguas de plataforma estratificadas y aguas costeras verticalmente mezcladas (Tonini et al., 2006; Violante et al., 2022). Se identificaron tres intensos frentes de marea en la plataforma, ubicándose uno de ellos en el Golfo San Jorge (~46°S). Los frentes constituyen uno de los mayores sumideros de CO_2 del océano, contribuyendo a amortiguar los efectos del calentamiento global gracias al fitoplancton que requiere del carbono disuelto para su crecimiento, promoviendo así la absorción de carbono atmosférico (Bianchi et al., 2009; Violante et al., 2022).

El Golfo San Jorge está sujeto a un régimen de mareas semidiurno, con dos pleamares y dos bajamares al día, con una amplitud media de 4,20 m, dando lugar a un extenso ambiente intermareal comprendido entre las líneas de bajamar y pleamar (Dans et al., 2020).

Las predicciones de pleamar, bajamar y amplitud de marea máximas y medias para el 2023 se indican en la Tabla 3. La información corresponde al puerto de Comodoro Rivadavia (45º 52' S; 67º 28' O) y se basó en las cartas de Argentina H-357 A y B del Servicio de Hidrografía Naval. Las alturas están referidas al plano de reducción que pasa 2,99 m debajo del nivel medio (SHN, 2023). La altura máxima de la marea durante la pleamar fue de 6,13 m, mientras que la altura mínima durante la bajamar fue de 0,07 m y la máxima amplitud de marea resultó en 5,9 m.

Tabla 3. Predicción de marea para el 2023 en el Puerto de Comodoro Rivadavia basadas en las cartas de Argentina H-357 A y B. Fuente: SHN, 2023.

Altura en metros sobre el plano de reducción					
Pleamar		Bajamar		Amplitud	
Máxima	Media	Más baja	Media	Máxima	Media
6,13	5,14	0,07	1,06	5,9	4,08

En la costa argentina se delimitan tres rangos de mareas: micromareas (menos de 2 m), mesomareas (2 a 4 m) y macromareas (más de 4 m). Existe un marcado cambio en el régimen y amplitud de mareas en las proximidades del paralelo 39°S (desembocadura del río Colorado). Al norte del mismo predominan las micromareas de régimen semidiurno con desigualdades diurnas, en tanto al sur, las meso y macromareas. El Golfo San Jorge, comprendido entre los 44° y 47° S, responde a un régimen de macromareas (Codignotto et al., 1993).

Según Codignotto et al. (1993) y Codignotto (1997) existen dos direcciones principales de corrientes cercanas a la costa que fueron determinadas sobre la base de diseños geomorfológicos. Al norte del paralelo 42°S, el sentido de las corrientes cercanas a la costa es hacia el norte. Al sur del mismo (caso del Golfo San Jorge), el sentido de las corrientes cercanas a la costa es hacia el sur. Además, existen celdas de circulación localizadas, que en algunos casos son opuestas a la dirección general de deriva litoral. Los desplazamientos verticales del territorio costero son de ascenso, presentando en el caso de la cuenca del Golfo San Jorge velocidades de ascenso menores que las zonas de intercuencas como consecuencia de factores tectónicos.

Los golfos tienen una circulación particular debida a su configuración semicerrada y el Golfo San Jorge presenta giros con variabilidad estacional afectada por vientos oeste. Por su conexión más abierta con la plataforma ocurren dos giros opuestos latitudinalmente, el del norte con circulación ciclónica (horaria) y el del sur anticiclónica (antihoraria) (Figura 18B). Los patrones de circulación se modifican con vientos del sur, por lo que en el Golfo San Jorge se unen los dos giros en uno con circulación ciclónica (sentido horario) (Palma et al., 2004; Tonini et al., 2006; Violante et al., 2022).

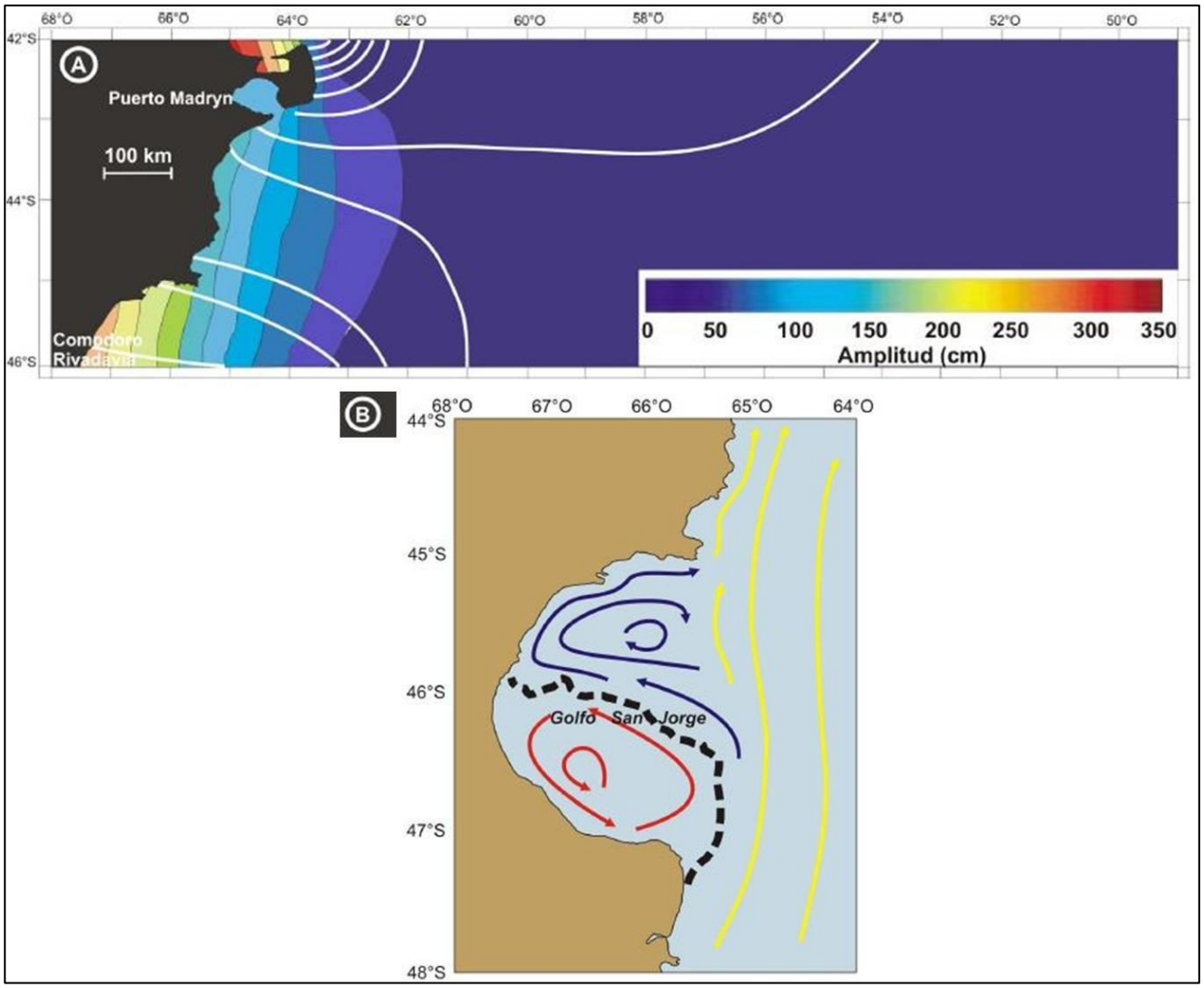


Figura 18. A) Amplitud de mareas (en colores) y líneas cotidales (líneas blancas) de la componente principal de marea semidiurna. La amplitud indica el aumento de nivel, incrementando a medida que se acerca a la costa. Las líneas cotidales son las fases donde la pleamar se da simultáneamente. B) Direcciones de circulación de corrientes en el Golfo San Jorge resultantes de los vientos dominantes del oeste. Las líneas amarillas indican la circulación en mar abierto no afectado por la configuración del golfo. Líneas azules: circulación en sentido horario. Líneas rojas: circulación en sentido antihorario. Líneas negras cortadas: divisorias de circulación. Fuente: modificado de Violante et al., 2022.

6.5 ANTECEDENTES DE SALINIDAD Y TEMPERATURA

En este apartado se presentan los resultados correspondientes a un estudio realizado por Baldoni et al. (2015), perteneciente al Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP), el cual como parte de sus programas de investigación, realiza campañas oceanográficas-pesqueras en la Plataforma Continental del Atlántico Sudoccidental (PCASO). Dicho estudio incluye datos de perfiles de temperatura (°C) y salinidad (g/l) y constituye la Base Regional de Datos Oceanográficos (BaRDOO) del INIDEP. Las bases de datos fueron colectadas a partir de la década de los ochenta y continuamente se fueron agregando aquellas más actualizadas, provenientes, además, de buques nacionales y extranjeros de investigación pesquera y oceanográfica. Para incrementar la densidad de puntos de muestreo también se incorporaron los datos provistos por la Southern Ocean Database (SODB) de Orsi y Whitworth III (2005) que reúne la información perteneciente a la World Ocean Database 2001 (WOD01-NODC), al World Ocean Circulation Experiment (WOCE) y datos de estaciones oceanográficas provistas por investigadores en forma directa.

Los datos correspondieron al período 1911-2010 y fueron analizados sin discriminar el año de adquisición (ver Baldoni et al., 2015). A los fines de este informe, solo se tuvo en cuenta la información correspondiente al Golfo San Jorge, donde se cuenta con alta densidad de sitios de muestreo. La clasificación en períodos frío y cálido, propuesta por Baldoni (2010), se basó en las climatologías mensuales de la Temperatura Superficial del Mar (TSM). El período cálido se extiende de enero a marzo y el frío de agosto a septiembre.

La estructura vertical de las aguas de la PCASO se caracterizó por marcadas diferencias en las condiciones de estratificación y homogeneización. Durante el período de enfriamiento, parte del calor almacenado en la capa superior del océano se pierde hacia la atmósfera y otra porción se redistribuye por convección en toda la columna de agua. Como consecuencia de esto, las máximas temperaturas de la capa de fondo ocurren cuando la columna de agua se homogeniza verticalmente (período frío). La duración de este proceso está directamente relacionada con la profundidad del lugar y la intensidad de la marea y el viento afectando a las aguas de profundidad menor a 200 m (Rivas, 1994; Rivas y Piola, 2002).

La distribución horizontal de la temperatura de superficie en el período cálido en el Golfo San Jorge fue ~ 16°C y en el período frío fue de ~8°C. La distribución horizontal de la temperatura en el fondo durante el período cálido alcanzó ~8°C (zona central del golfo de mayor profundidad), fue de ~10°C en los extremos norte y sur y de ~14°C en los sectores costeros norte y sur. En cuanto que la distribución horizontal de la temperatura en el fondo durante el período frío fue de ~6°C cerca de la costa y de ~8°C en el sector central más profundo y alejado de la costa.

Respecto a la distribución de la temperatura durante el período cálido en la latitud 46,25°S, resultó de 14°C cerca de la costa, llegando a los 4°C en el sector más alejado de la costa (Figura 19A). Mientras que para el período frío varió entre 8°C cerca de la costa disminuyendo hasta los 6°C en la zona más profunda y alejada (Figura 19B).

En el caso de la salinidad se calcularon distribuciones anuales, ya que tanto las variaciones estacionales como las de su estructura vertical sobre la PCASO correspondiente al área de estudio fueron pequeñas.

La distribución horizontal de la salinidad anual en el Golfo San Jorge tanto en superficie como en el fondo fue determinada en 33,5 g/l. Al considerarse su variación en la latitud 46,25°S, la salinidad fue de 33,4 g/l cerca de la costa, disminuyó levemente a 33,2 g/l en la zona central del golfo y volvió a aumentar hasta 34 g/l en la zona más lejana de la costa (Figura 20). Estos resultados se encuentran dentro del orden de los descriptos por Gil et al. (1996).

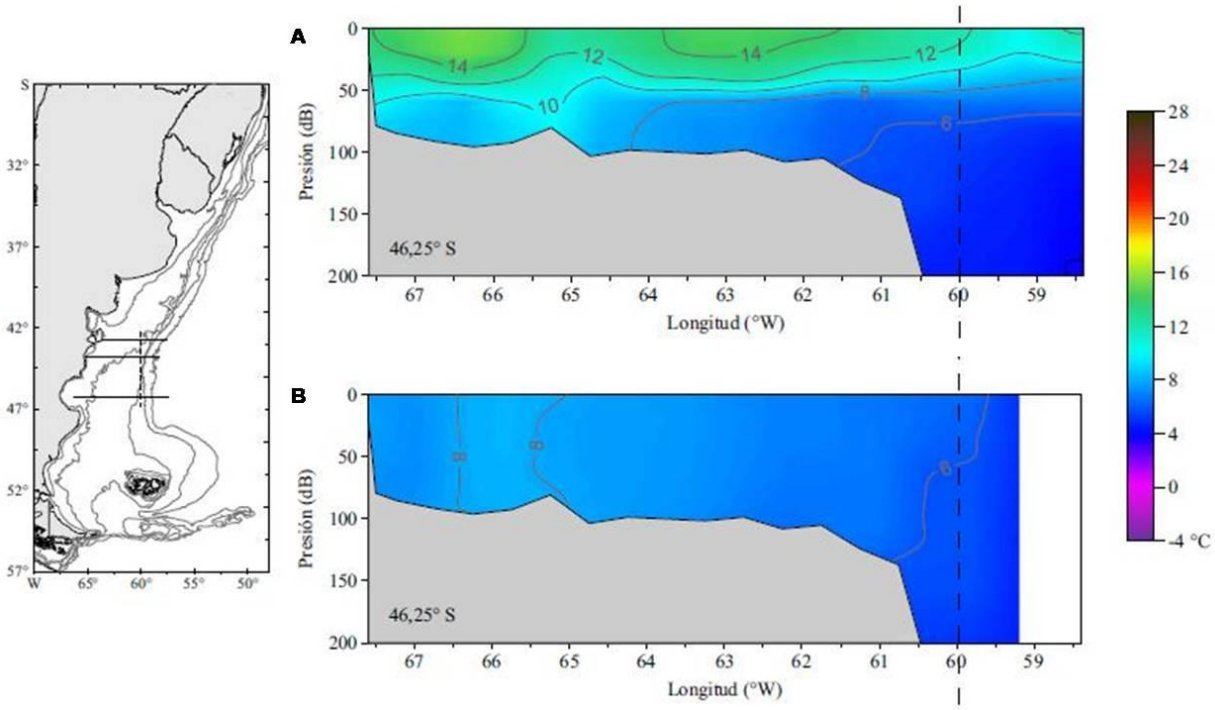


Figura 19. Distribución de la temperatura durante el período cálido (A) y frío (B) en la latitud 46,25°S correspondiente al Golfo San Jorge. Fuente: Baldoni et al., 2015.

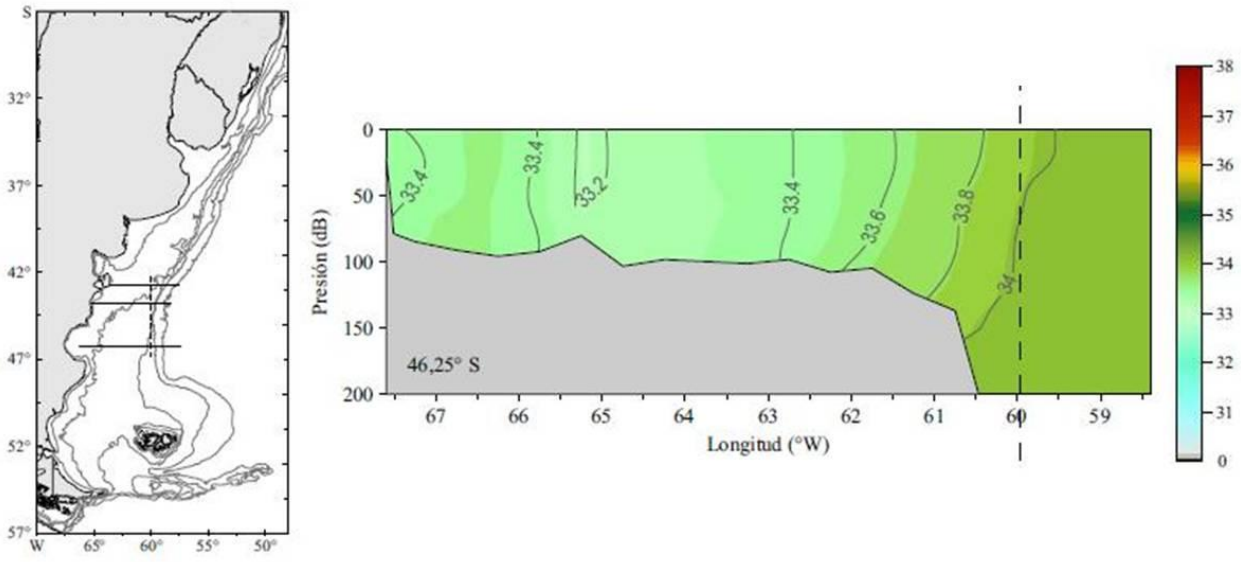


Figura 20. Distribución de la salinidad (g/l) anual en la latitud 46,25°S correspondiente al Golfo San Jorge. Fuente: Baldoni et al., 2015.

7 CARACTERIZACIÓN DE CALIDAD DE AGUA Y SEDIMENTOS EN EL ÁREA OPERATIVA E INMEDIACIONES

7.1 CARACTERIZACIÓN DE SEDIMENTOS

En prácticamente todos los países del mundo, las prácticas de dragado son actividades comunes que se llevan a cabo en proyectos como son la construcción de canales y/o muelles portuarios. En este sentido, son los sedimentos recientes de la capa superficial, menos compactos y con frecuencia en fase de consolidación sobre los cuales se practica habitualmente esta actividad, aunque también puede ser necesario realizar dragados de sedimentos más antiguos y consolidados, o incluso de materiales rocosos.

Sin embargo, la preocupación por la posible contaminación (y toxicidad) de dichos sedimentos ha ocasionado que en los últimos años en las obras portuarias se limite o controle la ejecución de tales dragados.

En este sentido, en el presente apartado se encara este problema examinando los resultados de los muestreos de sedimentos y agua llevados a cabo en la zona a ser dragada.

De esta forma, la calidad de los sedimentos fue evaluada a través de la comparación con los respectivos valores de referencia, a partir de lo cual será posible establecer la forma apropiada de su disposición en función de su grado de contaminación.

Es dable destacar que en este apartado el objetivo es caracterizar la condición del sedimento en la zona a dragar determinando su nivel de contaminación. Para lograr dicho objetivo, se utilizaron los Niveles Guía correspondientes para compararlos con los valores obtenidos en los muestreos.

7.1.1 Naturaleza de los sedimentos a dragar

La dureza del material a dragar es un factor clave en este tipo de obras, ya que determina el equipamiento náutico necesario e influye en gran medida en los costos.

Conforme a las evaluaciones realizadas por Paredes y otros (2023[1]) en el estudio adjuntado como Anexo II del Capítulo 2 los sedimentos a dragar son depósitos de sedimentos finos de origen natural y antrópico.

Dicho estudio ha tenido como principal objetivo la "*caracterización sedimentológica y geomorfológica del espacio costero entre el Puerto de Comodoro Rivadavia y el Chalet Huergo, a los efectos de identificar y caracterizar los principales agentes erosionales y depositacionales que influyen sobre la provisión de sedimentos a la zona de la costanera local y al puerto de Comodoro Rivadavia y el cálculo de tasas de acreción de sedimento dentro de la zona portuaria, el cual ha sufrido una reducción de su batimetría en años recientes*".

[1] Paredes, J.; Ocampo, M.; Valle, M.; Allard, J. y Bueti, S. (2023). Dinámica Erosional y Depositacional de la Costanera y del área del Puerto de Comodoro Rivadavia. Laboratorio de Sedimentología y Estratigrafía – Departamento de Geología (FCNyCS, UNPSJB). Informe Técnico.

Gran parte de los sedimentos finos que ingresan al área portuaria, particularmente por fuente antrópicas como ser el pluvial desarrollado en la ladera Sur del cerro Chenque, que con posterioridad del escalonamiento del cerro es altamente efectivo en transferir el sedimento durante eventos de precipitaciones hacia la Costanera local, incorporando sedimento mayormente arcilloso, es exportado fuera del ámbito de esta área mediante procesos efectivos que podrían ser ininterrumpidos, aún en ausencia de vientos excepcionales.

Para cuantificar las tasas de sedimentación de los materiales que no logran salir del área portuaria y que por lo tanto se depositan en las zonas originalmente dragadas, en el marco del estudio se analizaron las variaciones del lecho a partir de los mapas batimétricos (años 1996, 2005, 2006, 2008, 2013, 2016, 2017 y 2022) aportados por la Oficina Técnica de la APPCR.

De acuerdo al estudio las variaciones de profundidad no son uniformes y su distribución evidencia un proceso de relleno mayormente agradacional con ingreso de sedimento desde el O-ONO (desde la Costanera) que ha favorecido el crecimiento de un cuerpo arenoso de techo convexo en el acceso al muelle de Ultramar. El origen de este cuerpo arenoso parece estar relacionado a la escarpa vertical generada en el dragado y ubicada hacia la zona con el cuerpo sedimentario presentando una dirección de crecimiento oblicua a la escarpa, relacionada con la dirección dominante del transporte de sedimento a escala local. A los efectos de ilustrar los cambios reconocidos en el estudio se presentan dos cortes arbitrarios (Figura 21) en direcciones longitudinal y transversal al cuerpo sedimentario identificado en el acceso al muelle de Ultramar. El corte transversal es particularmente ilustrativo, ya que permite advertir el desarrollo episódico de un cuerpo con techo convexo y naturaleza agradacional, que ha presentado en el período 2005-2022 una agradación vertical que excede los 150 centímetros. Por su parte, el corte longitudinal muestra un relleno agradacional, sin evidencias claras de progradación. Este último rasgo podría estar asociado al retrabajamiento del sedimento luego del acceso a la depresión artificial producida luego del dragado, removilización que ocurre en condiciones de buen tiempo y mayormente durante las tormentas.

El relleno del área se puede dividir en cuatro etapas. La primera etapa abarca el período 1996-2008, en el que las tasas de acreción son de alrededor de 10 cm/año. La segunda etapa tiene lugar entre 2008 y 2016, con tasas de acreción alrededor de 5 cm/año. La etapa 3 abarca parte del 2016 y el 2017, y se caracteriza por tasas de acreción de más de 10 cm/año; los valores altos en la tasa de acreción de esta etapa están presumiblemente relacionadas con el evento de precipitación extremo ocurrido entre el 29 de marzo y el 08 de abril de 2017. La etapa 4 abarca el período entre fines de 2017 y 2022, y presenta tasas de acreción de < 2 cm/año. Las condiciones actuales que predominan en el área analizada son de bypass sedimentario, ya que se ha alcanzado la superficie en equilibrio con las condiciones de disipación de energía del ambiente costero.

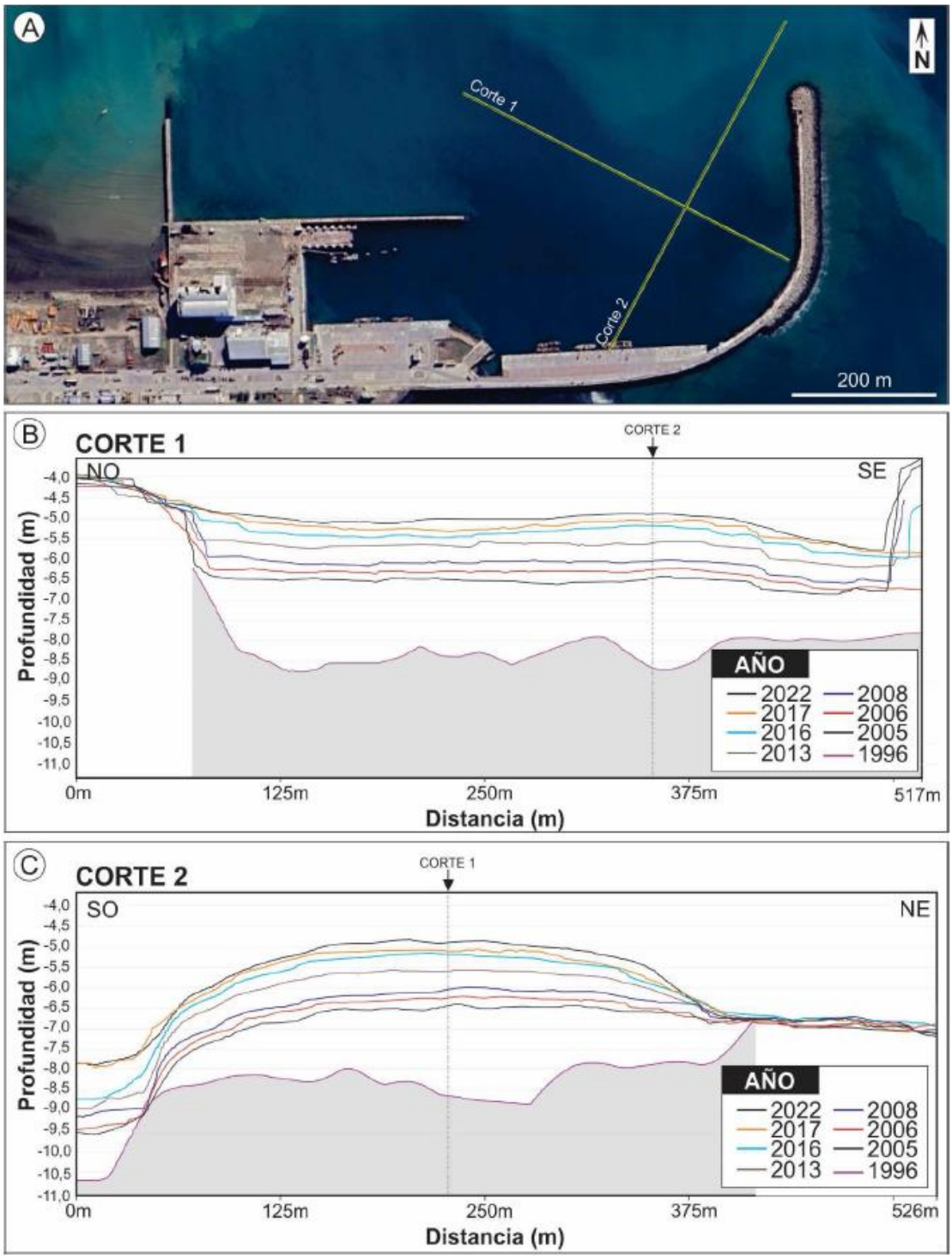


Figura 21. Estilos de relleno del puerto de Comodoro Rivadavia. (A) Ubicación de secciones batimétricas arbitrarias, seleccionadas en base a los cambios batimétricos reconocidos en las figuras 12 a 19. (B) El corte 1 presenta los cambios en batimetría en el período 1996-2022 en una dirección aproximadamente longitudinal respecto a la morfología general del relleno, con patrón agradacional. (C) Corte SO-NE, evidenciando el desarrollo de un cuerpo de base plana y techo convexo que ha agradado más de 1,5 m luego de alcanzar el nivel de roca del sustrato. En ambos cortes en color gris se representa la topografía del año 1996. Fuente: Paredes y otros, 2023.

7.1.2 Normativa de referencia utilizada para el análisis de resultados

Tal como se describió en el Capítulo 3, a nivel provincial, la Ley XI N° 35, Código ambiental de la Provincia del Chubut y su Decreto Reglamentario N° 1540/16 no establecen lineamientos para la gestión de materiales resultantes de dragado. Por su parte, en Argentina hasta el momento tampoco existen normas específicas para el manejo del material dragado que sean de aplicación en jurisdicción nacional. Es por ello, que se utilizará la **Resolución N° 263/19 del actual Ministerio de Ambiente de la Provincia de Buenos Aires** como normativa de referencia, a los fines de comparar los resultados de la caracterización físico-química de los sedimentos con los niveles de referencia de dicha norma de dragado y realizar la correspondiente clasificación de los sedimentos en estudio.

7.1.2.1 Compuestos orgánicos y estaño

La mencionada norma en su Anexo I en el Art. 16° establece los valores límite para la comparación de las concentraciones de analitos. Para los **compuestos orgánicos y estaño** se evaluará considerando los valores establecidos en la "Nota de Evaluación de Aguas" (1994), perteneciente a la normativa Holandesa. A tales efectos se consideran los siguientes niveles, tal como se describió en el Apartado 3.3 del Capítulo 3:

- Valor Límite (VL) ("limit value").
- Valor de Referencia (VR) ("reference value).
- Valor de Intervención (VI) ("intervention value").

Tabla 4. Valores según Tabla 1[2], Art. 16°: *De los valores a comparar,* Resolución N° 263/19 del Ministerio de Ambiente de la Prov. de Buenos Aires.

Parámetro	Unidad	Límite	Referencia	Intervención
Hidrocarburos	mg/kg	100	3.000	5.000
PCBs	mg/kg	-	0,2	1
SUMA DE PAHs *	mg/kg	1	10	40

**** Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares**: Naftaleno, Benzo(a)antraceno, Benxo (ghi)perileno, Benzo(a)pireno, Fenantreno, Indeno(1,2,3-ad)pireno, Antraceno, Benzo(k)fluoranteno, Criseno y Fluoranteno*

Para compuestos orgánicos se deberá implementar un ajuste/corrección de concentraciones a valores estándares de materia orgánica. Las concentraciones se ajustarán al contenido estándar del 10 % de materia orgánica aplicando la siguiente ecuación de conversión para compuestos orgánicos:

$$C^* = \frac{10 \times C_i}{MO}$$

Donde:

- C* es la concentración ajustada a valores estándares de Materia Orgánica (10%)
- Ci es la concentración del parámetro i determinado en laboratorio
- MO es materia orgánica de la muestra, siendo el límite inferior 2% y el superior 30%

[2] Tabla 1: basada en el criterio holandés descripto en "Nota de Evaluación de Aguas".

7.1.2.2 Metales y arsénico

Para **metales y arsénico**, en el Art. 16° del Anexo I de la Resolución N° 263/19 se establece que deberá aplicarse el criterio de la Tabla 5, basada en el criterio de la norma española (Recomendaciones para la Gestión del Material Dragado en los Puertos Españoles (RGMD), 1994.) para la comparación de las concentraciones de analitos. La norma española establece Nivel 1 y Nivel 2, siendo ellos los valores límite de concentración de sustancias tóxicas o indeseables que sirven para establecer las diferentes categorías del material en estudio que se prende dragar.

Tabla 5. Valores según Tabla 2[3], Art. 16°: *De los valores a comparar,* Resolución N° 263/19 del Ministerio de Ambiente de la Prov. de Buenos Aires.

Parámetro	Unidad	Nivel 1	Nivel 2
Mercurio	mg/kg	0,6	3
Cadmio	mg/kg	1	5
Plomo	mg/kg	120	600
Cobre	mg/kg	100	400
Zinc	mg/kg	500	3000
Cromo	mg/kg	200	1000
Arsénico	mg/kg	80	200
Níquel	mg/kg	100	400

Los resultados de los análisis se deben expresar en mg/kg sobre peso seco y normalizarlos sobre la fracción fina del sedimento (diámetro inferior a 63 µm). La normalización de los resultados deberá implementarse de acuerdo a lo indicado a continuación, mediante la expresión:

$$C_{ei} = \frac{C_i \times FNG}{FF}$$

Siendo:

- C_{ei} la concentración normalizada por muestra
- C_i la concentración obtenida en el análisis
- FF y FNG las fracciones fina (material de diámetro inferior a 0,063 mm) y no gruesa (diámetro inferior a 2 mm), respectivamente expresadas en % en peso.

[3] TABLA 2: basada en los niveles de las Recomendaciones para la gestión del material dragado en los puertos españoles (RGMD) (1994).

7.1.2.3 Categorización del material a extraer.

En virtud del Art. 20° del Anexo I de la Resolución N° 263/19 del Ministerio de Ambiente de Bs. As., para la caracterización de los materiales a dragar se establecen las siguientes categorías de sedimentos:

Tabla 6. Clasificación de sedimentos según Resolución Nº 263/19.

Resolución Nº 263/19		
Categoría	**Compuestos Orgánicos y Estaño**	**Metales y Arsénico**
A	≤ Valor Límite	≤ Nivel 1
B	Valor Límite < [X] ≤ Valor de Referencia	Nivel 1 ≤ [X] ≤ Nivel 2
C	Valor de Referencia < [X] ≤ Valor de Intervención	Nivel 2 < [X] ≤ 8 Nivel 2
D	Valor de Intervención < [X]	Nivel 2 < [X]

[X]: concentración normalizada de analito.

- Categoría A: Es aquel material en el cual la concentración normalizada de los parámetros es igual o inferior al Nivel 1 de la Tabla 5 y/o del Valor Límite de la Tabla 4.
  Son los materiales dragados cuyos efectos químicos o bioquímicos sobre los ecosistemas involucrados son nulos o insignificantes, por cuanto pueden verterse en agua superficial libremente (inciso a) de Apartado 7.1.2.4).

- Categoría B: Es aquel material en el cual la concentración normalizada de los parámetros es superior al Nivel 1 e inferior al Nivel 2 de la Tabla 5 y/o presenta un intervalo por encima del Valor Límite, pero por debajo del Valor de Referencia de la Tabla 4.
  Se considera que los materiales a dragar presentan un moderado compromiso ambiental sobre el área de influencia y/o la zona de descarga, por cuanto pueden verterse en agua superficial en forma controlada (inciso b) de Apartado 7.1.2.4).

- Categoría C: Es aquel material en el cual la concentración normalizada de los parámetros presenta metales y/o arsénico en valores que superan el Nivel 2 de la Tabla 5 en hasta ocho (8) veces y/o superan el Valor de Referencia, pero se mantienen por debajo del Valor de Intervención de la Tabla 4.
  Se considera que los materiales a dragar han de provoca un impacto ambiental significativo sobre el área de influencia y/o la zona de descarga, por cuanto su disposición es contenida (inciso c) de Apartado 7.1.2.4).

- Categoría D: Es aquel material en el cual la concentración normalizada de los parámetros es superior a ocho (8) veces el Nivel 2 de la Tabla 5 y/o superior al Valor de Intervención de la Tabla 4.
  Se considera que los materiales a dragar han de provoca un impacto ambiental muy significativo sobre el área de influencia y/o la zona de descarga, por cuanto su disposición es confinada (inciso d) de Apartado 7.1.2.4).

7.1.2.4 Disposición del material.

La gestión del material de los dragados se efectuará bajo las siguientes modalidades, teniendo en cuenta la categorización establecida en el Artículo 20° del Anexo I de la Resolución 263/19 (ver definiciones en Apartado 3.4 del Capítulo 3):

a) Disposición Libre.
b) Disposición Controlada.
c) Disposición Contenida.
d) Disposición confinada.

Tabla 7. Tipo de Disposición de Sedimentos según Resolución Nº 263/19.

Resolución Nº 263/19	
Categoría	**Tipo de Disposición de Sedimentos**
Categoría A	Disposición libre
Categoría B	Disposición Controlada
Categoría C	Disposición Contenida
Categoría D	Disposición Confinada

7.1.3 Monitoreo de sedimentos en zona de dragado

La caracterización físico-química de los sedimentos superficiales del fondo en el Área Operativa (AO) pasible de ser dragada, correspondiente al puerto de Comodoro Rivadavia (zona de atraque, escollera este, espigón) y sectores próximos al AO, se basó en el trabajo realizado en 2022 por el equipo de investigadores y personal de apoyo del Instituto de Desarrollo Costero Dr. Héctor Zaixso de la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, (UNPSJB) (Instituto de Desarrollo Costero, 2022)[4] , a solicitud de la Administración Portuaria del Puerto de Comodoro Rivadavia, donde se establecieron un total de 22 estaciones de muestreo en el área marina (Figura 22). Se adjunta como Anexo I de este capítulo el mencionado estudio elaborado por la universidad.

En Anexo III a este capítulo se adjuntan los protocolos analíticos, donde se detallan los resultados obtenidos por el Laboratorio Ingeniería Laboral y Ambiental S.A (IL&A) encargado de llevar a cabo el análisis de las muestras de sedimento. El mencionado laboratorio se encuentra debidamente acreditado en el Registro Provincial de Laboratorios de Servicios Analíticos Ambientales de la Provincia del Chubut y además cuenta con certificación ISO 9001:2015, de sus estándares de Gestión de Calidad (se adjunta certificado en Anexo VIII de este capítulo).

El monitoreo de sedimentos en la zona de dragado y áreas próximas, se realizó en el mes de septiembre de 2022 (Instituto de Desarrollo Costero, 2022). En la Tabla 8, se detalla la ubicación de las Estaciones de muestreo definidas con su correspondiente coordenada geográfica (WGS84).

[4] Instituto de Desarrollo Costero (2022). Línea de Base Ambiental del bentos, columna de agua y sedimentos del Puerto de Comodoro Rivadavia y zonas de influencia.

Figura 22. Estaciones de muestreo ubicadas en el área pasible de ser dragada y áreas adyacentes hacia el norte y noroeste del puerto de Comodoro Rivadavia. Fuente: elaboración propia a partir de Instituto de Desarrollo Costero, 2022.

Tabla 8. Coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo (WGS 84). Fuente: Instituto de Desarrollo Costero, 2022.

Estación	Latitud	Longitud
E1	45°51’ 43.46’’	67°27’ 29.59’’
E2	45°51’ 43.56’’	67°27’ 33.90’’
E3	45°51’ 43.66’’	67°27’ 38.18’
E4	45°51’ 43.73’’	67°27’ 42.76’’
E5	45°51’ 42.27’’	67°27´’ 47.89’’
E6	45°51’ 42.40’’	67°27’ 52.64’’
E7	45°51’ 39.58’’	67°27’ 33.58’’
E8	45°51’ 34.30’’	67°27’ 25.96’’
E9	45°51’ 34.61’’	67°27’ 41.35’’
E10	45°51’ 39.91’’	67°27’ 46.45’’
E11	45°51’ 36.63’’	67°27’ 52.79’’
E12	45°51’ 13.37’’	67°28’ 19.35’’
E13	45°51’ 22.42’’	67°28’ 08.89’’
E14	45°51’ 28.84’’	67°28’ 17.60’’
E15	45°51’ 05.19’’	67°28’ 02.82’’
E16	45°51’ 08.86’’	67°27’ 49.81’’
E17	45°51’ 12.37’’	67°27’ 36.58’’
E18	45°51’ 20.75’’	67°27’ 58.97’’
E19	45°51’ 20.90’’	67°27’ 37.69’’
E20	45°51’ 36.96’’	67°28’ 07.81’’
E21	45°52’ 11.19’’	67°28’ 13.59’’
E22	45°52’ 28.78’’	67°28’ 11.43’’

Para llevar a cabo la toma de muestras, la aproximación a cada estación de muestreo se realizó navegando con en una embarcación de tipo semirrígido. La recolección de muestras de sedimentos de fondo se llevó a cabo mediante buceo autónomo, donde se utilizaron recipientes de tipo muestreador Hope de 50 cm de longitud y 5 cm de diámetro. El material recolectado fue llevado a bordo de la embarcación por el buzo y un operador se encargó de homogeneizar el material para finalmente trasvasarlo a los recipientes correspondientes (Instituto de Desarrollo Costero, 2022).

Las muestras se conservaron en recipientes de vidrio, mientras que las muestras para granulometría se guardaron en bolsas de nylon (Instituto de Desarrollo Costero, 2022).

Todos los recipientes fueron debidamente rotulados y conservados en heladera hasta el momento de la derivación donde fueron enviadas, junto a sus correspondientes cadenas de custodia, al Laboratorio IL&A S.A. -Sucursal Sur- INGENIERÍA LABORAL y AMBIENTAL S.A.

Las cadenas de custodias de las muestras fueron elaboradas in situ, en formularios por triplicado y durante el procedimiento de recolección de las mismas. Los formularios de cadena de custodia incluyeron información sobre la fecha y hora de muestreo, estado del tiempo e información inherente a la recolección de muestras.

En lo que respecta a sedimentos, se procesaron un total de 17 muestras de sedimento de fondo para la determinación de parámetros de composición de tamaño de grano (granulometría). Quedaron excluidas del análisis las estaciones E16, E21 y E22 dado que las mismas presentaban un sustrato duro (fondo rocoso), y las muestras de las estaciones E8 y E9 no pudieron ser procesadas dado que se produjo la rotura de los envoltorios durante el traslado a laboratorio.

La distribución de las estaciones de muestreo aseguró la cobertura de todos los sectores y usos del área de estudio y la caracterización de los sedimentos de fondo en función de la variedad de potenciales fuentes de contaminación presentes, como la descarga de hidrocarburos livianos en el muelle de YPF, aportes de efluentes o residuos en la zona costera, contaminación originada por vuelcos desde las embarcaciones y los procesos de eutrofización costeras, entre otros.

En dicho estudio se determinaron los siguientes parámetros:

- ✓ Descripción granulométrica
- ✓ Nitrógeno Total (µg/g)
- ✓ Fosfatos (µg/g)
- ✓ Nitratos (NO_3^-, µg/g)
- ✓ Sulfuros (µg/g)
- ✓ Carbono Orgánico Total (%COT)
- ✓ Bifenilos Policlorados (PCBs, µg/g)
- ✓ Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH, µg/g)
- ✓ Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares (PHA, µg/g)
- ✓ Hidrocarburos (C_{10}-C_{40}, µg/g)
- ✓ Bacteriología (NMP/g MS, es decir número más probable por gramo de material seco): Bacterias Coliformes Totales, Bacterias Coliformes Fecales y *Escherichia coli*
- ✓ Metales Pesados (µg/g): Arsénico Total, Cadmio Total, Cinc Total, Cromo Total, Cobre Total, Mercurio Total, Níquel Total y Plomo Total

7.1.3.1 Granulometría

En virtud del informe del Instituto de Desarrollo Costero (2022), la granulometría del sedimento fue variable en los distintos sitios muestreados, pero en todos ellos los componentes dominantes fueron los limos y las arenas finas a muy finas.

Se determinaron los siguientes parámetros: Carbono orgánico total (COT), Nitrógeno total y Porcentajes de las fracciones de arenas, limos y arcillas representadas en la muestra. También se detalla la composición de la fracción de arena discriminada por tamaño de grano (expresado en porcentaje). La separación de arenas se llevó a cabo mediante el tamizado utilizando una serie de tamices con las siguientes luces de malla 1,4 mm, 1 mm, 0,710 mm, 0,600 mm, 0,500 mm, 0,355 mm, 0,250 mm, 0,180 mm, 0,125 mm, 0,063 y 0,053 mm (Figura 23). El porcentaje de las distintas fracciones de arena se expresan sobre el total de la fracción de arena.

Todas las muestras fueron catalogadas en los grupos texturales Fangoso, Fango-Arenoso o Areno-Fangoso, por lo que existe un componente significativo de sedimentos de grano fino. Esto se explica en función de la ubicación del puerto que, al actuar como estructura de protección, permite la decantación de los sedimentos finos en el fondo.

Un mayor detalle de los tipos de sedimentos respecto a su grupo textural, clasificación y tamaño promedio de grano se sintetiza en la Tabla 9, donde los sitios están organizados desde aquellos con sedimentos más finos y con menores tamaños promedio de granos en la parte superior de la tabla, hacia los más gruesos y con mayores tamaños promedio de granos. Los sedimentos más finos se encontraron asociados al área de atraque del puerto o en el abrigo del puerto, mientras que los sedimentos con granos de mayor diámetro se hallaron en zonas próximas a la playa costanera.

ID	COT	N	Arena	Limo	Arcilla	Separación de arenas (expresada en % de arena)									
						1,400	1,000	0,710	0,600	0,500	0,355	0,250	0,180	0,125	0,063	0,053
E1	0.949	0.110	44.9	32.8	22.3	0.09	0.10	0.10	0.43	0.25	0.18	0.63	2.60	12.39	70.24	12.81
E2	1.460	0.183	6.0	66.3	27.7	0.36	0.68	1.20	1.47	1.43	0.80	1.32	2.00	6.15	53.76	29.57
E3	1.289	0.167	6.5	65.7	27.8	0.16	0.27	0.46	0.40	0.25	0.84	2.73	7.93	17.62	58.70	8.70
E4	0.624	0.058	66.5	17.0	16.5	0.13	0.11	0.18	0.23	0.60	0.52	1.70	4.80	24.54	63.20	3.76
E5	1.425	0.190	6.1	67.4	26.5	0.07	0.22	0.34	0.65	1.06	0.68	2.57	1.40	7.36	49.64	35.19
E6	1.176	0.146	3.8	67.0	29.2	0.40	0.51	0.28	0.64	0.63	0.54	1.57	5.13	13.32	49.20	26.15
E7	0.941	0.115	26.2	46.3	27.5	0.60	1.14	0.76	0.82	2.04	1.67	3.91	8.38	1.21	57.60	19.97
E10	0.975	0.110	9.1	64.2	26.7	0.03	1.06	0.09	0.26	1.50	1.02	2.03	0.71	2.45	51.57	33.77
E11	0.846	0.104	21.8	47.9	30.3	0.69	1.39	1.47	1.27	2.40	1.46	1.92	4.10	10.36	57.47	15.18
E12	0.557	0.077	59.7	19.9	20.5	0.00	0.01	0.06	0.08	0.20	0.11	0.31	1.19	15.35	72.87	8.56
E13	0.246	0.036	65.3	17.9	16.8	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.03	0.05	0.21	5.93	85.82	7.60
E14	0.124	0.011	84.5	5.4	10.1	0.00	0.00	0.00	0.09	0.01	0.03	0.06	0.38	18.01	77.24	3.00
E15	0.137	0.015	71.4	13.7	14.9	0.00	0.00	0.12	0.10	0.01	0.02	0.14	0.99	16.39	76.06	5.48
E17	1.140	0.134	25.2	56.4	18.4	0.18	0.04	0.09	0.10	0.35	0.27	0.54	1.27	4.72	57.82	31.65
E18	0.226	0.022	72.6	15.4	12.0	0.00	0.01	0.01	0.03	0.06	0.09	0.23	0.91	7.08	82.70	7.16
E19	0.233	0.014	69.5	16.9	13.6	0.04	0.04	0.05	0.06	0.09	0.10	0.17	0.33	5.88	85.16	7.72
E20	0.210	0.017	86.5	5.4	8.1	0.07	0.03	0.06	0.08	0.09	0.10	0.26	1.26	6.09	85.73	5.79

Figura 23. Tabla Contenido de Carbono Orgánico Total (C), Nitrógeno total (N) y fracciones granulométricas (mm) en muestras de sedimento del Puerto. Fuente: Instituto de Desarrollo Costero, 2022.

Tabla 9. Tipos de sedimentos del puerto de Comodoro Rivadavia y sector aledaño según grupo textural, clasificación y tamaño promedio de grano. Fuente: adaptado de Instituto de Desarrollo Costero, 2022.

Estación de muestreo	Tipo de sedimento		
	Grupo textural	Clasificación	Tamaño promedio de grano
E6	Fangoso	limo fino	limo fino
E2		limo grueso	limo mediano
E3			
E5			
E10			
E7	Fango-Arenoso	fango arenoso muy fino	limo mediano
E11			
E1			limo grueso
E17		fango muy grueso-arenoso muy fino	limo mediano
E4	Areno-Fangoso	arenas muy finas - fangosas	limo mediano
E12			limo grueso
E13			
E15			
E19			
E18			limo muy grueso
E14			arena muy fina
E20			

Nota: no se incluyeron las estaciones E16, E21 y E22 por existencia de sustrato rocoso, ni las E8 y E9 por pérdida de parte del contenido de las muestras (ver Instituto de Desarrollo Costero, 2022).

7.1.3.2 Resultado de análisis físico-químico y bacteriológico

En relación a la caracterización físico-química y bacteriológica de las muestras de sedimentos, a continuación, se presentan los resultados extraídos del estudio realizado por el Instituto de Desarrollo Costero (2022).

En el mismo se determinó que los resultados obtenidos fueron menores en comparación con los valores umbrales para considerar un material de dragado como no peligroso, establecidos en las Directrices para la Caracterización del Material Dragado y su Reubicación en Aguas del Dominio Público Marítimo-Terrestre elaborado por la Comisión Interministerial de Estrategias Marinas (CIEM, 2021) y las Recomendaciones para la gestión del material dragado en los puertos españoles elaborado por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas de España (CEDEX, 1994).

Tabla 10. Resultados del análisis granulométrico, informe septiembre 2022. Fuente: adaptado de Instituto de Desarrollo Costero, 2022.

Zona	Área Operativa de Dragado						Inmediaciones del área de dragado										
D (mm)	E1	E2	E3	E4	E7	E10	E5	E6	E11	E12	E13	E14	E15	E17	E18	E19	E20
< 0,053	12,81	29,57	8,70	3,76	19,97	33,77	35,19	26,15	15,18	8,56	7,60	3,00	5,48	31,65	7,16	7,72	5,79
0,053 - 0,063	70,24	53,76	58,70	63,20	57,60	51,57	49,64	49,20	57,47	72,87	85,82	77,24	76,06	57,82	82,70	85,16	85,73
0,063 – 0,125	12,39	6,15	17,62	24,54	1,21	2,45	7,36	13,32	10,36	15,35	5,93	18,01	16,39	4,72	7,08	5,88	6,09
0,125 – 0,180	2,60	2,00	7,93	4,80	8,38	0,71	1,40	5,13	4,10	1,19	0,21	0,38	0,99	1,27	0,91	0,33	1,26
0,180 - 0,250	0,63	1,32	2,73	1,70	3,91	2,03	2,57	1,57	1,92	0,31	0,05	0,06	0,14	0,54	0,23	0,17	0,26
0,250 - 0,355	0,18	0,80	0,84	0,52	1,67	1,02	0,68	0,54	1,46	0,11	0,03	0,03	0,02	0,27	0,09	0,10	0,10
0,355 - 0,500	0,25	1,43	0,25	0,60	2,04	1,50	1,06	0,63	2,40	0,20	0,03	0,01	0,01	0,35	0,06	0,09	0,09
0,500 - 0,600	0,43	1,47	0,40	0,23	0,82	0,26	0,65	0,64	1,27	0,08	0,02	0,09	0,10	0,10	0,03	0,06	0,08
0,600 - 0,710	0,10	1,20	0,46	0,18	0,76	0,09	0,34	0,28	1,47	0,06	0	0	0,12	0,09	0,01	0,05	0,06
0,710 - 1,000	0,10	0,68	0,27	0,11	1,14	1,06	0,22	0,51	1,39	0,01	0	0	0	0,04	0,01	0,04	0,03
1,000 - 1,400	0,09	0,36	0,16	0,13	0,60	0,03	0,07	0,40	0,69	0	0	0	0	0,18	0	0,04	0,07
> 1,4000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fracción Fina	83,05	83,33	67,40	66,96	77,57	85,34	84,83	75,35	72,65	81,43	93,42	80,24	81,54	89,47	89,86	92,88	91,52
Fracción No Gruesa	100	99	98	100	98	94	99	98	98	99	100	99	99	97	98	100	100
FNG/FF	**1,20**	**1,18**	**1,45**	**1,49**	**1,26**	**1,11**	**1,17**	**1,31**	**1,34**	**1,21**	**1,07**	**1,23**	**1,22**	**1,08**	**1,09**	**1,07**	**1,09**

FNG: Fracción No Gruesa
FF: Fracción Fina

Tabla 11. Resultados del análisis físico-químico, informe septiembre 2022. Fuente: adaptado de Instituto de Desarrollo Costero, 2022.

Parámetros	Unidad	Área Operativa de Dragado								Inmediaciones del área de dragado			LCM	LDM
		E1	E2	E3	E4	E7	E8	E9	E10	E5	E6	E11		
Fosfato	**µg/g**	451	140	132	186	365	266	321	190	151	203	204	**5**	**2**
Nitrato, como $NO3^-$	**µg/g**	22	25	16	9	23	10	21	8	11	15	10	**5**	**2**
Sulfuros	**µg/g**	71	91	35	76	70	47	49	92	68	42	75	**5**	**2**
Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH)	**µg/g**	ND	<0,1	<0,1	<0,1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	**0,1**	**0,05**
Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares (PAH´s)	**µg/g**	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	**0,01**	**0,005**
PCBs	**µg/g**	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	**0,05**	**0,02**
Hidrocarburos (C10-C40)	**µg/g**	ND	<0,1	<0,1	<0,1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	**0,1**	**0,05**
Bacterias Coliformes Totales	**NMP/gr MS**	90	90	43	23	43	43	90	0	23	23	3	**0**	**0**
Bacterias Coliformes Fecales	**NMP/gr MS**	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0	**0**	**0**
Escherichia Coli	**NMP/gr MS**	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	**0**
Arsénico Total	**µg/g**	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	**0,3**	**0,14**
Cadmio Total	**µg/g**	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	**0,06**	**0,025**
Cinc Total	**µg/g**	101,3	75,0	138,8	159,0	86,0	50,0	48,6	60,0	131,1	87,9	41,4	**0,2**	**0,1**
Cromo Total	**µg/g**	17,1	11,3	21,4	9,3	93,9	9,0	5,8	8,9	18,9	9,1	7,5	**0,2**	**0,07**
Cobre Total	**µg/g**	26,0	17,0	30,4	7,4	74,5	7,6	8,6	9,4	25,2	12,9	3,9	**0,5**	**0,2**
Mercurio Total	**µg/g**	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	**0,05**	**0,02**
Níquel Total	**µg/g**	11,1	7,4	14,8	5,6	10,2	5,9	5,1	5,4	12,4	5,2	4,7	**0,2**	**0,1**
Plomo Total	**µg/g**	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	**0,2**	**0,1**

LCM: Límite de Cuantificación del método.
LDM: Límite de Detección del Método.
Notación ND: No detectado, equivale a menor del límite de detección del método.

Tabla 12. Resultados del análisis físico-químico, informe septiembre 2022. Fuente: adaptado de Instituto de Desarrollo Costero, 2022.

Parámetros	Unidad	Inmediaciones del área de dragado											LCM	LDM
		E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19	E20	E21	E22		
Fosfato	**µg/g**	573	439	426	426	415	412	406	241	350	243	410	**5**	**2**
Nitrato, como $NO3^-$	**µg/g**	11	12	9	12	13	10	13	12	9	56	10	**5**	**2**
Sulfuros	**µg/g**	28	88	81	65	93	79	75	51	87	89	69	**5**	**2**
Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH)	**µg/g**	<0,1	ND	<0,1	<0,1	<0,1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	**0,1**	**0,05**
Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares (A)	**µg/g**	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	**0,01**	**0,005**
PCBs	**µg/g**	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	**0,05**	**0,02**
Hidrocarburos (C10-C40)	**µg/g**	<0,1	ND	<0,1	<0,1	<0,1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	**0,1**	**0,05**
Bacterias Coliformes Totales	**NMP/gr MS**	3	23	0	75	43	43	23	43	0	1100	0	**0**	**0**
Bacterias Coliformes Fecales	**NMP/gr MS**	0	0	0	43	23	23	0	0	0	460	0	**0**	**0**
Escherichia Coli	**NMP/gr MS**	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**	**0**
Arsénico Total	**µg/g**	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	**0,3**	**0,14**
Cadmio Total	**µg/g**	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	**0,06**	**0,025**
Cinc Total	**µg/g**	32,1	32,1	134,6	31,7	31,3	46,7	29,7	49,4	123,7	49,3	8,2	**0,2**	**0,1**
Cromo Total	**µg/g**	6,3	6,7	26,9	6,6	4,4	9,2	6,6	11,4	15,2	10,1	1,8	**0,2**	**0,07**
Cobre Total	**µg/g**	5,1	3,3	31,2	4,9	3,9	4,0	4,2	3,5	15,5	4,8	<0,5	**0,5**	**0,2**
Mercurio Total	**µg/g**	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	**0,05**	**0,02**
Níquel Total	**µg/g**	3,8	4,0	15,0	3,7	3,5	4,7	3,6	5,6	10,7	5,7	1,0	**0,2**	**0,1**
Plomo Total	**µg/g**	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	**0,2**	**0,1**

LCM: Límite de Cuantificación del método.
LDM: Límite de Detección del Método.
Notación ND: No detectado, equivale a menor del límite de detección del método.

7.1.3.3 Análisis de resultados según Resolución N° 263/19

A continuación, se detallan los análisis del sedimento a dragar respecto a las concentraciones de metales y compuestos orgánicos, de acuerdo a los lineamientos establecidos en la normativa de referencia, Resolución N° 263/19 del actual Ministerio de Ambiente de la Prov. de Buenos Aires.

En este sentido, la coloración en las tablas de análisis (Tabla 14 y Tabla 15) responde a la siguiente categorización:

Tabla 13. Clasificación de sedimentos según Resolución Nº 263/19.

Resolución Nº 263/19		
Categoría	**Compuestos Orgánicos y Estaño**	**Metales**
A	≤ Valor Límite	≤ NA I
B	Valor Límite < [X] ≤ Valor de Referencia	NA I ≤ [X] ≤ NA II
C	Valor de Referencia < [X] ≤ Valor de Intervención	NA II < [X] ≤ 8 NA II
D	Valor de Intervención < [X]	8 NA II < [X]

Resolución Nº 263/19	
Categoría	**Tipo de Disposición de Sedimentos**
Categoría A	Disposición libre
Categoría B	Disposición Controlada
Categoría C	Disposición Contenida
Categoría D	Disposición Confinada

Para metales, se exponen los resultados de los análisis expresados en mg/kg sobre peso seco y normalizado sobre la fracción fina del sedimento (diámetro inferior a 63 µm) (Apartado 7.1.2.2). Para compuestos orgánicos, se indican los ajustes correspondientes a los resultados a los fines de conversión a contenido estándar de materia orgánica y arcilla (10% materia orgánica y 25% arcilla) (Apartado 7.1.2.1), conforme se indica en la normativa de referencia.

Se sombrean únicamente aquellos valores que fueron detectados por el Laboratorio. En el caso de los analitos que fueron detectados pero que se encuentran por debajo del límite de detección de técnica de laboratorio, se toma el valor del límite de la técnica analítica empleada y el mismo se ajusta según el contenido de materia orgánica de cada muestra.

Tabla 14. Análisis de los resultados obtenidos para sedimentos según Res. 263/19 del Ministerio de Ambiente de Bs. As. Fuente: elaboración propia a partir de Instituto de Desarrollo Costero, 2022.

		Área Operativa de Dragado						Inmediaciones del área de dragado			Niveles guía		
Parámetro	**Unidades**	**E1**	**E2**	**E3**	**E4**	**E7**	**E10**	**E5**	**E6**	**E11**	**Nivel 1 / Límite**	**Nivel 2 / Referencia**	**8* Nivel 2 / Intervención**
METALES													
FNG/FF	-	1,20	1,18	1,45	1,49	1,26	1,11	1,17	1,31	1,34			
Arsénico	mg/kg	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	**80**	**200**	**1600**
Cadmio	mg/kg	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	**1**	**5**	**40**
Cinc Total	mg/kg	121,8	88,9	201,9	236,9	108,8	66,4	153,3	114,8	55,7	**500**	**3000**	**24000**
Cobre	mg/kg	31,3	20,1	44,2	11,0	94,2	10,4	29,5	16,8	5,2	**100**	**400**	**3200**
Cromo Total	mg/kg	20,6	13,4	31,1	13,9	118,8	9,9	22,1	11,9	10,1	**200**	**1000**	**8000**
Níquel	mg/kg	13,3	8,8	21,5	8,3	12,9	6,0	14,5	6,8	6,3	**100**	**400**	**3200**
Mercurio	mg/kg	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	**0,6**	**3**	**24**
Plomo	mg/kg	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	**120**	**600**	**4800**
COMPUESTOS ORGÁNICOS													
Materia Orgánica	%	1,636	2,517	2,222	1,076	1,622	1,681	2,457	2,027	1,459			
Hidrocarburos C10-C40	mg/kg	0,306	0,397	0,450	0,930	0,308	0,297	0,204	0,247	0,343	**100**	**3.000**	**5.000**
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/kg	0,306	0,397	0,450	0,930	0,308	0,297	0,204	0,247	0,343	**100**	**3.000**	**5.000**
PCBs	mg/kg	0,122	0,079	0,090	0,186	0,123	0,119	0,081	0,099	0,137	**-**	**0,2**	**1**
Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares	mg/kg	0,031	0,020	0,022	0,046	0,031	0,030	0,020	0,025	0,034	**1**	**10**	**40**

Tabla 15. Análisis de los resultados obtenidos para sedimentos según Res. 263/19 del Ministerio de Ambiente de Bs. As. Fuente: elaboración propia a partir de Instituto de Desarrollo Costero, 2022.

		Inmediaciones del área de dragado								Niveles guía		
Parámetro	**Unidades**	**E12**	**E13**	**E14**	**E15**	**E17**	**E18**	**E19**	**E20**	**Nivel 1 / Límite**	**Nivel 2 / Referencia**	**8* Nivel 2 / Intervención**
METALES												
FNG/FF		1,21	1,07	1,23	1,22	1,08	1,09	1,07	1,09			
Arsénico	mg/kg	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	**80**	**200**	**1600**
Cadmio	mg/kg	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	**1**	**5**	**40**
Cinc Total	mg/kg	38,9	34,3	165,8	38,6	50,6	32,5	53,0	134,6	**500**	**3000**	**24000**
Cobre	mg/kg	6,2	3,5	38,4	6,0	4,3	4,6	3,8	16,9	**100**	**400**	**3200**
Cromo Total	mg/kg	7,6	7,1	33,1	8,0	10,0	7,2	12,2	16,5	**200**	**1000**	**8000**
Níquel	mg/kg	4,6	4,3	18,5	4,5	5,1	3,9	6,0	11,6	**100**	**400**	**3200**
Mercurio	mg/kg	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	**0,6**	**3**	**24**
Plomo	mg/kg	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	**120**	**600**	**4800**
COMPUESTOS ORGÁNICOS												
Materia Orgánica	%	0,960	0,424	0,214	0,236	1,965	0,390	0,402	0,362			
Hidrocarburos C10-C40	mg/kg	1,041	1,179	4,678	4,234	0,254	1,283	1,245	1,381	**100**	**3.000**	**5.000**
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/kg	1,041	1,179	4,678	4,234	0,254	1,283	1,245	1,381	**100**	**3.000**	**5.000**
PCBs	mg/kg	0,208	0,472	0,936	0,847	0,102	0,513	0,498	0,552	**-**	**0,2**	**1**
Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares	mg/kg	0,052	0,118	0,234	0,212	0,025	0,128	0,124	0,138	**1**	**10**	**40**

A continuación, se realiza el análisis sobre la calidad de los sedimentos tomando como base los límites de referencia enunciados en la Resolución 263/19 del Ministerio de Ambiente de la Prov. de Buenos Aires, dada a la ausencia de normativa para el manejo del material de dragado que sea de aplicación en la jurisdicción provincial y nacional.

Tal como puede observarse en la Tabla 11 y Tabla 12 donde se resumen los resultados extraídos del informe realizado por el Instituto de Desarrollo Costero (2022), en todas las muestras ubicadas en el Área Operativa de Dragado (muestras E1, E2, E3, E4, E7 y E10) las concentraciones de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH), Hidrocarburos (C10-C40), Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares (A), PCBs, Arsénico, Cadmio, Mercurio y plomo se encuentran por debajo del límite de cuantificación de la técnica de laboratorio empleada. En el caso de los parámetros PCBs e Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares, incluso se encontraron por debajo del límite de detección de la técnica de laboratorio empleada en todas las muestras de sedimento analizadas.

De igual manera, en el resto de las muestras analizadas las cuales se localizan en las inmediaciones del área de dragado, las concentraciones de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH), Hidrocarburos (C10-C40), Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares (A), PCBs, Arsénico, Cadmio, Mercurio y plomo se encuentran por debajo del límite de cuantificación de la técnica de laboratorio empleada, mientras que los PCBs e Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares, estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica de laboratorio.

Se procedió a evaluar los resultados extraídos del informe del Instituto de Desarrollo Costero (2022) para categorizar los sedimentos de acuerdo a los lineamientos de la Resolución 263/19 (Tabla 14 y Tabla 15). Se analizan las 17 muestras donde se pudo determinar composición de tamaño de grano (granulometría). Cabe mencionar que, el resto de las muestras no pudieron evaluarse según la Resolución 263/19 dado que no fue posible analizar su granulometría.

En el caso del parámetro PCBs, si bien la concentración del mismo en todas las muestras analizadas se encuentra por debajo del límite de detección de la técnica de laboratorio (es decir, no detectado), se puede apreciar que algunos de los resultados estuvieron por encima del nivel de *Referencia* al ser normalizados. Es decir, que esto se debe a que se tomó el valor del límite de la técnica analítica empleada para normalizarlo con el contenido de materia orgánica, tal como lo indica el método de la Resolución 263/19.

De este modo y en virtud del análisis detallado, se concluye que todas las muestras de sedimentos ubicadas en el Área Operativa de Dragado (muestras E1, E2, E3, E4, E7 y E10) pueden ser clasificadas como CATEGORÍA A, en todos los parámetros analizados dado que la concentración normalizada de los parámetros es menor al Nivel 1 y del Valor Límite establecidos por la normativa utilizada como referencia, "*Tabla 1 y Tabla 2 - Anexo I de Resolución 263/19*". Asimismo, todas las muestras restantes localizadas en las inmediaciones del área de dragado también pueden ser clasificadas como CATEGORÍA A, en todos los parámetros analizados.

Por lo tanto, los materiales que pretenden ser dragados en la zona de Antepuerto y pie de Muelle, son ambientalmente adecuados para proceder con la *Disposición Libre* teniendo en cuenta la categorización establecida en el Artículo 20° del Anexo I de la Resolución 263/19.

7.1.4 Monitoreo de sedimentos en zona de descarga

A los efectos de proceder con la caracterización físico-química de la calidad de sedimentos de la potencial zona de descarga y destino final del material que será dragado en el Puerto de Comodoro Rivadavia, se extrajo información del trabajo realizado en mayo de 2023 por el equipo de investigadores y personal de apoyo del Instituto de Desarrollo Costero Dr. Héctor Zaixso de la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, (UNPSJB) (Instituto de Desarrollo Costero, 2023)[5], a solicitud de la Administración Portuaria del Puerto de Comodoro Rivadavia. El estudio tuvo el objetivo de complementar la línea de base ambiental realizada en 2022 en el Puerto de Comodoro Rivadavia y zonas de influencia en el trabajo (Instituto de Desarrollo Costero, 2022). Se adjunta como Anexo II de este capítulo el mencionado estudio elaborado por la universidad.

En el Anexo IV de este capítulo se adjuntan los protocolos analíticos, donde se detallan los resultados obtenidos por el Laboratorio Ingeniería Laboral y Ambiental S.A (IL&A) encargado de llevar a cabo el análisis de las muestras de sedimento en la zona de descarga. El mencionado laboratorio se encuentra debidamente acreditado en el Registro Provincial de Laboratorios de Servicios Analíticos Ambientales de la Provincia del Chubut y además cuenta con certificación ISO 9001:2015, de sus estándares de Gestión de Calidad (se adjunta certificado en Anexo VIII de este capítulo).

El área de estudio se encuentra comprendida por un polígono cuadrangular de 800 metros de lado, ubicado a una distancia aproximada de 6 km desde el Puerto de Comodoro Rivadavia, en dirección Este-Sudeste (Figura 24). La profundidad promedio de la zona relevada fue de entre 51 y 55 metros respecto del plano de reducción local.

Se colectó un total de **2 muestras en las estaciones ZD1 y ZD2** tanto para la caracterización físico-química de los sedimentos como para la determinación de parámetros de composición de tamaño de grano (granulometría) (Figura 25). En la Tabla 16, se detalla la ubicación de las Estaciones de muestreo definidas con su correspondiente coordenada geográfica (WGS84).

Para la colecta de sedimento de fondo, se llevó a cabo la toma de muestras mediante el uso de una draga tipo Eckman, o en su defecto, cuando se dificultó por la profundidad se colectó la muestra mediante el uso de un muestreador cilíndrico mediante arrastre (Instituto de Desarrollo Costero, 2022). Se colectaron dos muestras de sedimento destinado a la caracterización físico-química. Las muestras se conservaron en recipientes de vidrio, mientras que las muestras para granulometría se guardaron en bolsas de nylon.

Todos los recipientes fueron debidamente rotulados y conservados en heladera hasta el momento de la derivación donde fueron enviadas, junto a sus correspondientes cadenas de custodia, al Laboratorio IL&A S.A. -Sucursal Sur- INGENIERÍA LABORAL y AMBIENTAL S.A.

Las cadenas de custodias de las muestras fueron elaboradas in situ, en formularios por triplicado y durante el procedimiento de recolección de las mismas. Los formularios de cadena de custodia incluyeron información sobre la fecha y hora de muestreo, estado del tiempo e información inherente a la recolección de muestras.

[5] Instituto de Desarrollo Costero (2023). Caracterización ambiental del bentos, columna de agua y sedimentos del sitio de descarga del material de dragado del Puerto de Comodoro Rivadavia. Mayo, 2023

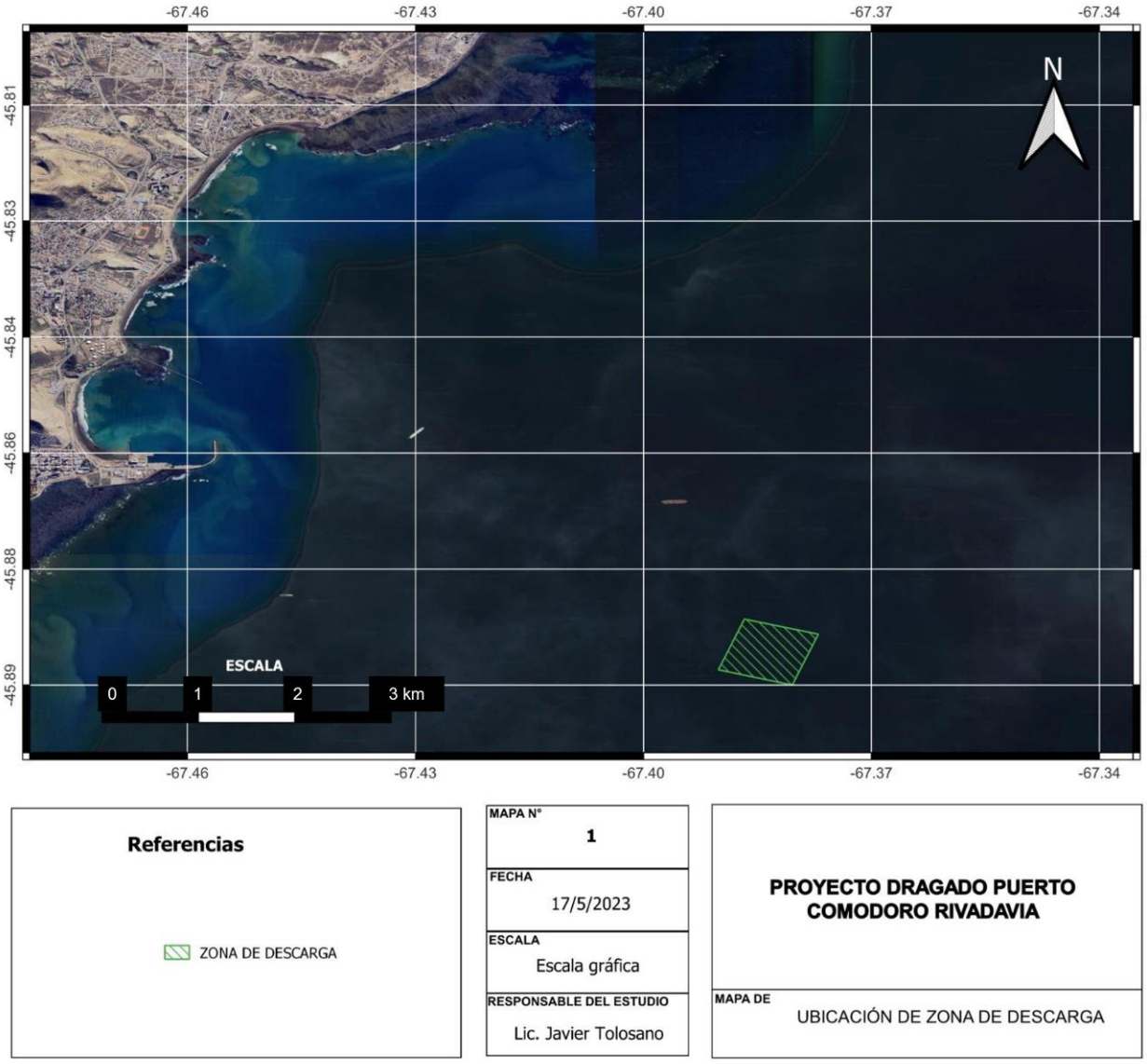


Figura 24. Mapa de ubicación general del área de estudio. Fuente: modificado de Instituto de Desarrollo Costero, 2023.

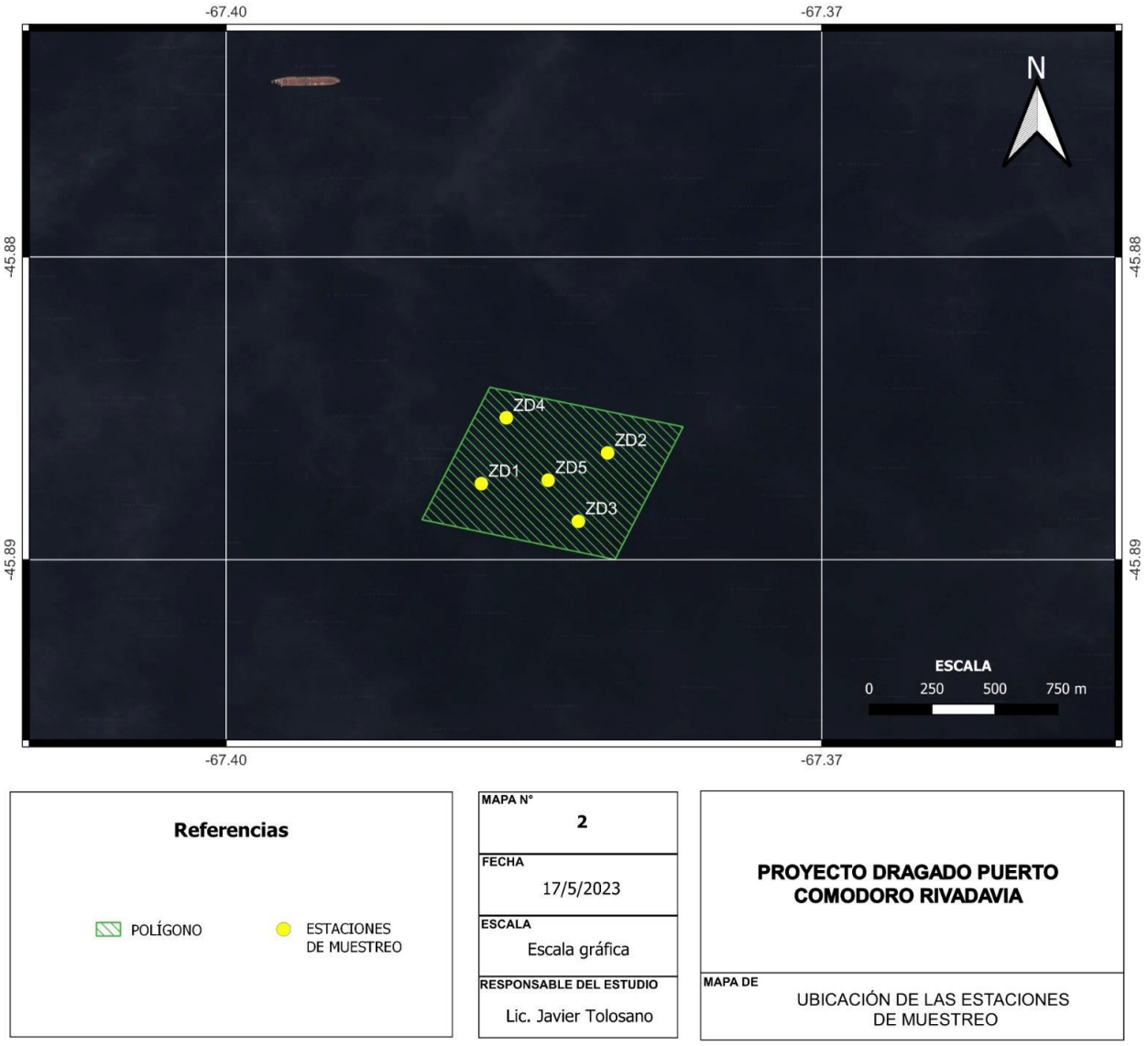


Figura 25. Mapa de ubicación de las estaciones de muestreo en el área de estudio en el área de estudio. Fuente: modificado de Instituto de Desarrollo Costero, 2023.

Tabla 16. Coordenadas geográficas de las estaciones de muestreo (WGS 84). Fuente: Instituto de Desarrollo Costero, 2022.

Estación	Latitud	Longitud
ZD1	45°53’ 15.37’’S	67°23’ 9.34’’O
ZD2	45°53’ 9.70’’S	67°22’ 46.06’’O

En el informe del Instituto de Desarrollo Costero (2023) se determinaron los siguientes parámetros:

- ✓ Descripción granulométrica
- ✓ Fosfatos (µg/g)
- ✓ Nitratos (NO_3^-, µg/g)
- ✓ Sulfuros (µg/g)
- ✓ Carbono Orgánico Total (%COT)
- ✓ Bifenilos Policlorados (PCBs, µg/g)
- ✓ Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH, µg/g)
- ✓ Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares (PHA, µg/g)
- ✓ Hidrocarburos (C_{10}-C_{40}, µg/g)
- ✓ Bacteriología (NMP/g MS, es decir número más probable por gramo de material seco): Bacterias Coliformes Totales, Bacterias Coliformes Fecales y *Escherichia coli*
- ✓ Metales Pesados (µg/g): Arsénico Total, Cadmio Total, Cinc Total, Cromo Total, Cobre Total, Mercurio Total, Níquel Total y Plomo Total

7.1.4.1 Granulometría

En la granulometría del sedimento determinada en el informe del Instituto de Desarrollo Costero, (2023) en los dos sitios muestreados (estaciones ZD1 y ZD2), fueron predominantes los limos y las arenas. Además, se determinó la composición de la fracción de arena discriminada por tamaño de grano (expresado en porcentaje). La separación de arenas se llevó a cabo mediante el tamizado utilizando una serie de tamices con las siguientes luces de malla 2 mm, 1,4 mm, 1 mm, 0,710 mm, 0,600 mm, 0,500 mm, 0,355 mm, 0,250 mm, 0,180 mm, 0,125 mm y 0,063 mm. Los resultados se exponen en la Tabla 17.

Tabla 17. Resultados del análisis granulométrico, informe mayo 2023. Fuente: adaptado de Instituto de Desarrollo Costero, 2023.

D (mm)	ZD1	ZD2
<0,063	20,00	16,00
0,063 – 0,125	43,00	51,00
0,125 – 0,180	20,00	19,00
0,180 - 0,250	15,00	13,00
0,250 - 0,355	2,00	1,00
0,355 - 0,500	0,00	0,00
0,500 - 0,600	0,00	0,00
0,600 - 0,710	0,00	0,00
0,710 - 1,000	0,00	0,00
1,000 - 1,400	0,00	0,00
1,400 - 2,000	0,00	0,00
>2,000	0,00	0,00
Fracción Fina	20,00	16,00
Fracción No Gruesa	100	100
FNG/FF	**5,00**	**6,25**
FNG: Fracción No Gruesa **FF: Fracción Fina**		

7.1.4.2 Resultado de análisis físico-químico y bacteriológico

En relación a la caracterización físico-química y bacteriológica de las muestras de sedimentos, a continuación, se presentan los resultados extraídos del informe del Instituto de Desarrollo Costero (2023).

Tabla 18. Resultados del análisis físico-químico, informe mayo 2023. Fuente: adaptado de Instituto de Desarrollo Costero, 2023.

Parámetros	Unidad	ZD1	ZD2	LCM	LDM
Fosfato	**µg/g**	346	263	**5**	**2**
Nitrato, como $NO3^-$	**µg/g**	<0,1	<0,1	**0,1**	**0,05**
Sulfuros	**µg/g**	48	<5	**5**	**2**
Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH)	**µg/g**	ND	ND	**0,1**	**0,05**
Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares (PAH´s)	**µg/g**	ND	ND	**0,01**	**0,005**
PCBs	**µg/g**	ND	ND	**0,05**	**0,02**
Hidrocarburos (C10-C40)	**µg/g**	ND	ND	**0,1**	**0,05**
Bacterias Coliformes Totales	**NMP/gr MS**	0	0	**0**	**0**
Bacterias Coliformes Fecales	**NMP/gr MS**	0	0	**0**	**0**
Escherichia Coli	**NMP/gr MS**	0	0	**0**	**0**
Carbono Orgánico Total	**%**	0,82	0,85	**0,01**	**0,005**
Arsénico Total	**µg/g**	<0,3	<0,3	**0,3**	**0,14**
Cadmio Total	**µg/g**	1,06	1,10	**0,06**	**0,025**
Cinc Total	**µg/g**	28,9	27,2	**0,2**	**0,1**
Cromo Total	**µg/g**	12,2	10,6	**0,2**	**0,07**
Cobre Total	**µg/g**	3,7	3,0	**0,5**	**0,2**
Mercurio Total	**µg/g**	<0,05	<0,05	**0,05**	**0,02**
Níquel Total	**µg/g**	6,8	5,2	**0,2**	**0,1**
Plomo Total	**µg/g**	<0,2	<0,2	**0,2**	**0,1**

LCM: Límite de Cuantificación del método.
LDM: Límite de Detección del Método.
Notación ND: No detectado, equivale a menor del límite de detección del método.

A continuación, se realiza el análisis sobre la calidad de los sedimentos correspondientes a la zona de descarga del material dragado. En este caso, para poder evaluar y determinar la calidad de los sedimentos, se toma como referencia los límites establecidos por la norma canadiense: Canadian Sediment Quality Guideline for the Protection of Aquatic Life.

Esta norma muestra valores que permiten considerar a los sedimentos como **no contaminados** (Interim Freshwater Sediment Quality Guideline, **ISQG**), y los niveles frente a los cuales se puede esperar la ocurrencia de efectos adversos sobre el ambiente (Probable Effect Level, **PEL**). Debido a que en las muestras analizadas únicamente se detectaron concentraciones de contaminantes correspondientes a metales pesados, se toman como referencia los niveles guía ISQG y PEL establecidos para la caracterización de los sedimentos en la zona de descarga.

Cabe mencionar que la Resolución 263/19 del Ministerio de Ambiente de la Prov. de Buenos Aires, es una normativa aplicable para la disposición de materiales extraídos de dragados únicamente.

Tabla 19. Niveles guía norma canadiense. Fuente: Canadian Sediment Quality Guideline for the Protection of Aquatic Life (CEQG).

Parámetros	Unidad	Canadá	
		ISQG	PEL
Arsénico	mg/kg	7,24	41,6
Cadmio	mg/kg	0,7	4,2
Cobre	mg/kg	18,7	108
Cromo total	mg/kg	52,3	160
Mercurio	mg/kg	0,13	0,7
Níquel	mg/kg	15,9	42,8
Plomo	mg/kg	30,2	112
Cinc	mg/kg	124	271

De acuerdo a los resultados extraídos del informe del Instituto de Desarrollo Costero (2023), las concentraciones de Nitrato, Arsénico, Mercurio y Plomo se encuentran por debajo del límite de cuantificación de la técnica de laboratorio empleada, para todas las muestras analizadas. En el caso de los parámetros PCBs, Hidrocarburos Totales de Petróleo, Hidrocarburos (C10-C40) e Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares, incluso se encontraron por debajo del límite de detección de la técnica de laboratorio empleada en todas las muestras de sedimento analizadas (Instituto de Desarrollo Costero, 2023).

En cuanto a parámetros bacteriológicos, Bacterias Coliformes Totales, Bacterias Coliformes Fecales y Escherichia Coli no se detectaron concentraciones en las muestras analizadas.

Analizando los metales pesados, como se puede observar de la normativa canadiense considerada, todos los parámetros evaluados, es decir Arsénico, Cobre, Cromo, Mercurio, Níquel, Plomo y Cinc, presentaron niveles de concentración inferiores al ISQG, a excepción del Cadmio, el cual igualmente se mantiene en valores menores a los niveles guía PEL en ambas muestras.

En resumen, según los resultados extraídos del informe del Instituto de Desarrollo Costero, (2023) durante la campaña de monitoreo en zona de descarga, los sedimentos presentan concentraciones, tales que pueden ser clasificados como no contaminados según la normativa Canadiense (CCME), a excepción de Cadmio donde de todas formas se obtuvieron valores menores al nivel guía PEL.

7.2 CARACTERIZACIÓN DE CALIDAD DEL AGUA

7.2.1 Monitoreo de calidad de agua superficial en zona de dragado.

Al igual que en el apartado anterior, la caracterización físico-química de la calidad de agua del puerto de Comodoro Rivadavia (zona de atraque, escollera este, espigón) y sectores próximos al área operativa, se basó en el estudio (Instituto de Desarrollo Costero, 2022), donde se determinaron un total de 22 estaciones de muestreo en el área marina, que fueron establecidas también para la toma de muestras de sedimentos de fondo (Figura 22). Se adjunta como Anexo I de este capítulo el mencionado estudio elaborado por la universidad.

En el Anexo V de este capítulo se adjuntan los protocolos analíticos, donde se detallan los resultados obtenidos por el Laboratorio Ingeniería Laboral y Ambiental S.A (IL&A) encargado de llevar a cabo el análisis de las muestras de agua superficial. El mencionado laboratorio se encuentra debidamente acreditado en el Registro Provincial de Laboratorios de Servicios Analíticos Ambientales de la Provincia del Chubut y además cuenta con certificación ISO 9001:2015, de sus estándares de Gestión de Calidad (se adjunta certificado en Anexo VIII de este capítulo).

La toma de muestra se desarrolló durante tres jornadas de muestreo, entre el 1° y el 9 de septiembre del corriente año. En la Tabla 8, se detalló la ubicación de las Estaciones de muestreo definidas con su correspondiente coordenada geográfica (WGS84).

Las estaciones fueron utilizadas para el registro de parámetros físico-químicos del agua de mar mediante lectura directa, utilizando para tal fin una sonda multiparamétrica Marca YSI Modelo 556 MPS Serie No SI 3428 y disco de Secchi de 30 cm de diámetro (Instituto de Desarrollo Costero, 2022). Los parámetros registrados comprendieron a Salinidad, Temperatura, Conductividad, PH, Oxígeno Disuelto (OD %), sólidos totales disueltos (TSD) (g/l). La penetración de la luz en el agua fue registrada mediante el uso de un disco de Secchi y una soga graduada. En la Tabla 20 se indican los resultados obtenidos (Instituto de Desarrollo Costero, 2022) para estos parámetros. Los sitios de muestreo no superaron los 12 m de profundidad, observándose en la mayoría de ellos profundidades menores o iguales a 6 m. La penetración de la luz fue variable y estuvo asociada a las condiciones climáticas imperantes durante la toma de muestras.

Los valores de temperatura (6,6 – 7,7 °C) fueron acordes a los registrados en agua superficial de ambientes costeros para estas latitudes y para el mes de septiembre (Tabla 20 y Figura 19B). Los valores de conductividad entre 50,2 y 50,5 µS/cm no resultaron consistentes con el resto de los parámetros, por lo que los autores sugirieron que pudo deberse a un error de calibración del equipo.

Los sólidos totales disueltos (TDS) comprenden las sales inorgánicas (principalmente calcio, magnesio, potasio, sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica que se disuelven en el agua. Se considera que los valores son normales. Si bien no están tabulados en la tabla de niveles guía, el agua de mar estándar posee alrededor de 36 g/l de TDS, dependiendo de la región (Instituto de Desarrollo Costero, 2022).

Los valores de Oxígeno Disuelto (OD) en el agua medidos en todas las estaciones de muestreo se encontraron por debajo del nivel guía de Oxígeno Disuelto (> 5 mg/l) establecido en los niveles guía de calidad de agua dulce, salada y salobre para uso recreativo en contacto primario y secundario del Decreto N° 1540/16 de la Provincia del Chubut (Instituto de Desarrollo Costero, 2022). También los valores de pH medidos (7,5 – 8,1) estuvieron dentro del rango normal establecido (5 - 9) en el Decreto mencionado anteriormente (Instituto de Desarrollo Costero, 2022).

Tabla 20. Valores de los parámetros físico-químicos del agua de mar en el puerto de Comodoro Rivadavia y zonas aledañas. Fuente: Instituto de Desarrollo Costero, 2022.

Estación de muestreo	Prof	PLuz	Temp	TSD	% OD	pH	% Sal	Conduct
E1	8,8	6,5	7,5	31,5	11,5	8,1	33,9	35,2
E3	9,1	8,3	7,5	31,4	11,8	8,0	33,9	35,1
E5	5,6	5,7	7,5	31,5	11,1	8,0	34,0	35,3
E20	2,8	2,8	7,6	31,4	12,1	8,0	33,9	35,3
E14	2,6	2,6	7,7	31,4	12,1	8,0	33,9	35,5
E16	5,8	5,8	7,5	31,4	11,8	8,0	33,9	35,2
E9	6,0	6,0	7,5	31,4	12,1	8,0	33,9	35,2
E2	9,4	6,2	7,6	31,4	11,6	7,9	33,9	35,3
E7	7,0	6,9	7,5	31,4	12,0	7,9	33,9	35,2
E6	6,0	5,5	7,6	31,4	11,4	7,9	33,9	35,3
E10	9,8	5,5	7,6	31,4	11,9	8,0	33,4	35,2
E8	11,5	7,5	7,6	31,4	12,0	8,0	34,0	35,3
E4	10,8	6,5	6,6	31,2	12,2	8,0	ND	ND
E11	4,0	1,5	7,1	32,7	9,4	7,8	32,6	50,4
E13	3,6	0,9	7,0	32,8	9,1	7,8	32,6	50,4
E12	3,4	0,7	7,1	32,8	9,1	7,8	32,6	50,4
E15	5,7	2,4	7,1	32,8	9,3	7,8	32,6	50,5
E18	4,9	1,2	7,1	32,8	9,6	7,8	32,6	50,4
E19	6,9	1,2	7,2	32,8	9,8	7,8	32,6	50,4
E17	7,4	2,8	7,2	32,7	9,6	7,5	32,6	50,4
E21	5,1	3,1	7,2	32,6	9,2	7,9	32,5	50,2
E22	5,8	2,8	7,2	32,7	8,5	7,8	32,5	50,3

Referencias: Prof: Profundidad (m), PLuz: Profundidad de Penetración de la Luz (m), Temp: Temperatura (°C), TSD: Sólidos Totales Disueltos (g/l), %OD: Porcentaje Oxígeno Disuelto, %Sal: Porcentaje Salinidad, Conduct: Conductividad (µS/cm). ND: No Detectado por ser menor al límite de detección del método.

Del total de 22 estaciones de muestreo detalladas en el apartado anterior, se seleccionaron 8 estaciones representativas para caracterizar con mayor detalle la calidad de agua mar superficial en el área de estudio. En este sentido, se tomaron las muestras de las estaciones E1, E3, E5, E9, E14, E16, E20 y E21 para la determinación de parámetros físico-químicos y bacteriológicos complementarios, del agua de mar superficial (Figura 26) (Instituto de Desarrollo Costero, 2022).

Particularmente, en este caso, las muestras E1, E3, y E9 corresponden al **Área Operativa de Dragado.**

Figura 26. Estaciones de muestreo utilizadas para la determinación de parámetros físico-químicos y bacteriológicos complementarios del agua de mar superficial. Fuente: Instituto de Desarrollo Costero, 2022.

La toma de muestras se llevó a cabo utilizando para tal fin un bote semirrígido para el traslado a cada una de las estaciones de muestreo. La recolección del agua superficial la realizaron biólogos integrantes del staff del equipo de investigación del Instituto de Desarrollo Costero Dr. Héctor Zaixso con vasta experiencia en la toma de muestras en ambientes marinos costeros. Las muestras se recolectaron desde una de las bandas de la embarcación, lo más cercano a la proa de la embarcación y mientras la misma se desplazaba lentamente hacia adelante (para evitar la contaminación de la muestra con lubricantes, combustibles o gases de combustión que pudieren emitir los motores de la embarcación (Instituto de Desarrollo Costero, 2022). Las muestras se conservaron en envases plásticos y de vidrio (Instituto de Desarrollo Costero, 2022).

Todos los recipientes fueron debidamente rotulados y conservados en heladera hasta el momento de la derivación donde fueron enviadas, junto a sus correspondientes cadenas de custodia, al Laboratorio IL&A S.A. -Sucursal Sur- INGENIERÍA LABORAL y AMBIENTAL S.A.

Las cadenas de custodias de las muestras fueron elaboradas in situ, en formularios por triplicado y durante el procedimiento de recolección de las mismas. Los formularios de cadena de custodia incluyeron información sobre la fecha y hora de muestreo, estado del tiempo e información inherente a la recolección de muestras.

Los parámetros medidos fueron:

- ✓ Temperatura (°C)
- ✓ Profundidad de Penetración de la Luz (PLuz, m)
- ✓ Salinidad (%)
- ✓ Conductividad (µS/cm)
- ✓ Oxígeno Disuelto (% OD)
- ✓ pH
- ✓ Sólidos Totales Disueltos (TSD, mg/l)
- ✓ Alcalinidad de Bicarbonatos (mg/l)
- ✓ Alcalinidad de Carbonatos (mg/l)
- ✓ Cloruros (mg/l)
- ✓ Fosfatos (mg/l)
- ✓ Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5, mg/l))
- ✓ Demanda Química de Oxígeno (DQO, mg/l)
- ✓ Nitrato (NO_3^-, mg/l)
- ✓ Nitrito (NO_2^-, mg/l)
- ✓ Sulfatos (mg/l)
- ✓ Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH, mg/l)
- ✓ Carbono Orgánico Total (COT, mg/l)
- ✓ Bacteriología (NMP/100 ml, es decir número más probable por 100 ml): Bacterias Coliformes Totales, Bacterias Coliformes Fecales y *Escherichia coli*
- ✓ Metales Pesados (mg/l): Arsénico Total, Cadmio Total, Cinc Total, Cromo Total, Cobre Total, Mercurio Total, Níquel Total y Plomo Total

Para el análisis de los resultados se toma como normativa de referencia, a nivel provincial, la Ley XI N° 35, Código ambiental de la Provincia del Chubut y su Decreto Reglamentario N° 1540/16; en su Anexo I - Tabla 3 se indican los "*Niveles guía de calidad de agua salada superficial para protección de la vida acuática".* A nivel nacional existe un marco regulatorio vigente para los residuos peligrosos desde 1991, sancionada por la Ley 24.051 de Residuos Peligrosos y su Decreto Reglamentario 831/93. Ha sido considerado en el presente estudio para establecer como valores de referencia, los niveles de calidad que debe presentar el agua frente a las actividades de dragado, la "*Tabla 3 - Niveles guía de calidad de agua para protección de vida acuática. Agua salada superficia*l".

En la Tabla 21 se indican los resultados obtenidos tanto en las muestras ubicadas en el Área Operativa de Dragado (E1, E3 y E9) como en sus inmediaciones.

Tabla 21. Comparación resultados de calidad de agua superficial en la zona de dragado. Fuente: elaboración propia a partir de Instituto de Desarrollo Costero, 2022.

Parámetro	Unidad	Área Operativa de Dragado			Inmediaciones del área de dragado					Decreto Nacional N°831/93	Decreto provincial 1540/16 de la Provincia del Chubut
		E1	E3	E9	E5	E14	E16	E20	E21	TABLA 3. Niveles Guía de Calidad e Agua para Protección de Vida Acuática. Aguas Saladas Superficiales	TABLA 3. Niveles guía de calidad de agua salada superficial para protección de la vida acuática
Alcalinidad de Bicarbonatos	mg/l	111,0	110,0	111,0	108,0	108	109	110	109	NE	NE
Alcalinidad de Carbonatos	mg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	NE	NE
Cloruro	mg/l	21302,3	21470,9	21557,1	22458,9	21160,1	21850,5	20896,2	21229,3	NE	NE
Fosfato	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	NE	NE
Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO5)	mg/l	3	<1	6	<1	5	<1	1	<1	NE	NE
Demanda Química de Oxigeno (DQO)	mg/l	10	<1	20	<1	16	<1	3	<1	NE	NE
Nitrato	mg/l	6,00	6,10	6,20	6,50	5,89	6,15	6,89	5,9	NE	200
Nitrito	mg/l	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	1	1
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	46774	46340	45115	48600	44695	46967	50220	44975	NE	NE
Sulfato	mg/l	2160,9	2188,3	2225,4	2285,4	2159,2	2266,3	3762,1	2187,3	NE	NE
Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH)	mg/l	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NE	NE
Carbono Orgánico Total	mg/l	0,70	<0,05	1,40	<0,05	1,1	<0,05	0,21	<0,05	NE	NE
Bacterias Coliformes Totales	NMP/100 ml	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	21	NE	NE
Bacterias Coliformes Fecales	NMP/100 ml	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	15	NE	NE
Escherichia Coli	NMP/100 ml	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	15	NE	NE
Arsénico Total	mg/l	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0005	0,0005
Cadmio Total	mg/l	0,0307	0,0132	0,0039	0,0078	0,0073	0,0051	0,0037	0,0033	0,005	0,00012
Cinc Total	mg/l	0,024	0,022	0,023	0,019	0,017	0,026	0,021	0,027	0,0002	0,0086
Cromo Total	mg/l	0,065	0,087	0,073	0,085	0,082	0,07	0,083	0,061	NE	NE
Cobre Total	mg/l	<0,005	0,008	<0,005	0,008	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,004	0,00095
Mercurio Total	mg/l	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,0001	0,0001
Níquel Total	mg/l	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,0071	0,0173
Plomo Total	mg/l	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	0,0010	0,0195

ND: No detectado, equivale a menor del límite de detección del método.

En general, los resultados obtenidos exhibieron valores normales para ambientes marinos costeros de climas templados. En particular los valores se contrastaron con los niveles guía de la calidad de agua salada superficial para la protección de la vida acuática (Decreto N° 831/93) y con los niveles guía de calidad de agua salada del Decreto 1540/16 de la Provincia del Chubut. (Instituto de Desarrollo Costero, 2022).

En cuanto a Alcalinidad de Bicarbonatos, Cloruros y Carbono Orgánico Total, si bien no están establecidos los niveles guía en la normativa utilizada como referencia, los valores obtenidos se consideran normales para ambientes marinos costeros de climas templados (Instituto de Desarrollo Costero, 2022). En la Figura 27 se representa la variación espacial de la Alcalinidad de Bicarbonatos (mg/l), observándose una mayor concentración en la zona portuaria y Área Operativa de Dragado (E1, E3 y E9), aunque las diferencias entre estaciones no fueron notorias (Instituto de Desarrollo Costero, 2022).

La concentración de Cloruros (mg/l) no mostró un patrón claro de distribución espacial (Figura 28A), aunque se registró algún tipo de correlación espacial con los valores de Nitratos (Figura 28B) y Sulfatos (Figura 28C) (Instituto de Desarrollo Costero, 2022).

Los valores de Nitratos y Nitritos en las estaciones de muestreo ubicadas en el Área Operativa de Dragado (E1, E3 y E9), estuvieron por debajo de los niveles guía de la calidad de agua salada superficial para protección de la vida acuática del Decreto Provincial N°1540/16 de la Provincia del Chubut (Nitratos: 200 mg/l y Nitritos 1 mg/l) (Instituto de Desarrollo Costero, 2022), y por debajo de los niveles guía de la normativa nacional tomada como referencia. Misma situación puede identificarse en el resto de las muestras analizadas en las inmediaciones del área de dragado.

Los Sólidos Disueltos Totales (SDT) y el Carbono Orgánico Total (COT) mostraron mayores concentraciones en la zona portuaria y Área Operativa de Dragado (Figura 29 A y B) (Instituto de Desarrollo Costero, 2022), aunque no se establecen niveles guía en la normativa utilizada como referencia.

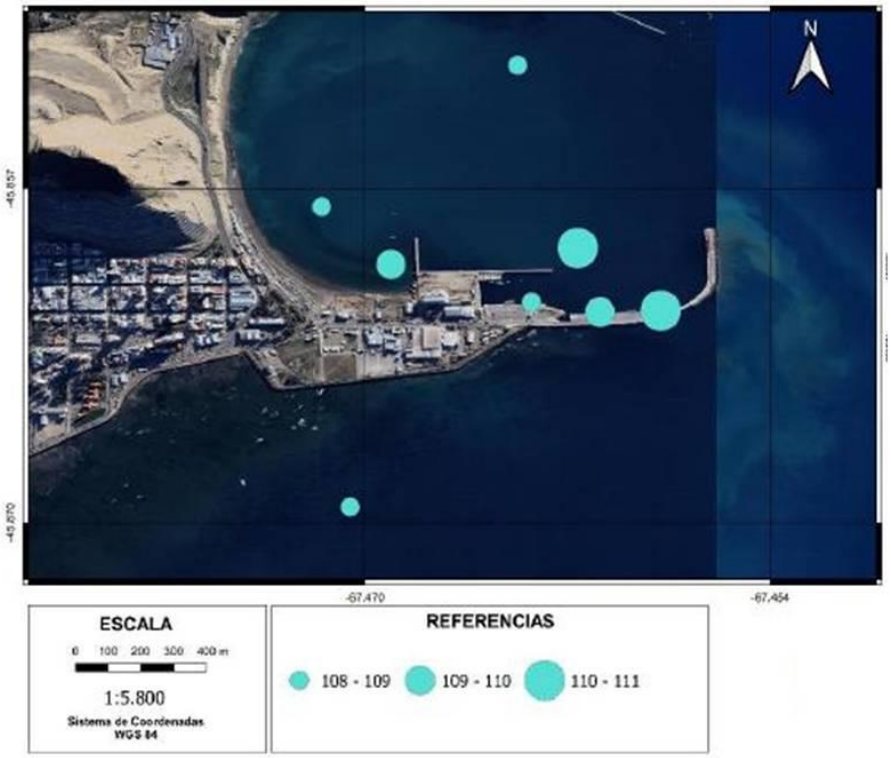


Figura 27. Variación espacial de la concentración de Bicarbonatos (mg/l) en agua de mar del puerto de Comodoro Rivadavia y zonas aledañas. Fuente: modificado de Instituto de Desarrollo Costero, 2022.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) determina la cantidad de Oxígeno Disuelto (OD) consumida por los microorganismos para descomponer, en condiciones aeróbicas, la materia orgánica presente en una muestra durante un período de tiempo y temperatura específicos (Instituto de Desarrollo Costero, 2022). Cuanto mayor es la DBO en un cuerpo de agua, menor es el oxígeno disponible para las formas de vida acuática y además es un indicador de la carga orgánica liberada. La DBO en las estaciones analizadas varió entre <1 y 6 mg O_2/l. Si bien no están establecidos los niveles guía para este parámetro en el Decreto N° 1540/16 de la Provincia del Chubut ni en la normativa nacional utilizada como referencia, los valores obtenidos fueron bajos (<30 mg O_2/l) e indican que el área no se ve afectada significativamente por fuentes de contaminación orgánica (descargas de efluentes cloacales) (Instituto de Desarrollo Costero, 2022). En la Figura 30A se observa la distribución espacial de los valores de DBO destacándose que los mayores valores se encuentran asociados a la zona portuaria y la playa costanera.

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) determina la cantidad de oxígeno disuelto requerida para oxidar la materia orgánica en una muestra por medio de un agente químico (Instituto de Desarrollo Costero, 2022). Permite de esta manera medir residuos industriales en el agua. Los valores de DQO variaron entre <1 mg O_2/l y 20 mg O_2/l. Estos valores son bajos y concuerdan con aguas muy poco contaminadas (<20 mg O_2/l) aunque no existan niveles guía en la normativa de referencia (Instituto de Desarrollo Costero, 2022). En la Figura 30B se aprecia la distribución espacial de las concentraciones de DQO en el área de estudio, observándose que las muestras de las zonas más expuestas en el área de puerto y las áreas cercanas a la playa costanera exhiben los valores más altos.

Por su parte, los parámetros Bacterias Coliformes Totales, Bacterias Coliformes Fecales, Escherichia Coli también se encuentran por debajo del límite de cuantificación de la técnica de laboratorio empleada, en todas las muestras de agua analizadas, a excepción de la estación E21, donde fue posible cuantificarlos (Figura 31 A-C). Sin embargo, si se utilizan los niveles guías para los parámetros mencionados, establecidos en la *Tabla 5. Niveles guía de calidad de agua dulce salada y salobre para uso recreativo en contacto primario y secundario* del Decreto Provincial N°1540/16 de la Provincia del Chubut, los valores medidos se consideran muy bajos (Instituto de Desarrollo Costero, 2022). La *Tabla 3. Niveles guía de calidad de agua salada superficial para protección de la vida acuática* del Decreto Provincial N° 1540/16, y normativa nacional tomada como referencia en este estudio, no establecen niveles guía para estos parámetros.

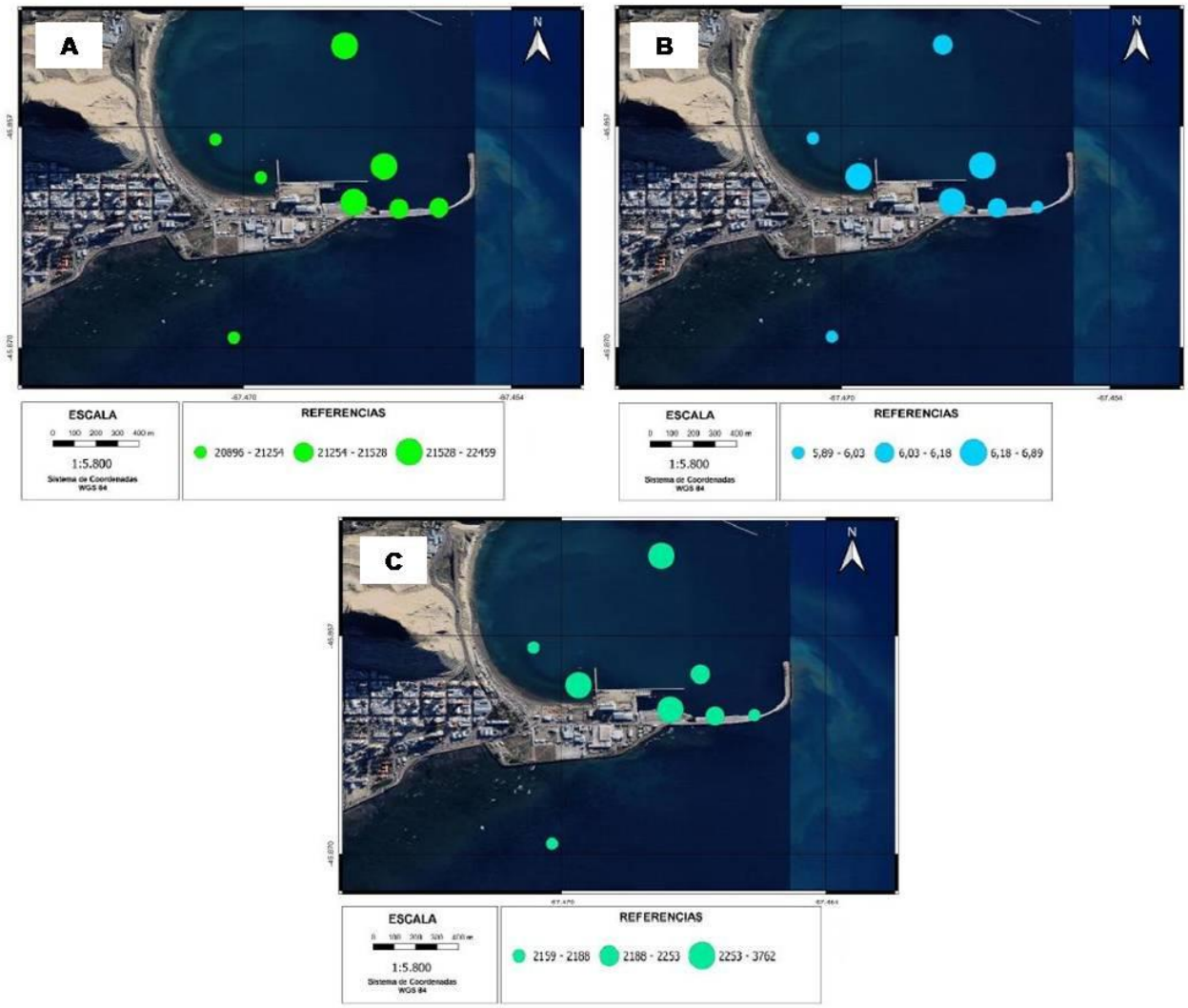


Figura 28. Variación espacial de la concentración (mg/l) de Cloruros (A), Nitratos (B) y Sulfatos (C) en agua de mar del puerto de Comodoro Rivadavia y zonas aledañas. Fuente: modificado de Instituto de Desarrollo Costero, 2022.

Figura 29. Variación espacial de la concentración (mg/l) de Sólidos Disueltos Totales (SDT) (A) y Carbono Orgánico Total (COT) (B) en agua de mar del puerto de Comodoro Rivadavia y zonas aledañas. Fuente: modificado de Instituto de Desarrollo Costero, 2022.

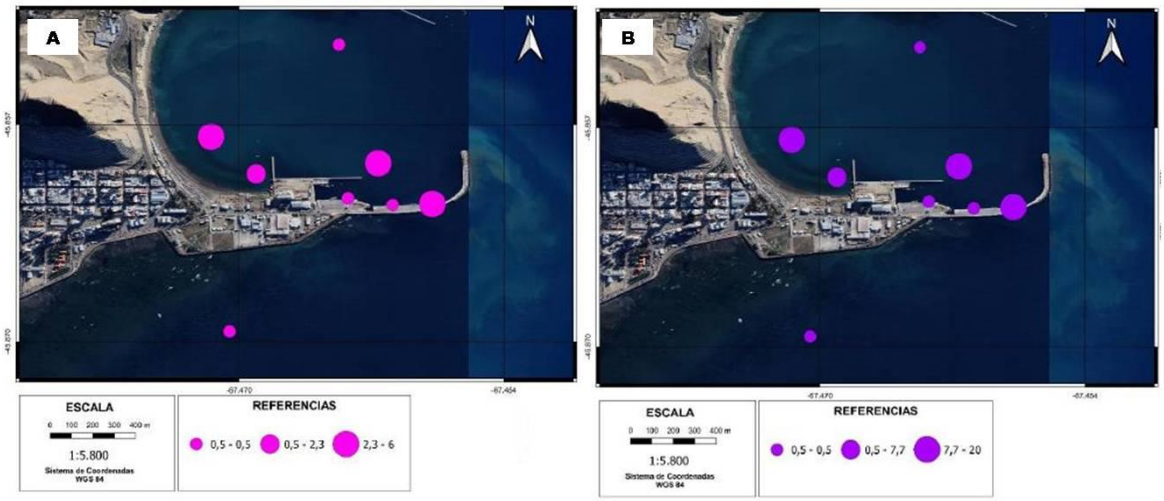


Figura 30. Variación espacial de la concentración (mg/l) de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) (A) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) (B) en agua de mar del puerto de Comodoro Rivadavia y zonas aledañas. Fuente: modificado de Instituto de Desarrollo Costero, 2022.

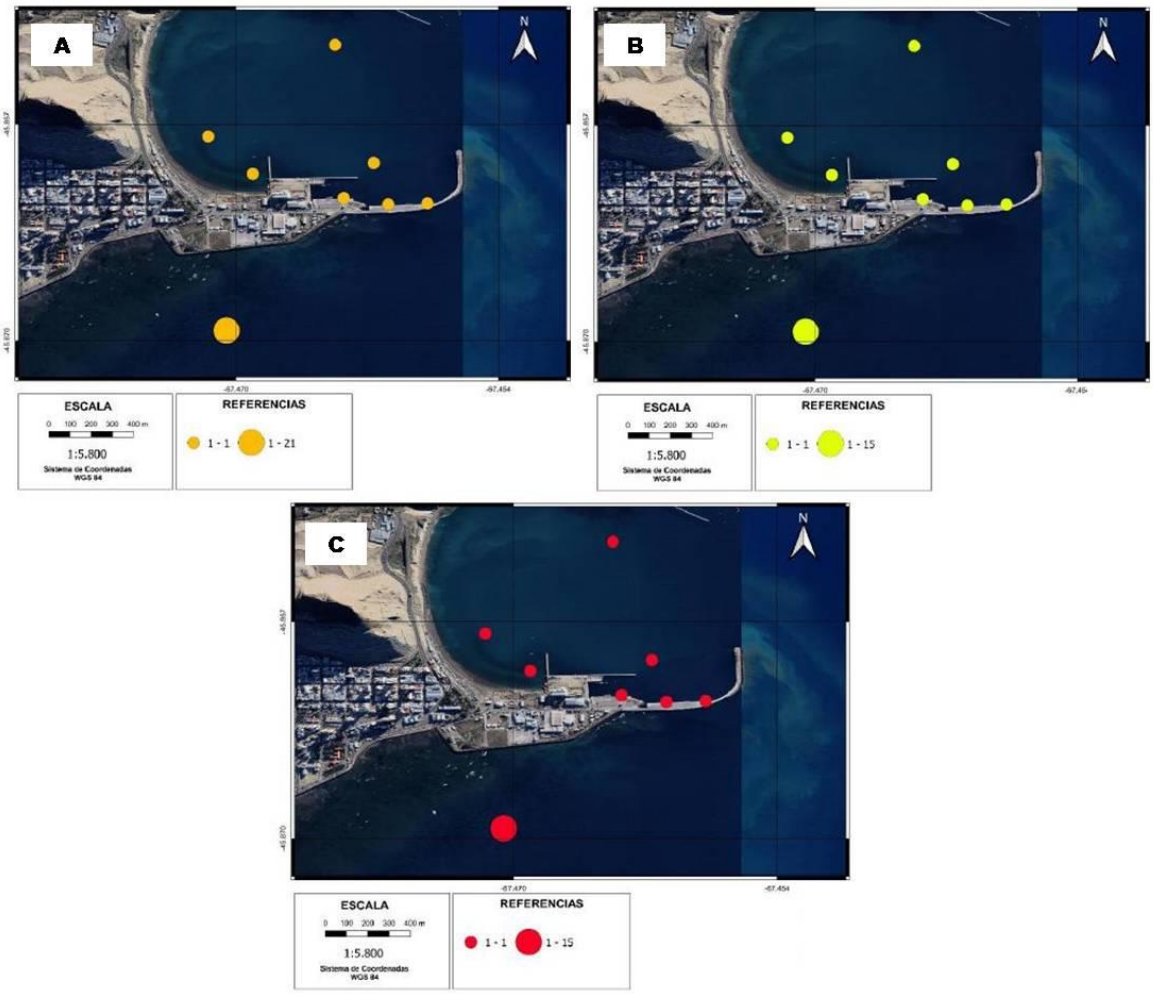


Figura 31. Variación espacial de la concentración (NMP/100 ml) de Bacterias Coliformes Totales (A), Bacterias Coliformes Fecales (B) y *Escherichia coli* (C) en agua de mar del puerto de Comodoro Rivadavia y zonas aledañas. Fuente: modificado de Instituto de Desarrollo Costero, 2022.

Tal como se observa en la Tabla 21, las concentraciones de Alcalinidad de Carbonatos, Fosfato, Nitrito, Arsénico Total, Mercurio Total, Níquel Total y Plomo Total, se encuentran por debajo del límite de cuantificación de la técnica de laboratorio empleada, en todas las muestras de agua analizadas. Las determinaciones de Mercurio Total e Hidrocarburos Totales de Petróleo fueron valores No Detectables (ND) en todas las muestras (Instituto de Desarrollo Costero, 2022).

El Cadmio Total, el Zinc Total y el Cromo Total, presentaron variaciones entre 0,0033 - 0,0307 mg/l; 0,017 - 0,027 mg/l y de 0,061 - 0,087 mg/l, respectivamente. En términos generales se puede observar una mayor concentración de estos metales en las zonas operativas del puerto (Figura 32 A-D).

En términos generales se puede observar una mayor concentración de estos metales en las zonas operativas del puerto (Figura 32 A-D) (Instituto de Desarrollo Costero, 2022).

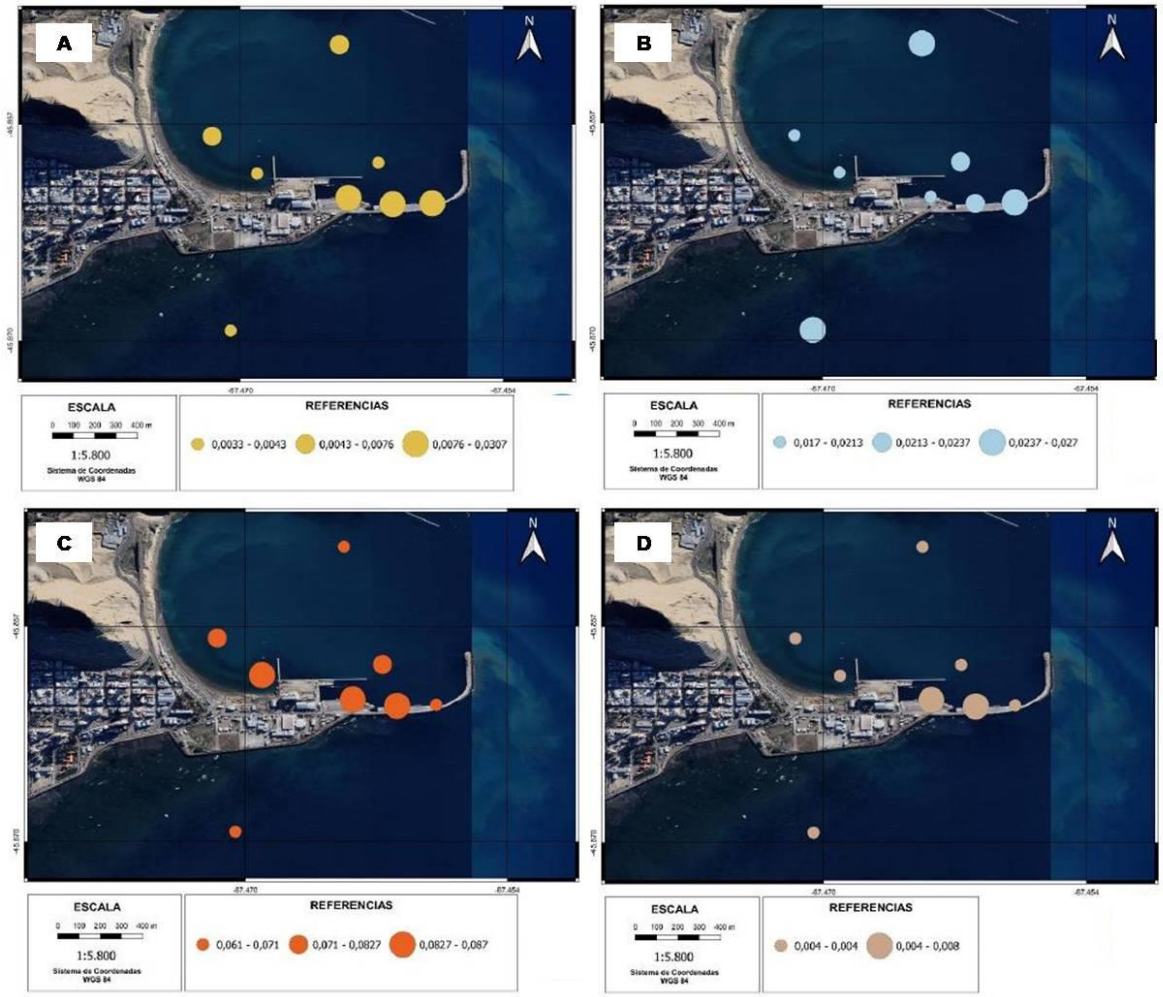


Figura 32. Variación espacial de la concentración (mg/l) de Metales Pesados: Cadmio Total (A), Zinc Total (B), Cromo Total (C) y Cobre Total (D) en agua de mar del puerto de Comodoro Rivadavia y zonas aledañas. Fuente: modificado de Instituto de Desarrollo Costero, 2022.

7.2.2 Resultados calidad de agua superficial en zona de descarga de sedimentos.

A los efectos de proceder con la caracterización físico-química de la calidad de agua superficial de la potencial zona de descarga y destino final del material que será dragado en el Puerto de Comodoro Rivadavia, se extrajo información del trabajo realizado en 2023 por el equipo de investigadores y personal de apoyo del Instituto de Desarrollo Costero Dr. Héctor Zaixso de la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, (UNPSJB) (Instituto de Desarrollo Costero, 2023)[6], a solicitud de la Administración Portuaria del Puerto de Comodoro Rivadavia. El estudio tuvo el objetivo de complementar la línea de base ambiental realizada en 2022 en el Puerto de Comodoro Rivadavia y zonas de influencia en el trabajo (Instituto de Desarrollo Costero, 2022).

[6] Instituto de Desarrollo Costero (2023). Caracterización ambiental del bentos, columna de agua y sedimentos del sitio de descarga del material de dragado del Puerto de Comodoro Rivadavia. Mayo, 2023

En el Anexo VI de este capítulo se adjuntan los protocolos analíticos, donde se detallan los resultados obtenidos por el Laboratorio Ingeniería Laboral y Ambiental S.A (IL&A) encargado de llevar a cabo el análisis de las muestras de agua superficial en la zona de descarga. El mencionado laboratorio se encuentra debidamente acreditado en el Registro Provincial de Laboratorios de Servicios Analíticos Ambientales de la Provincia del Chubut y además cuenta con certificación ISO 9001:2015, de sus estándares de Gestión de Calidad (se adjunta certificado en Anexo VIII de este capítulo).

La caracterización físico-química de la calidad de agua se determinaron estaciones de muestreo en el área marina, que fueron las mismas que se establecieron para la toma de muestras de sedimentos de fondo. De las 5 estaciones de muestreo determinadas dentro de los límites del polígono, se colectó un total de **2 muestras en las estaciones ZD1 y ZD2** para la caracterización físico-química de agua (Instituto de Desarrollo Costero, 2023) (Figura 25).

Los parámetros medidos fueron:

- ✓ Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)
- ✓ Alcalinidad de Bicarbonatos (mg/l)
- ✓ Alcalinidad de Carbonatos (mg/l)
- ✓ Cloruros (mg/l)
- ✓ Fosfatos (mg/l)
- ✓ Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5, mg/l))
- ✓ Demanda Química de Oxígeno (DQO, mg/l)
- ✓ Nitrato (NO_3^- , mg/l)
- ✓ Nitrito (NO_2^- , mg/l)
- ✓ Sulfatos (mg/l)
- ✓ Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH, mg/l)
- ✓ Carbono Orgánico Total (COT, mg/l)
- ✓ Turbiedad
- ✓ Bacteriología (NMP/100 ml, es decir número más probable por 100 ml): Bacterias Coliformes Totales, Bacterias Coliformes Fecales y *Escherichia coli*
- ✓ Metales Pesados (mg/l): Arsénico Total, Cadmio Total, Cinc Total, Cromo Total, Cobre Total, Mercurio Total, Níquel Total y Plomo Total

Para el análisis de los resultados se toma como normativa de referencia, a nivel provincial, la Ley XI N° 35, Código ambiental de la Provincia del Chubut y su Decreto Reglamentario N° 1540/16; en su Anexo I - Tabla 3 se indican los "*Niveles guía de calidad de agua salada superficial para protección de la vida acuática".* A nivel nacional existe un marco regulatorio vigente para los residuos peligrosos desde 1991, sancionada por la Ley 24.051 de Residuos Peligrosos y su Decreto Reglamentario 831/93. Ha sido considerado en el presente estudio para establecer como valores de referencia, los niveles de calidad que debe presentar el agua frente a las actividades de dragado, la "*Tabla 3 - Niveles guía de calidad de agua para protección de vida acuática. Agua salada superficia*l".

En la Tabla 22 se indican los resultados obtenidos.

Tabla 22. Comparación resultados de calidad de agua superficial en la zona de descarga. Fuente: elaboración propia a partir de Instituto de Desarrollo Costero, 2023.

Parámetro	Unidad	Muestra		Decreto Nacional N°831/93	Decreto provincial 1540/16 de la Provincia del Chubut
		ZD1	ZD2	TABLA 3. Niveles Guía de Calidad e Agua para Protección de Vida Acuática. Aguas Saladas Superficiales	TABLA 3. Niveles guía de calidad de agua salada superficial para protección de la vida acuática
Alcalinidad de Bicarbonatos	mg/l	137,5	141,3	NE	NE
Alcalinidad de Carbonatos	mg/l	<0,5	<0,5	NE	NE
Cloruro	mg/l	22698,4	22576,6	NE	NE
Fosfato	mg/l	<0,03	<0,03	NE	NE
Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO5)	mg/l	3	<1	NE	NE
Demanda Química de Oxigeno (DQO)	mg/l	9	4	NE	NE
Nitrato	mg/l	<0,1	<0,1	NE	200
Nitrito	mg/l	<0,05	<0,05	1	1
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	<1	<1	NE	NE
Sulfato	mg/l	2676,1	4,6	NE	NE
Turbiedad	U.N.T.	<0,02	<0,02	NE	NE
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/l	<0,1	<0,1	NE	NE
Carbono Orgánico Total	mg/l	0,92	<0,05	NE	NE
Bacterias Coliformes Totales	NMP/100 ml	<2	<2	NE	NE
Bacterias Coliformes Fecales	NMP/100 ml	<2	<2	NE	NE
Escherichia Coli	NMP/100 ml	Ausencia	Ausencia	NE	NE
Arsénico Total	mg/l	<0,001	<0,001	0,0005	0,0005
Cadmio Total	mg/l	0,0575	0,0282	0,005	0,00012
Cinc Total	mg/l	0,073	0,066	0,0002	0,0086
Cromo Total	mg/l	0,023	0,010	NE	NE
Cobre Total	mg/l	0,020	0,015	0,004	0,00095
Mercurio Total	mg/l	ND	ND	0,0001	0,0001
Níquel Total	mg/l	<0,005	<0,005	0,0071	0,0173
Plomo Total	mg/l	<0,025	<0,025	0,0010	0,0195

ND: No detectado, equivale a menor del límite de detección del método.

En general, los resultados obtenidos exhibieron valores normales para ambientes marinos costeros de climas templados. En particular los valores se contrastaron con los niveles guía de la calidad de agua salada superficial para la protección de la vida acuática (Decreto N° 831/93) y con los niveles guía de calidad de agua salada del Decreto 1540/16 de la Provincia del Chubut.

En cuanto a Alcalinidad de Bicarbonatos, Cloruros y Carbono Orgánico Total, si bien no están establecidos los niveles guía en la normativa utilizada como referencia, los valores obtenidos se consideran normales para ambientes marinos costeros de climas templados. Los valores de Nitratos y Nitritos estuvieron por debajo del límite de cuantificación de la técnica de laboratorio, por lo cual se encuentran abajo de los niveles guía de la calidad de agua salada superficial para protección de la vida acuática del Decreto Provincial N°1540/16 de la Provincia del Chubut (Nitratos: 200 mg/l y Nitritos 1 mg/l) (Instituto de Desarrollo Costero, 2023), y por debajo de los niveles guía de la normativa nacional tomada como referencia.

Si bien no se establecen niveles guía en la normativa utilizada como referencia, las concentraciones de Sólidos Suspendidos Totales e Hidrocarburos Totales de Petróleo se encuentran por debajo del límite de cuantificación de la técnica de laboratorio empleada en las dos muestras de agua analizadas. Los valores de Carbono Orgánico Total también se encontraron por debajo del límite de cuantificación de la técnica de laboratorio empleada en la muestra de agua ZD2, mientras que en ZD1 presenta valores bajos.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en la estación ZD1 analizada se obtuvo un valor de 9 3 mg O_2/l mientras que en la estación ZD2 se encontró por debajo del límite de cuantificación de la técnica de laboratorio empleada. Por su parte, para el parámetro Demanda Química de Oxígeno (DQO) se obtuvo una concentración de 9 y 4 mg O_2/l en las estaciones ZD1 y ZD2 respectivamente. Si bien no están establecidos los niveles guía para DBO y DQO en el Decreto N° 1540/16 de la Provincia del Chubut ni en la normativa nacional utilizada como referencia, los valores obtenidos fueron bajos (<30 mg O_2/l para DBO y <20 mg O_2/l para DQO) e indican que el área no se ve afectada significativamente por fuentes de contaminación orgánica (Instituto de Desarrollo Costero, 2022).

La *Tabla 3. Niveles guía de calidad de agua salada superficial para protección de la vida acuática* del Decreto Provincial N° 1540/16, y normativa nacional tomada como referencia en este estudio, no establecen niveles guía para los parámetros Bacterias Coliformes Totales, Bacterias Coliformes Fecales y Escherichia Coli. Sin perjuicio de ello, los resultados obtenidos de Bacterias Coliformes Totales y Bacterias Coliformes Fecales se encontraron por debajo del límite de cuantificación de la técnica de laboratorio empleada, en todas las muestras de agua analizadas en la zona de descarga; la Escherichia Coli además presenta AUSENCIA en las dos muestras de agua analizadas.

Tal como se observa en Tabla 22, las concentraciones de Alcalinidad de Carbonatos, Turbiedad, Fosfato, Arsénico Total, Níquel Total y Plomo Total, se encuentran por debajo del límite de cuantificación de la técnica de laboratorio empleada, en todas las muestras de agua analizadas. Las determinaciones de Mercurio Total fueron valores No Detectables (ND) en todas las muestras.

El Cadmio Total, Zinc Total, Cobre Total y el Cromo Total, presentaron variaciones entre 0,0282-0,0575 mg/l; 0,066 - 0,073 mg/l; 0,015 - 0,020 mg/l; y de 0,010 - 0,023 mg/l, respectivamente.

8 CONCLUSIONES GENERALES

El Golfo San Jorge es una cuenca semicircular de 40.000 km^2 comprendido entre el Cabo Dos Bahías al norte (44° 55' S y 60° 32' O) en la Provincia del Chubut y el Cabo Tres Puntas al sur (47° 06' S y 65° 52' O) en la Provincia de Santa Cruz. Los meses más lluviosos son marzo y abril (52 y 42 mm promedio, respectivamente). El período de sequía se da entre octubre y febrero (6-16 mm). Los vientos predominantes son del Oeste (25%) y del ONO (22%) con una velocidad media anual de 20 km/h. Los vientos más intensos ocurren en verano (24,5 km/h) y los de menor intensidad (16,5 km/h) en otoño. Las tormentas eléctricas, niebla, nieve y granizo son poco frecuentes y de corta duración.

Pertenece a la provincia geológica Meseta Patagónica Norte. Las áreas próximas a los cabos están formadas por rocas volcánicas (basaltos) más resistentes a la erosión, mientras que las costas interiores son producto de procesos erosivos y de sedimentación ricos en fósiles marinos. Las capas estratigráficas superiores (más modernas) corresponden a los Rodados Patagónicos del Plioceno superior y Pleistoceno constituidos por gravas y un suelo con limos loessoides, bancos de rodados con entoscamiento y limo arenoso. Sobre ellos existen depósitos de rodados del Pleistoceno-Holoceno y la capa superior formada por sedimentos fluviales, eólicos, marinos y de remoción en masa del Cuaternario. El Área de Estudio se ubica en una zona con muy reducida peligrosidad sísmica con aceleración máxima del terreno de 0,04g.

Las costas están sometidas a la erosión debida al oleaje, al balance del transporte de sedimentos ocasionado por la deriva litoral y al ascenso del nivel del mar. Hay playas compuestas casi exclusivamente por grava (Bahía Solano), otras están compuestas exclusivamente por arena (El Límite, Alsina, La Herradura, Rada Tilly) y otras por arena y grava (Caleta Córdova, La Lobería, Mazarredo). Las playas de grava y arena no exceden los 60 m en su sector intermareal y sus pendientes superan el 10%. Las playas de arena fina tienen anchos de más de 300 m y pendientes intermareales entre 1 y 2%. La costa norte del golfo se caracteriza por sus numerosos accidentes geográficos, tales como: caletas, bahías, islas e islotes. Mientras que la costa centro y sur alterna elevados acantilados y playas principalmente de canto rodado, aunque también es posible hallar amplias playas de arena. Se destacan las restingas conformadas por arcillas consolidadas.

En la costa de Comodoro Rivadavia hay acantilados activos, playas de alta y baja pendiente con granulometría gruesa y fina, respectivamente. Los acantilados activos de mayor resistencia están constituidos por las sedimentitas de la Fm. Sarmiento (ej. Punta Novales, Punta Pando, Cabo San Jorge, saliente entre Restinga Alí y Km 8 y todo el sector de la Cementera Petroquímica). Los acantilados activos de resistencia intermedia están formados por las sedimentitas de la Fm. Chenque, desde Punta Alta hasta Punta Piedras. Los acantilados activos de menor resistencia están constituidos por material inconsolidado reciente (ej. Caleta Olivares, La Compresora en Restinga Alí y el sector entre Km 5 - Km 3 (Barrio Usina hasta Punta Alta). La presencia de playas con alta pendiente y granulometría gruesa indica que el sector soporta una alta energía de olas. Esto sucede en las playas de Caleta Córdova, sur de Cabo San Jorge (sector de la Compresora), Km 5, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco y playa del Centro (entre Punta Alta y Punta Borja). Las playas de baja pendiente están constituidas por gravas, en su parte frontal y arenas gruesas a finas, en su parte distal. Se encuentran en sectores donde la plataforma de abrasión es muy ancha (ej. Restinga Alí, Km 8, Cementera Petroquímica y Barrio Stella Maris). Esta plataforma de abrasión disipa la energía y permite la acumulación de material de granulometría fina, que proviene de la gran erosión producida en los cabos vecinos. Este tipo de playas representan zonas de menor energía relativa de olas.

La granulometría del sedimento en el sector cercano al puerto Comodoro Rivadavia y zonas adyacentes correspondieron a limos y arenas finas a muy finas (grupos texturales Fangoso, Fango-Arenoso o Areno-Fangoso), por lo que existe un componente significativo de sedimentos de grano fino. Los sedimentos más finos se encontraron asociados al área de atraque del puerto o en el abrigo del puerto, mientras que los sedimentos con granos de mayor diámetro se hallaron en zonas próximas a la playa costanera.

El Golfo San Jorge en su zona marginal tiene profundidades que aumentan rápidamente desde la costa hasta los 90 m, a partir de donde se extiende un fondo plano que cubre casi toda su área central, excepto por depresiones de hasta 120 m con orientación NE. El fondo del golfo presenta numerosos pockmarks (dunas de arena). El rango de profundidades varía entre -1,4 y 128,3 m, siendo los valores negativos topográficamente positivos, correspondientes a áreas del intermareal.

Las olas locales provinieron mayoritariamente del sector SSO – NNO, en concordancia con la dirección predominante del viento local, con alturas entre 0,5 - 3,0 m y períodos pico entre 2 - 8 seg. La máxima altura registrada fue de 6,8 m del sector SSO (212°), con un período pico de 11,7 segundos (máximo período registrado). En la boca del golfo las olas oceánicas provinieron predominantemente de los sectores O-S (41,6%) y NNE-ENE (28,8%). La altura significativa (Hs) de la ola de diseño fue 2,2 m, con un rango de períodos pico probable entre 11 y 14 segundos.

El Golfo San Jorge está sujeto a un régimen de mareas semidiurno, con dos pleamares y dos bajamares al día, con una amplitud media de 4,20 m. Responde a un régimen de macromareas (olas > 4m). El sentido de las corrientes cercanas a la costa es hacia el sur. En zonas más alejadas de la costa, debido a su conexión más abierta con la plataforma, ocurren dos giros opuestos latitudinalmente, en el sector norte hay circulación ciclónica (horaria) y en el sector sur es anticiclónica (antihoraria). Estos patrones de circulación se modifican con vientos del sur, uniéndose en un giro con circulación horaria. Las predicciones para el 2023 son de 6,13 m de altura máxima de marea en pleamar; 0,07 m de altura mínima en bajamar y 5,9 m de amplitud máxima de marea.

Respecto a la caracterización físico-química y bacteriológica de los sedimentos en la zona del Puerto y al área donde se realizará el dragado, que los resultados obtenidos fueron menores en comparación con los valores umbrales de referencia según la Comisión Interministerial de Estrategias Marinas (CIEM, 2021) y el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas de España (CEDEX, 1994) (Instituto de Desarrollo Costero, 2022).

Asimismo, a partir de los resultados extraídos del trabajo (Instituto de Desarrollo Costero, 2022) se realizó un análisis sobre la calidad de los sedimentos de la zona de dragado, tomando como base los límites de referencia enunciados en la Resolución 263/19 del Ministerio de Ambiente de la Prov. de Buenos Aires, dada a la ausencia de normativa para el manejo del material de dragado que sea de aplicación en la jurisdicción provincial y nacional. En virtud de la evaluación llevada a cabo, se concluyó que las 17 muestras de sedimentos pueden ser clasificadas como **CATEGORÍA A**, en todos los parámetros analizados dado que la concentración normalizada de los parámetros es menor al Nivel 1 y del Valor Límite establecidos por la normativa utilizada como referencia, "*Tabla 1 y Tabla 2 - Anexo I de Resolución 263/19".* Por lo tanto, los materiales que pretenden ser dragados en la zona de Antepuerto y pie de Muelle, son ambientalmente adecuados para proceder con la *Disposición Libre* teniendo en cuenta la categorización establecida en el Artículo 20° del Anexo I de la Resolución 263/19.

En lo que respecta a la caracterización físico-química del área de disposición de materiales dragados en aguas del Golfo San Jorge, según los resultados extraídos del estudio (Instituto de Desarrollo Costero, 2023) durante esta campaña los sedimentos presentan concentraciones, tales que pueden ser clasificados como no contaminados según la normativa Canadiense (CCME), a excepción de Cadmio donde de todas formas se obtuvieron valores menores al nivel guía PEL.

En cuanto a los resultados obtenidos de los parámetros para el análisis de la calidad de agua en la zona del Puerto y área de dragado, los valores se contrastaron con los niveles guía de la calidad de agua salada superficial para la protección de la vida acuática (Decreto Nacional N° 831/93) y con los niveles guía de calidad de agua salada superficial para protección de la vida acuática del Decreto N° 1540/16 de la Provincia del Chubut. En el estudio (Instituto de Desarrollo Costero, 2022) además se compara con los niveles guía de calidad de agua salada y salobre para uso recreativo en contacto primario y secundario. De la comparación realizada en los parámetros analizados los valores obtenidos se consideran normales para ambientes costeros de climas templados (Instituto de Desarrollo Costero, 2022).

9 BIBLIOGRAFÍA

Akselman, R. (1996) Estudios ecológicos en el Golfo San Jorge y adyacencias (Atlántico Sudoccidental). Distribución, abundancia y variación estacional del fitoplancton en relación a factores físico-químicos y la dinámica hidrológica. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEyN), Universidad de Buenos Aires (UBA), Argentina, 259 pp.

Baldoni, A. (2010) Clasificación temporal de los datos oceanográficos sobre la Plataforma Continental y Océano Atlántico Sudoccidental. Informe de Investigación. Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero. Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP) N° 25, Argentina, 22 pp.

Baldoni, A., Molinari, G., Reta, R. & Guerrero, R. (2015) Atlas de temperatura y salinidad de la plataforma continental del Atlántico Sudoccidental: períodos cálido y frío. Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP), Mar del Plata, Argentina, 85 pp.

Bianchi, A., Pino, D., Perlender, H., Osiroff, A., Segura, V., Lutz, V., Clara, M., Balestrini, C. & Piola, A. (2009) Annual balance and seasonal variability of sea-air CO2 fluxes in the Patagonia Sea: their relationship with fronts and chlorophyll distribution. Journal of Geophysical Research 114: 1-11.

CEDEX. [Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas] (1994) Recomendaciones para la gestión del material dragado en los puertos españoles. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. España.

Codignotto, J. (1997) Geomorfología y Dinámica Costera. El Mar Argentino y sus Recursos Pesqueros 1: 89-105.

Codignotto, J. (2022) Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Chubut. Geología de Costas. Relatorio XXI Congreso Geológico Argentino, 14 pp.

Codignotto, J., Kokot, R. & Marcomini, S. (1992) Neotectonism and Sea Level Changes in the Coastal Zone of Argentina. Journal Coastal Research 8(1): 125-133.

Codignotto, J., Kokot, R. & Marcomini, S. (1993) Desplazamientos holocenicos verticales y horizontales de la costa argentina en el Holoceno. Asociación Geológica Argentina 48(2): 125-132.

CIEM. [Comisión Interministerial de Estrategias Marinas] (2021) Directrices para la Caracterización del Material Dragado y su Reubicación en Aguas del Dominio Público Marítimo-Terrestre. España.

Dans, S., Cefarelli, A., Galván, D., Góngora, M., Martos, P. & Varisco, M. (2020) Programa de Investigación y Monitoreo del Golfo San Jorge. Fundación de Historia Natural Félix de Azara, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina, 100 pp.

Fernández, M. (2006) Características físico-químicas de los sedimentos del Golfo San Jorge y su relación con los organismos bentónicos del sector. Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina, 307 pp.

Gil, M., Harvey, M., Commendatore, M., Colombo, J. & Esteves, J. (1996) Evaluación de la contaminación por hidrocarburos y metales en la zona costera patagónica. Informe Técnico N° 21. Plan de Manejo Integrado de la Zona Costera Patagónica, Puerto Madryn, Argentina, 49 pp.

Gómez, A., Iantanos, N. y Jones, M. (2003) Dinámica Costera de la Ciudad de Comodoro Rivadavia, Provincia del Chubut. Serie Contribuciones Técnicas – Peligrosidad Geológica 7. Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), Buenos Aires, Argentina, 22 pp.

Iantanos, N. (2012) Retroceso de la línea de costa en la ciudad de Comodoro Rivadavia. Instituto Geográfico Nacional (IGN), Talleres Gráficos del Instituto Geográfico Nacional, Buenos Aires, Argentina, 72 pp.

IGN. [Instituto Geográfico Nacional] (2023) Información Geoespacial. Hidrografía y Oceanografía. Accidente Costero. Disponible en: https://mapa.ign.gob.ar (Recuperado 8 Mayo 2023)

INPRES. [Instituto Nacional de Prevención Sísmica] (2023) Zonificación Sísmica Argentina. Disponible en: http://www.inpres.gov.ar (Recuperado 5 Abril 2023)

Instituto de Desarrollo Costero (2022) Línea de Base Ambiental del bentos, columna de agua y sedimentos del Puerto de Comodoro Rivadavia y zonas de influencia. Instituto de Desarrollo Costero Dr. Héctor Zaixso y Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco (UNPSJB), Argentina, 101 pp.

Instituto de Desarrollo Costero (2023). Caracterización ambiental del bentos, columna de agua y sedimentos del sitio de descarga del material de dragado del Puerto de Comodoro Rivadavia. Mayo, 2023.

Isla, F., Iantanos, N. & Estrada, E. (2002) Playas reflectivas y disipativas macromareales del Golfo San Jorge, Chubut. Asociación Argentina de Sedimentología 9(2): 155-164.

Lesta, P. (1968) Estratigrafía de la Cuenca del Golfo San Jorge. 3° Jornadas Geológicas Argentinas. Actas I, 251-289.

Massera, C. (2012) Golfo San Jorge: Descripción Geográfica. Instituto Geográfico Nacional (IGN), Talleres Gráficos del Instituto Geográfico Nacional, Buenos Aires, Argentina, 72 pp

Palma, E., Matano, R. & Piola, A. (2004) A numerical study of the Southwestern Atlantic shelf circulation: Barotropic response to tidal and wind forcing. Journal of Geophysical Research 109: 1-17.

Paredes, J., Foix, N. & Allard, J. (2022) Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Chubut. Estratigrafia Cretácica de la Cuenca del Golfo San Jorge. Relatorio XXI Congreso Geológico Argentino, 45 pp.

Paredes, J.; Ocampo, M.; Valle, M.; Allard, J. y Bueti, S. (2023). Dinámica Erosional y Depositacional de la Costanera y del área del Puerto de Comodoro Rivadavia. Laboratorio de Sedimentología y Estratigrafía – Departamento de Geología (FCNyCS, UNPSJB). Informe Técnico.

Ramos, V. (1999) Las Provincias Geológicas del Territorio Argentino. Instituto de Geologia y Recursos Minerales. Geología Argentina, Anales 29(3): 41-96.

Rivas, A. & Piola, A. (2002) Vertical stratification at the shelf off northern Patagonia. Continental Shelf Research 22: 1549-1558.

Rivas, A. (1994) Spatial variation of the annual cycle of temperature in the Patagonian shelf between 40 and 50° of south latitude. Continental Shelf Research 14 (13/14): 1539-1554.

Rolleri, E. (1976) Sistema de Santa Barbara. 6° Congreso Geológico Argentino. Actas I, 240-255.

Sánchez-Carnero, N. (2021) Base de datos batimétrica, superficie batimétrica generada a través de la interpolación y variables topográficas derivadas para las áreas de Frente Valdés y Golfo San Jorge. Informe del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, FAO y FMAM. Proyecto "Fortalecimiento de la Gestión y Protección de la Biodiversidad Costero Marina en Areas Ecológicas Clave y la Aplicación del Enfoque Ecosistémico de la Pesca (EEP), Argentina, pp 55.

Sciutto, J., Cesari, O., Escribano, V. & Pezzuchi, H. (2000) Hoja Geológica 4566-III, Comodoro Rivadavia (1:250.000). Secretaría de Energía y Minería. Boletin N°244. Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), Buenos Aires, Argentina, 60 pp.

Serman & asociados S.A. (2023) Proyecto: Dragado del Muelle de Ultramar y Refulado a Recinto Portuario. Puerto de Comodoro Rivadavia. Estudios sobre el Recinto de Refulado y Oleaje de Diseño, 78 pp.

SHN. [Servicio de Hidrografia Naval] (2023) Cartas de Argentina H-357 A y B Puerto de Comodoro Rivadavia (45º 52' S; 67º 28' O). Disponible en: http://www.hidro.gov.ar (Recuperado 5 Abril 2023)

SMN. [Servicio Meteorológico Nacional] (2023) Datos meteorológicos para el período (1993-2022) para la Estación Meteorológica Comodoro Rivadavia Aero (45°47'S, 67°30'O, 46 msnm). Disponible en: http://www.smn.gob.ar (Recuperado 5 Abril 2023)

Tejedo, A., Pereyra, F., Anielli, C. & Jones, M. (1999) Hoja de Peligrosidad Geológica 4566-III Comodoro Rivadavia, Provincia del Chubut. Programa Nacional de Cartas de Peligrosidad Geológica de la República Argentina (1:250.000). Subsecretaría de Minería de la Nación Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), Buenos Aires, Argentina, 78 pp.

Tonini, M., Palma, E. & Rivas, A. (2006) Modelo de alta resolución de los golfos patagónicos. Mecánica Computacional XXV, 1441-1460.

Violante, R., Haller, M. & Silvestri, O. (2022) Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Chubut. Geología y Geomorfología del Márgen Continental del Chubut. Relatorio XXI Congreso Geológico Argentino, 27 pp.

LISTADO DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

- BaRDOO- Base Regional de Datos Oceanográficos
- CCA – Corriente Circumpolar Antártica
- CEDEX - Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas
- CESIMAR- Centro para el Estudio de Sistemas Marinos
- CONICET- Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas
- CIEM - Comisión Interministerial de Estrategias Marinas
- CM – Corriente de Malvinas
- Fm - Formación
- GROW- Modelo Global de Pronóstico de Olas

- INIDEP- Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero
- MCC- Márgen Continental del Chubut
- MCNR- Mezcla Compleja No Resuelta
- PCASO- Plataforma Continental del Atlántico Sudoccidental
- PIMCPA- Parque Interjurisdiccional Marino Costero Patagonia Austral
- POBCh- Programa Observadores a Bordo
- SEA- Olas Locales
- SEGEMAR- Servicio Geológico Minero Argentino
- SHN- Servicio de Hidrografía Naval
- SMN- Servicio Meteorológico Nacional
- SODB – Southern Ocean Database
- SWELL- Olas Océanicas
- TSM – Temperatura Superficial del Mar
- WOCE – World Ocean Circulation Experiment
- WOD – World Ocean Database