



**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL
 PROYECTO MINERO QUEBRADA BLANCA FASE 2**

**CAPÍTULO 3.2.10
 “LÍNEA DE BASE RECURSOS HÍDRICOS MARINOS”**

TQB14016-REP-MA-0255

ÍNDICE

3	LÍNEA DE BASE.....	3.2.10-1
3.2	MEDIO FÍSICO.....	3.2.10-1
3.2.10	RECURSOS HÍDRICOS MARINOS.....	3.2.10-1
3.2.10.1	Oceanografía Física.....	3.2.10-2
3.2.10.1.1	Introducción.....	3.2.10-2
3.2.10.1.2	Objetivos.....	3.2.10-3
3.2.10.1.3	Determinación y Justificación del Área de Influencia.....	3.2.10-3
3.2.10.1.4	Metodología.....	3.2.10-5
3.2.10.1.5	Resultados.....	3.2.10-18
3.2.10.1.6	Síntesis y Conclusiones.....	3.2.10-118
3.2.10.1.7	Verano 2015.....	3.2.10-118
3.2.10.1.8	Invierno 2015.....	3.2.10-119
3.2.10.1.9	Comparación entre campañas.....	3.2.10-121
3.2.10.1.10	Conclusiones estudio de circulación costera.....	3.2.10-122
3.2.10.2	Oceanografía Química.....	3.2.10-123
3.2.10.2.1	Introducción.....	3.2.10-123
3.2.10.2.2	Objetivos.....	3.2.10-123
3.2.10.2.3	Ámbito Normativo.....	3.2.10-123
3.2.10.2.4	Determinación y Justificación del Área de Influencia.....	3.2.10-124
3.2.10.2.5	Metodología.....	3.2.10-125
3.2.10.2.6	Resultados.....	3.2.10-132
3.2.10.2.7	Síntesis y Conclusiones.....	3.2.10-238
3.2.10.2.8	Bibliografía.....	3.2.10-242

TABLAS

Tabla 3.2.10-1.	Cuadro de coordenadas – campaña verano e invierno 2015	3.2.10-5
Tabla 3.2.10-2.	Capas de medición estudio de corrientes con ADCP. Campaña de verano e invierno 2015.	3.2.10-6
Tabla 3.2.10-3.	Coordenadas UTM (Datum WGS-84) de puntos de lance de correntometría Lagrangiana.	3.2.10-8
Tabla 3.2.10-4.	Coordenadas UTM (Datum WGS-84) de puntos de lance de deriva litoral.	3.2.10-9
Tabla 3.2.10-5.	Coordenadas UTM (Datum WGS-84) de puntos de lance de rodamina WT.	3.2.10-9
Tabla 3.2.10-6.	Caracterización de condiciones de lances de rodamina WT. Campañas de verano e invierno 2015.	3.2.10-10
Tabla 3.2.10-7.	Parámetros de configuración del instrumento. Verano e invierno 2015.	3.2.10-12
Tabla 3.2.10-8.	Parámetros de procesamiento de olas.	3.2.10-13
Tabla 3.2.10-9.	Frecuencia de incidencia y excedencia de corrientes. Nivel superficial. Campaña verano 2015.	3.2.10-18
Tabla 3.2.10-10.	Estadísticas de series ortogonales. Nivel superficial. Campaña verano 2015.	3.2.10-19
Tabla 3.2.10-11.	Frecuencia de incidencia y excedencia de corrientes. Nivel intermedio. Campaña verano 2015.	3.2.10-23
Tabla 3.2.10-12.	Estadísticas de series ortogonales. Capa o nivel intermedio. Campaña verano 2015.	3.2.10-24
Tabla 3.2.10-13.	Frecuencia de incidencia y excedencia de corrientes. Nivel profundo. Campaña verano 2015.	3.2.10-27
Tabla 3.2.10-14.	Estadísticas de series ortogonales. Capa o nivel profundo. Campaña verano 2015.	3.2.10-28
Tabla 3.2.10-15.	Frecuencia de incidencia y excedencia de corrientes. Nivel superficial. Campaña invierno 2015.	3.2.10-31
Tabla 3.2.10-16.	Estadísticas de series ortogonales. Nivel superficial. Campaña invierno 2015.	3.2.10-32
Tabla 3.2.10-17.	Frecuencia de incidencia y excedencia de corrientes. Nivel intermedio. Campaña invierno 2015.	3.2.10-36
Tabla 3.2.10-18.	Estadísticas de series ortogonales. Capa o nivel intermedio. Campaña invierno 2015.	3.2.10-36
Tabla 3.2.10-19.	Frecuencia de incidencia y excedencia de corrientes. Nivel profundo. Campaña invierno 2015.	3.2.10-40
Tabla 3.2.10-20.	Estadísticas de series ortogonales. Capa o nivel profundo. Campaña invierno 2015.	3.2.10-40
Tabla 3.2.10-21.	Promedio de dirección y rapidez media derivadores. Condición lunar de sicigia. Campaña verano 2015.	3.2.10-43

Tabla 3.2.10-22.	Promedio de dirección y rapidez media derivadores. Condición lunar de cuadratura. Campaña verano 2015.....	3.2.10-44
Tabla 3.2.10-23.	Promedio de dirección y rapidez media derivadores. Condición lunar de sicigia. Campaña invierno 2015.	3.2.10-50
Tabla 3.2.10-24.	Promedio de dirección y rapidez media derivadores. Condición lunar de cuadratura. Campaña invierno 2015.	3.2.10-51
Tabla 3.2.10-25.	Deriva litoral, condición lunar de sicigia. Campaña verano 2015....	3.2.10-56
Tabla 3.2.10-26.	Deriva litoral, condición lunar de cuadratura. Campaña verano 2015.	3.2.10-56
Tabla 3.2.10-27.	Deriva litoral, condición lunar de sicigia. Campaña invierno 2015. .	3.2.10-57
Tabla 3.2.10-28.	Deriva litoral, condición lunar de cuadratura. Campaña invierno 2015.	3.2.10-57
Tabla 3.2.10-29.	Coeficientes de dispersión Ka calculados para el área costera evaluada.	3.2.10-58
Tabla 3.2.10-30.	Comparación con otros estudios de la capacidad del cuerpo de agua en el área costera evaluada.....	3.2.10-59
Tabla 3.2.10-31.	Coeficientes de dispersión Ka calculados para el área costera evaluada.	3.2.10-68
Tabla 3.2.10-32.	Frecuencia de incidencia y excedencia de viento. Campaña verano 2015.	3.2.10-79
Tabla 3.2.10-33.	Frecuencia de incidencia y excedencia de viento. Campaña invierno 2015.	3.2.10-82
Tabla 3.2.10-34.	Distribución conjunta altura significativa (Hs) v/s periodo (Tpro). Campaña verano 2015.....	3.2.10-86
Tabla 3.2.10-35.	Distribución conjunta altura significativa (Hs) v/s periodo (Tpro). Campaña invierno 2015.	3.2.10-90
Tabla 3.2.10-36.	Correlación cruzada Viento – Corriente. Campaña verano 2015....	3.2.10-94
Tabla 3.2.10-37.	Correlación cruzada Marea – Corriente. Campaña verano 2015....	3.2.10-95
Tabla 3.2.10-38.	Correlación cruzada Viento – Corriente. Campaña invierno 2015. .	3.2.10-97
Tabla 3.2.10-39.	Correlación cruzada Marea – Corriente. Campaña invierno 2015. .	3.2.10-98
Tabla 3.2.10-40.	Estadística básica de corrientes marinas observadas en condiciones de marea llenante, verano 2015.....	3.2.10-103
Tabla 3.2.10-41.	Estadística básica de corrientes marinas observadas en condiciones de marea vaciante, verano 2015.....	3.2.10-103
Tabla 3.2.10-42.	Estadística básica de corrientes marinas observadas en condiciones de marea llenante, otoño 2015.....	3.2.10-107

Tabla 3.2.10-43.	Estadística básica de corrientes marinas observadas en condiciones de marea vaciante, otoño 2015.....	3.2.10-107
Tabla 3.2.10-44.	Estadística básica de corrientes marinas observadas en condiciones de marea llenante, invierno 2015.	3.2.10-111
Tabla 3.2.10-45.	Estadística básica de corrientes marinas observadas en condiciones de marea vaciante, invierno 2015.	3.2.10-111
Tabla 3.2.10-46.	Estadística básica de corrientes marinas observadas en condiciones de marea llenante, primavera 2015.....	3.2.10-115
Tabla 3.2.10-47.	Estadística básica de corrientes marinas observadas en condiciones de marea vaciante primavera 2015.	3.2.10-115
Tabla 3.2.10-48.	Resumen comparativo entre campañas.....	3.2.10-121
Tabla 3.2.10-49.	Coordenadas UTM de las estaciones de muestreo, válidas para la estructura de la columna de agua, calidad del agua y sedimentos submareales (Datum WGS-84). Teck - QB2.	3.2.10-126
Tabla 3.2.10-50.	Especificaciones técnicas de los sensores del perfilador CTD-O, marca Seabird modelo 19plus, empleado para las mediciones <i>in situ</i> . 3.2.10-126	
Tabla 3.2.10-51.	Parámetros y métodos analíticos aplicados por Laboratorio ALS Patagonia a las muestras de sedimentos intermareales. Teck – QB2, 2015.....	3.2.10-129
Tabla 3.2.10-52.	Coordenadas geográficas de los transectos donde se caracterizó la calidad química de sedimentos intermareales. Teck – QB2. Datum WGS-84, 19 K.	3.2.10-129
Tabla 3.2.10-53.	Parámetros y métodos analíticos aplicados por Laboratorio ALS Patagonia a las muestras de sedimentos submareales. Teck – QB2, 2015.	3.2.10-131
Tabla 3.2.10-54.	Estadística básica de calidad química del agua de mar por estación, estrato y campaña estacional. Verano, Otoño, Invierno y Primavera 2015. Estrato Superficie: S; estrato Fondo: F. Teck – QB2 – 2015. ...	3.2.10-147
Tabla 3.2.10-55.	Estadística básica de calidad química de los sedimentos intermareales por campaña. Teck – QB2, 2015.....	3.2.10-187
Tabla 3.2.10-56.	Estadística básica de la calidad química de los sedimentos marinos submareales. Todas las concentraciones expresadas en mg/kg con excepción del carbono (inorgánico, orgánico y total) que están expresadas en porcentaje Teck – QB2, 2015.....	3.2.10-213
Tabla 3.2.10-57.	Características texturales de los sedimentos submareales evaluados en el área costera evaluada (C1 estación más al sur y C4 estación dispuesta más al norte). Teck – QB2, verano 2015.....	3.2.10-232

FIGURAS

Figura 3.2.10-1.	Área de Influencia para Recursos Hídricos Marinos.....	3.2.10-4
------------------	--	----------

Figura 3.2.10-2.	Trayectoria de navegación realizado en condición de marea llenante y vaciante, durante las campañas de verano, otoño, invierno y primavera 2015.....	3.2.10-15
Figura 3.2.10-3.	Mareógrafo marca HOBO, de la compañía ONSET, cuyo rango de medición es 0 a 9 m.	3.2.10-15
Figura 3.2.10-4.	Estación meteorológica marca YOUNG, modelo 05103 Marine.	3.2.10-16
Figura 3.2.10-5.	Adquisición de datos de corrientes marinas utilizando ADCP de 307,2 kHz, en tiempo real utilizando el software licenciado HYPACK y GPS diferencial marca Trimble modelo 5700.....	3.2.10-17
Figura 3.2.10-6.	Histograma de frecuencia de dirección y velocidad de corrientes. Capa superficial. Campaña verano 2015.....	3.2.10-21
Figura 3.2.10-7.	Diagrama de dispersión dirección versus magnitud, capa superficial. Campaña verano 2015.....	3.2.10-21
Figura 3.2.10-8.	Diagrama de vector progresivo. Capa superficial. Campaña verano 2015.	3.2.10-22
Figura 3.2.10-9.	Autoespectros de corrientes. Capa superficial. Campaña verano 2015.	3.2.10-22
Figura 3.2.10-10.	Histograma de frecuencia de dirección y velocidad de corrientes. Capa intermedia. Campaña verano 2015.	3.2.10-25
Figura 3.2.10-11.	Diagrama de dispersión dirección versus magnitud, capa intermedia. Campaña verano 2015.....	3.2.10-25
Figura 3.2.10-12.	Diagrama de vector progresivo. Capa intermedia. Campaña verano 2015.	3.2.10-26
Figura 3.2.10-13.	Autoespectros de corrientes. Capa intermedia. Campaña verano 2015.	3.2.10-26
Figura 3.2.10-14.	Histograma de frecuencia de dirección y velocidad de corrientes, capa fondo. Campaña verano 2015.....	3.2.10-29
Figura 3.2.10-15.	Diagrama de dispersión dirección versus magnitud, capa fondo. Campaña verano 2015.....	3.2.10-29
Figura 3.2.10-16.	Diagrama de vector progresivo. Capa fondo. Campaña verano 2015.	3.2.10-30
Figura 3.2.10-17.	Autoespectros de corrientes, capa fondo. Campaña verano 2015.	3.2.10-30
Figura 3.2.10-18.	Histograma de frecuencia de dirección y velocidad de corrientes. Capa superficial. Campaña invierno 2015.	3.2.10-33
Figura 3.2.10-19.	Diagrama de dispersión dirección versus magnitud, capa superficial. Campaña invierno 2015.	3.2.10-34
Figura 3.2.10-20.	Diagrama de vector progresivo. Capa superficial. Campaña invierno 2015.	3.2.10-34
Figura 3.2.10-21.	Autoespectros de corrientes. Capa superficial. Campaña invierno 2015.	3.2.10-35
Figura 3.2.10-22.	Histograma de frecuencia de dirección y velocidad de corrientes. Capa intermedia. Campaña invierno 2015.....	3.2.10-37

Figura 3.2.10-23.	Diagrama de dispersión dirección versus magnitud, capa intermedia. Campaña invierno 2015.	3.2.10-38
Figura 3.2.10-24.	Diagrama de vector progresivo. Capa intermedia. Campaña invierno 2015.	3.2.10-38
Figura 3.2.10-25.	Autoespectros de corrientes. Capa intermedia. Campaña invierno 2015.	3.2.10-39
Figura 3.2.10-26.	Histograma de frecuencia de dirección y velocidad de corrientes, capa fondo. Campaña invierno 2015.	3.2.10-41
Figura 3.2.10-27.	Diagrama de dispersión dirección versus magnitud, capa fondo. Campaña invierno 2015.	3.2.10-42
Figura 3.2.10-28.	Diagrama de vector progresivo. Capa fondo. Campaña invierno 2015.	3.2.10-42
Figura 3.2.10-29.	Autoespectros de corrientes, capa fondo. Campaña invierno 2015.	3.2.10-43
Figura 3.2.10-30.	Comportamiento derivadores en área costera evaluada. Sicigia lunar, marea llenante. Campaña verano 2015.	3.2.10-46
Figura 3.2.10-31.	Comportamiento derivadores en área costera evaluada. Sicigia lunar, marea vaciante. Campaña verano 2015.....	3.2.10-47
Figura 3.2.10-32.	Comportamiento derivadores en área costera evaluada. Cuadratura lunar, marea vaciante. Campaña verano 2015.....	3.2.10-48
Figura 3.2.10-33.	Comportamiento derivadores en área costera evaluada. Cuadratura lunar, marea llenante. Campaña verano 2015.	3.2.10-49
Figura 3.2.10-34.	Comportamiento derivadores en área costera evaluada. Sicigia lunar, marea llenante. Campaña invierno 2015.....	3.2.10-52
Figura 3.2.10-35.	Comportamiento derivadores en área costera evaluada. Sicigia lunar, marea vaciante. Campaña invierno 2015.	3.2.10-53
Figura 3.2.10-36.	Comportamiento derivadores en área costera evaluada. Cuadratura lunar, marea vaciante. Campaña invierno 2015.	3.2.10-54
Figura 3.2.10-37.	Comportamiento derivadores en área costera evaluada. Cuadratura lunar, marea llenante. Campaña invierno 2015.....	3.2.10-55
Figura 3.2.10-38.	Desplazamiento y dispersión de mancha de rodamina. Sicigia lunar. Marea llenante, verano 2015. Estación Roda 1.....	3.2.10-60
Figura 3.2.10-39.	Desplazamiento y dispersión de mancha de rodamina. Sicigia lunar. Marea vaciante, verano 2015. Estación Roda 1.....	3.2.10-60
Figura 3.2.10-40.	Desplazamiento y dispersión de mancha de rodamina. Sicigia lunar. Marea llenante, verano 2015. Estación Roda 2.....	3.2.10-61
Figura 3.2.10-41.	Desplazamiento y dispersión de mancha de rodamina. Sicigia lunar. Marea vaciante, verano 2015. Estación Roda 2.....	3.2.10-61
Figura 3.2.10-42.	Desplazamiento y dispersión de mancha de rodamina. Cuadratura lunar. Marea vaciante, verano 2015. Estación Roda 1.....	3.2.10-62
Figura 3.2.10-43.	Desplazamiento y dispersión de mancha de rodamina. Cuadratura lunar. Marea llenante, verano 2015. Estación Roda 1.....	3.2.10-62

Figura 3.2.10-44.	Desplazamiento y dispersión de mancha de rodamina. Cuadratura lunar. Marea vaciante, verano 2015. Estación Roda 2.....	3.2.10-63
Figura 3.2.10-45.	Desplazamiento y dispersión de mancha de rodamina. Cuadratura lunar. Marea llenante, verano 2015. Estación Roda 2.....	3.2.10-63
Figura 3.2.10-46.	Evolución temporal de círculos de áreas equivalentes. Sicigia lunar, marea llenante, verano 2015. Estación Roda 1.....	3.2.10-64
Figura 3.2.10-47.	Evolución temporal de círculos de áreas equivalentes. Sicigia lunar, marea vaciante, verano 2015. Estación Roda 1.....	3.2.10-64
Figura 3.2.10-48.	Evolución temporal de círculos de áreas equivalentes. Sicigia lunar, marea llenante, verano 2015. Estación Roda 2.....	3.2.10-65
Figura 3.2.10-49.	Evolución temporal de círculos de áreas equivalentes. Sicigia lunar, marea vaciante, verano 2015. Estación Roda 2.....	3.2.10-65
Figura 3.2.10-50.	Evolución temporal de círculos de áreas equivalentes. Cuadratura lunar, marea vaciante, verano 2015. Estación Roda 1.....	3.2.10-66
Figura 3.2.10-51.	Evolución temporal de círculos de áreas equivalentes. Cuadratura lunar, marea llenante, verano 2015. Estación Roda 1.....	3.2.10-66
Figura 3.2.10-52.	Evolución temporal de círculos de áreas equivalentes. Cuadratura lunar, marea vaciante, verano 2015. Estación Roda 2.....	3.2.10-67
Figura 3.2.10-53.	Evolución temporal de círculos de áreas equivalentes. Cuadratura lunar, marea llenante, verano 2015. Estación Roda 2.....	3.2.10-67
Figura 3.2.10-54.	Desplazamiento y dispersión de mancha de rodamina. Sicigia lunar. Marea llenante, invierno 2015. Estación Roda 1.....	3.2.10-70
Figura 3.2.10-55.	Desplazamiento y dispersión de mancha de rodamina. Sicigia lunar. Marea vaciante invierno 2015. Estación Roda 1.....	3.2.10-71
Figura 3.2.10-56.	Desplazamiento y dispersión de mancha de rodamina. Sicigia lunar. Marea llenante, invierno 2015. Estación Roda 2.....	3.2.10-71
Figura 3.2.10-57.	Desplazamiento y dispersión de mancha de rodamina. Sicigia lunar. Marea vaciante, invierno 2015. Estación Roda 2.....	3.2.10-72
Figura 3.2.10-58.	Desplazamiento y dispersión de mancha de rodamina. Cuadratura lunar. Marea vaciante, invierno 2015. Estación Roda 1.....	3.2.10-72
Figura 3.2.10-59.	Desplazamiento y dispersión de mancha de rodamina. Cuadratura lunar. Marea llenante, invierno 2015. Estación Roda 1.....	3.2.10-73
Figura 3.2.10-60.	Desplazamiento y dispersión de mancha de rodamina. Cuadratura lunar. Marea vaciante, invierno 2015. Estación Roda 2.....	3.2.10-73
Figura 3.2.10-61.	Desplazamiento y dispersión de mancha de rodamina. Cuadratura lunar. Marea llenante, invierno 2015. Estación Roda 2.....	3.2.10-74
Figura 3.2.10-62.	Evolución temporal de círculos de áreas equivalentes. Sicigia lunar, marea llenante, invierno 2015. Estación Roda 1.....	3.2.10-74
Figura 3.2.10-63.	Evolución temporal de círculos de áreas equivalentes. Sicigia lunar, marea vaciante, invierno 2015. Estación Roda 1.....	3.2.10-75
Figura 3.2.10-64.	Evolución temporal de círculos de áreas equivalentes. Sicigia lunar, marea llenante, invierno 2015. Estación Roda 2.....	3.2.10-75

Figura 3.2.10-65.	Evolución temporal de círculos de áreas equivalentes. Sicigia lunar, marea vaciante, invierno 2015. Estación Roda 2.	3.2.10-76
Figura 3.2.10-66.	Evolución temporal de círculos de áreas equivalentes. Cuadratura lunar, marea vaciante, invierno 2015. Estación Roda 1.	3.2.10-76
Figura 3.2.10-67.	Evolución temporal de círculos de áreas equivalentes. Cuadratura lunar, marea llenante, invierno 2015. Estación Roda 1.	3.2.10-77
Figura 3.2.10-68.	Evolución temporal de círculos de áreas equivalentes. Cuadratura lunar, marea vaciante, invierno 2015. Estación Roda 2.	3.2.10-77
Figura 3.2.10-69.	Evolución temporal de círculos de áreas equivalentes. Cuadratura lunar, marea llenante, invierno 2015. Estación Roda 2.	3.2.10-78
Figura 3.2.10-70.	Histograma de frecuencia de dirección y velocidad del viento. Campaña verano 2015.	3.2.10-80
Figura 3.2.10-71.	Autoespectros del viento. Campaña verano 2015.	3.2.10-80
Figura 3.2.10-72.	Ciclo diario del viento, dirección y magnitud promedio. Campaña verano 2015.	3.2.10-81
Figura 3.2.10-73.	Histograma de frecuencia de dirección y velocidad del viento. Campaña invierno 2015.	3.2.10-83
Figura 3.2.10-74.	Autoespectros del viento. Campaña invierno 2015.	3.2.10-83
Figura 3.2.10-75.	Ciclo diario del viento, dirección y magnitud promedio. Campaña invierno 2015.	3.2.10-84
Figura 3.2.10-76.	Curva de marea observada. Campaña verano 2015.	3.2.10-85
Figura 3.2.10-77.	Curva de marea observada. Campaña invierno 2015.	3.2.10-85
Figura 3.2.10-78.	Histograma de incidencia del oleaje medido en el área costera evaluada. Campaña verano 2015.	3.2.10-87
Figura 3.2.10-79.	Altura significativa oleaje. Campaña verano 2015.	3.2.10-88
Figura 3.2.10-80.	Periodo Tpro oleaje. Campaña verano 2015.	3.2.10-89
Figura 3.2.10-81.	Histograma de incidencia del oleaje medido en el área costera evaluada. Campaña invierno 2015.	3.2.10-91
Figura 3.2.10-82.	Altura significativa oleaje. Campaña invierno 2015.	3.2.10-92
Figura 3.2.10-83.	Periodo Tpro oleaje. Campaña invierno 2015.	3.2.10-93
Figura 3.2.10-84.	Medición de corrientes marinas (escala gráfica en (cm/s)) utilizando ADCP, A) ~5 m de profundidad, B) ~10 m de profundidad, C) ~15 m de profundidad y D) ~20 m de profundidad. Marea llenante, 23 de marzo de 2015.	3.2.10-101
Figura 3.2.10-85.	Medición de corrientes marinas (escala gráfica en (cm/s)) utilizando ADCP, A) ~5 m de profundidad, B) ~10 m de profundidad, C) ~15 m de profundidad y D) ~20 m de profundidad. Marea vaciante, 24 de marzo de 2015.	3.2.10-102
Figura 3.2.10-86.	Medición de corrientes marinas (escala gráfica en (cm/s)) utilizando ADCP, a) ~5 m de profundidad, b) ~10 m de profundidad, c) ~15 m de profundidad y d) ~20 m de profundidad. Marea llenante, 19 de junio de 2015.	3.2.10-105

Figura 3.2.10-87.	Medición de corrientes marinas (escala gráfica en (cm/s)) utilizando ADCP, a) ~5 m de profundidad, b) ~10 m de profundidad, c) ~15 m de profundidad y d) ~20 m de profundidad. Marea vaciante, 19 de junio de 2015.....	3.2.10-106
Figura 3.2.10-88.	Medición de corrientes marinas (escala gráfica en (cm/s)) utilizando ADCP, a) ~5 m de profundidad, b) ~10 m de profundidad, c) ~15 m de profundidad y d) ~20 m de profundidad. Marea llenante, 7 de septiembre de 2015.....	3.2.10-109
Figura 3.2.10-89.	Medición de corrientes marinas (escala gráfica en (cm/s)) utilizando ADCP, a) ~5 m de profundidad, b) ~10 m de profundidad, c) ~15 m de profundidad y d) ~20 m de profundidad. Marea vaciante, 7 de septiembre de 2015.....	3.2.10-110
Figura 3.2.10-90.	Medición de corrientes marinas (escala gráfica en (cm/s)) utilizando ADCP, a) ~5 m de profundidad, b) ~10 m de profundidad, c) ~15 m de profundidad y d) ~20 m de profundidad. Marea llenante, 12 de noviembre de 2015.....	3.2.10-113
Figura 3.2.10-91.	Medición de corrientes marinas (escala gráfica en (cm/s)) utilizando ADCP, a) ~5 m de profundidad, b) ~10 m de profundidad, c) ~15 m de profundidad y d) ~20 m de profundidad. Marea vaciante, 12 de noviembre de 2015.....	3.2.10-114
Figura 3.2.10-92.	Magnitud y dirección hacia donde fluye el viento (panel izquierdo) y rosa de vientos con la distribución de frecuencia de magnitud y dirección (panel derecho). A y E) Campaña de verano 2015, B y F) Campaña de otoño 2015, C y G) campaña de invierno 2015 y D y H) campaña de primavera 2015.....	3.2.10-117
Figura 3.2.10-93.	Estructura vertical de temperatura (°C): A) verano, B) otoño, C) invierno y D) primavera, del 2015 Teck – QB2.....	3.2.10-133
Figura 3.2.10-94.	Estructura vertical de salinidad (psu): A) verano, B) otoño, C) invierno y D) primavera de 2015. Teck – QB2.....	3.2.10-135
Figura 3.2.10-95.	Estructura vertical de la concentración de oxígeno disuelto (mlO ₂ /L): A) verano, B) otoño, C) invierno y D) primavera de 2015. Teck – QB2.....	3.2.10-136
Figura 3.2.10-96.	Estructura vertical de la concentración de Clorofila-a (mg/m ³): A) verano, B) otoño, C) invierno y D) primavera de 2015. Teck – QB2.....	3.2.10-138
Figura 3.2.10-97.	Estructura vertical de la concentración de pH (unidades de pH): A) verano, B) otoño, C) invierno y D) primavera de 2015. Teck – QB2.....	3.2.10-140
Figura 3.2.10-98.	Estabilidad de la columna de agua en términos de frecuencia de Brunt – Väisälä (N ₂ = - gdpdz), durante las campañas estacionales, A) verano, B) otoño, C) invierno y D) primavera de 2015 (línea roja delimita los valores de estabilidad positivos (columna de agua estable) y negativos (columna de agua inestable)). Teck – QB2.....	3.2.10-141
Figura 3.2.10-99.	Zona definida como “El Niño 1+2” comprendida entre 0°S-10°S Y 90°W-80°W.....	3.2.10-142
Figura 3.2.10-100.	Anomalías de Temperatura Superficial del Mar referidas a la zona “El Niño 1+2”.....	3.2.10-143

- Figura 3.2.10-101. Transparencia (m) medida *in situ*: (A) todas las estaciones monitoreadas durante las cuatro campañas de Línea de Base; y (B) transparencia promedio (\pm DS) por campaña estacional (Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015..... 3.2.10-144
- Figura 3.2.10-102. (A) Conductividad eléctrica en agua de mar por estación de muestreo y campaña estacional. (B) Conductividad eléctrica promedio por estrato de profundidad (superficie/fondo). (C) Box plot de conductividad eléctrica promedio (\pm DS) por campaña estacional (Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015..... 3.2.10-160
- Figura 3.2.10-103. Concentración de sólidos disueltos totales (SDT) en agua de mar: (A) por estación de muestreo y campaña estacional. (B) concentración promedio por estrato de profundidad (superficie/fondo). (C) Box plot de concentración promedio (\pm DS) por campaña estacional (Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015..... 3.2.10-162
- Figura 3.2.10-104. Concentración de sólidos suspendidos totales (SST) en agua de mar: (A) por estación de muestreo y campaña estacional. (B) concentración promedio de SST por estrato de profundidad (superficie/fondo). (C) Box plot de concentración promedio (\pm DS) por campaña estacional (Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015..... 3.2.10-163
- Figura 3.2.10-105. Concentración de sulfatos (SO_4^{2-}) en agua de mar: (A) por estación de muestreo y campaña estacional. (B) concentración promedio por estrato de profundidad (superficie/fondo). (C) Box plot de concentración promedio (\pm DS) por campaña estacional (Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015..... 3.2.10-165
- Figura 3.2.10-106. Concentración de Nitrógeno total Kjeldahl (NTK) en agua de mar: (A) por estación de muestreo y campaña estacional. (B) concentración promedio de NTK por estrato de profundidad (superficie/fondo). (C) Box plot de concentración promedio (\pm DS) por campaña estacional (Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015..... 3.2.10-166
- Figura 3.2.10-107. Concentración de fluoruros en agua de mar: (A) por estación de muestreo y campaña estacional. (B) concentración promedio por estrato de profundidad (superficie/fondo). (C) Box plot de concentración promedio (\pm DS) por campaña estacional (Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015..... 3.2.10-168
- Figura 3.2.10-108. Concentración de Fósforo en agua de mar: (A) por estación de muestreo y campaña estacional. (B) concentración promedio por estrato de profundidad (superficie/fondo). (C) Box plot de concentración promedio (\pm DS) por campaña estacional (Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015..... 3.2.10-169
- Figura 3.2.10-109. Concentración de Arsénico disuelto en agua de mar: (A) por estación de muestreo y campaña estacional. (B) concentración promedio de As por estrato de profundidad (superficie/fondo). (C) Box plot de concentración promedio (\pm DS) por campaña estacional (Letras distintas sobre las barras

- indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$). Teck – QB2, 2015..... 3.2.10-171
- Figura 3.2.10-110. Concentración de cadmio disuelto en agua de mar: (A) por estación de muestreo y campaña estacional. (B) concentración promedio por estrato de profundidad (superficie/fondo). (C) Box plot de concentración promedio ($\pm DS$) por campaña estacional (Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015..... 3.2.10-172
- Figura 3.2.10-111. Concentración de cromo disuelto en agua de mar: (A) por estación de muestreo y campaña estacional. (B) concentración promedio por estrato de profundidad (superficie/fondo). (C) Box plot de concentración promedio ($\pm DS$) por campaña estacional (Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015..... 3.2.10-174
- Figura 3.2.10-112. Concentración de cobre disuelto en agua de mar: (A) por estación de muestreo y campaña estacional. (B) concentración promedio por estrato de profundidad (superficie/fondo). (C) Box plot de concentración promedio ($\pm DS$) por campaña estacional (Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015..... 3.2.10-176
- Figura 3.2.10-113. Concentración de hierro disuelto (Fe) en agua de mar: (A) por estación de muestreo y campaña estacional. (B) concentración promedio por estrato de profundidad (superficie/fondo). (C) Box plot de concentración promedio ($\pm DS$) por campaña estacional (Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015..... 3.2.10-178
- Figura 3.2.10-114. Concentración de molibdeno disuelto (Mo) en agua de mar: (A) por estación de muestreo y campaña estacional. (B) concentración promedio por estrato de profundidad (superficie/fondo). (C) Box plot de concentración promedio ($\pm DS$) por campaña estacional (Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015..... 3.2.10-179
- Figura 3.2.10-115. Concentración de níquel disuelto (Ni) en agua de mar: (A) por estación de muestreo y campaña estacional. (B) concentración promedio por estrato de profundidad (superficie/fondo). (C) Box plot de concentración promedio ($\pm DS$) por campaña estacional (Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015..... 3.2.10-181
- Figura 3.2.10-116. Concentración de plomo disuelto (Pb) en agua de mar: (A) por estación de muestreo y campaña estacional. (B) concentración promedio por estrato de profundidad (superficie/fondo). (C) Box plot de concentración promedio ($\pm DS$) por campaña estacional (Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015..... 3.2.10-182
- Figura 3.2.10-117. Concentración de estaño disuelto (Sn) en agua de mar: (A) por estación de muestreo y campaña estacional. (B) concentración promedio por estrato de profundidad (superficie/fondo). (C) Box plot de concentración promedio ($\pm DS$) por campaña estacional (Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015..... 3.2.10-184
- Figura 3.2.10-118. Concentración de zinc disuelto (Zn) en agua de mar: (A) por estación de muestreo y campaña estacional. (B) concentración promedio por estrato

- de profundidad (superficie/fondo). (C) Box plot de concentración promedio (\pm DS) por campaña estacional (Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015..... 3.2.10-185
- Figura 3.2.10-119. (A) Concentración de Arsénico total por punto de muestreo intermareal durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (\pm DS) por campaña de monitoreo (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015..... 3.2.10-189
- Figura 3.2.10-120. (A) Concentración de Cadmio total por punto de muestreo intermareal durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (\pm DS) por campaña de monitoreo (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015..... 3.2.10-191
- Figura 3.2.10-121. (A) Concentración de Cromo total por punto de muestreo intermareal durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (\pm DS) por campaña de monitoreo (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015..... 3.2.10-193
- Figura 3.2.10-122. (A) Concentración de Cobre total por punto de muestreo intermareal durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (\pm DS) por campaña de monitoreo (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015..... 3.2.10-194
- Figura 3.2.10-123. (A) Concentración de Hierro total por punto de muestreo intermareal durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (\pm DS) por campaña de monitoreo (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015..... 3.2.10-196
- Figura 3.2.10-124. (A) Concentración de Mercurio total por punto de muestreo intermareal durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (\pm DS) por campaña de monitoreo (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015..... 3.2.10-197
- Figura 3.2.10-125. (A) Concentración de Níquel total por punto de muestreo intermareal durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (\pm DS) por campaña de monitoreo (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015..... 3.2.10-199
- Figura 3.2.10-126. (A) Concentración de Fósforo total por punto de muestreo intermareal durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (\pm DS) por campaña de monitoreo (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015..... 3.2.10-200
- Figura 3.2.10-127. (A) Concentración de Estaño total por punto de muestreo intermareal durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (\pm DS) por campaña de monitoreo (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015..... 3.2.10-201
- Figura 3.2.10-128. (A) Concentración de Zinc total por punto de muestreo intermareal durante las cuatro campañas estacionales; y (B) concentración promedio (\pm DS) por campaña de monitoreo (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015..... 3.2.10-203
- Figura 3.2.10-129. Triángulo de composición textural de grava, lodo, arena (GLA) y Triángulo de composición textural de arena, arcilla, limo (AAL). Panel superior: Verano y otoño 2015; Panel inferior: invierno y primavera 2015. Teck – QB2. 3.2.10-206

Figura 3.2.10-130.	Triángulo de la composición textural de grava, lodo, arena (GLA) y Triángulo de la composición textural de arena, arcilla, limo (AAL). Panel superior: Verano y otoño 2015; Panel inferior: invierno y primavera 2015. Teck – QB2..... 3.2.10-207
Figura 3.2.10-131.	Porcentaje de M.O.T. en sedimentos del nivel intermareal alto. Se detallan los resultados individuales por transecto (A), y el promedio por campaña estacional (B). Teck – QB2, 2015..... 3.2.10-208
Figura 3.2.10-132.	Porcentaje de M.O.T. en sedimentos del nivel intermareal medio. Se detallan los resultados individuales por transecto (A), y el promedio por campaña estacional (B). Teck – QB2, 2015. 3.2.10-209
Figura 3.2.10-133.	Porcentaje de M.O.T. en sedimentos del nivel intermareal bajo. Se detallan los resultados individuales por transecto (A), y el promedio por campaña estacional (B). Teck – QB2, 2015. 3.2.10-210
Figura 3.2.10-134.	Registros promedio (\pm DS) de potencial redox por estaciones de muestreo (panel A), y entre campañas estacionales (panel B). Teck – QB2, 2015. 3.2.10-212
Figura 3.2.10-135.	(A) Concentración de Carbono Orgánico Total por estación de muestreo durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (\pm DS) por campaña estacional (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015..... 3.2.10-218
Figura 3.2.10-136.	(A) Concentración de Hidrocarburos fracción F3 (C16-C34) por estación de muestreo durante las cuatro campañas; (B) concentración promedio (\pm DS) por cada campaña estacional (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015..... 3.2.10-219
Figura 3.2.10-137.	(A) Concentración de Fósforo Total por estación de muestreo durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (\pm DS) por campaña estacional (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015..... 3.2.10-220
Figura 3.2.10-138.	(A) Concentración de Arsénico total por estación de muestreo durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (\pm DS) por cada campaña estacional (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015..... 3.2.10-221
Figura 3.2.10-139.	(A) Concentración de Cadmio total por estación de muestreo durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (\pm DS) por campaña estacional (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015..... 3.2.10-223
Figura 3.2.10-140.	(A) Concentración de Cromo total por estación de muestreo durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (\pm DS) por cada campaña estacional (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015..... 3.2.10-224
Figura 3.2.10-141.	(A) Concentración de Cobre total por estación de muestreo durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (\pm ES) por campaña estacional (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015..... 3.2.10-225

Figura 3.2.10-142.	(A) Concentración de Hierro total por estación de muestreo durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (\pm DS) por campaña estacional (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.....	3.2.10-226
Figura 3.2.10-143.	(A) Concentración de Mercurio total por estación de muestreo durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (\pm ES) por campaña estacional (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.....	3.2.10-227
Figura 3.2.10-144.	(A) Concentración de Níquel total por estación de muestreo durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (\pm DS) por cada campaña estacional (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.....	3.2.10-228
Figura 3.2.10-145.	(A) Concentración de Estaño total por cada estación de muestreo durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (\pm DS) por cada campaña estacional (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.....	3.2.10-229
Figura 3.2.10-146.	(A) Concentración de Cinc total por estación de muestreo durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (\pm ES) por campaña estacional (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.....	3.2.10-230
Figura 3.2.10-147.	Triángulo de composición textural de grava, lodo, arena (GLA) y Triángulo de composición textural de arena, arcilla, limo (AAL). Panel superior: Verano 2015; Panel inferior: otoño 2015. Teck – QB2.	3.2.10-234
Figura 3.2.10-148.	Triángulo de la composición textural de grava, lodo, arena (GLA) y Triángulo de la composición textural de arena, arcilla, limo (AAL). Panel superior: Invierno 2015; Panel inferior: primavera 2015. Teck – QB2.	3.2.10-235
Figura 3.2.10-149.	Concentración de M.O.T. en sedimentos submareales por cada estación de muestreo evaluada (C1 estación más al sur y C4 estación dispuesta más al norte), durante las cuatro campañas estacionales. Teck – QB2, verano 2015.....	3.2.10-237

PLANOS

Plano 3.2.10-01	Estaciones de Muestreo de Oceanografía Física
Plano 3.2.10-02	Estaciones de Muestreo de Oceanografía Química
Plano 3.2.10-03	Estaciones de Muestreo de Sedimentos Intermareales

ANEXOS

- Anexo 3.2.10-1 Validación de Mediciones Instrumentales (Modelo Hidrodinámico Hycom), Reportes de Registro de Datos de Oceanografía Física (Verano, Otoño, Invierno y Primavera 2015) y Resolución SHOA Ordinario N°13270/24/376/Vrs.
- Anexo 3.2.10-2 Tabla Comparativa para Calidad del Agua de Mar en Estudios de Línea de Base Ambiental Cercanos al Área Costera Evaluada (Archivo digital).
- Anexo 3.2.10-3 Reporte de Datos CTDO y Reportes y Acreditaciones de Laboratorios de Análisis de Muestras de Agua y Sedimentos. Oceanografía Química. Verano, Otoño, Invierno y Primavera 2015 (Archivos digitales).



**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL
PROYECTO MINERO QUEBRADA BLANCA FASE 2**

**CAPÍTULO 3.2.10
“LÍNEA DE BASE RECURSOS HÍDRICOS MARINOS”**

TQB14016-REP-MA-0255

3 LÍNEA DE BASE

3.2 MEDIO FÍSICO

3.2.10 Recursos Hídricos Marinos

En esta sección, se presenta la caracterización de la Línea de Base del componente Recursos Hídricos Marinos, en el área de influencia del Proyecto “Quebrada Blanca Fase 2”. El proyecto comprende la construcción de las obras requeridas para la instalación de un muelle y una planta desalinizadora de agua de mar en el borde costero del sector norte de Punta Patache.

Con el objeto de proporcionar los antecedentes ambientales necesarios para respaldar la presentación de un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) asociado al proyecto, y así acreditar el cumplimiento de la normativa ambiental vigente en el país, se caracterizó y evaluó una serie de aspectos químicos y oceanográficos del medio marino con incidencia en la evaluación ambiental del Proyecto.

El presente informe de Línea de Base, proporciona los principales resultados de cuatro campañas realizadas durante el año 2015; verano, otoño, invierno y primavera, entregándose estos en dos subsecciones correspondientes a Oceanografía física y Oceanografía química. La dinámica costera fue evaluada mediante pruebas de correntometría euleriana, lagrangiana (derivadores), corrientes litorales, dispersión con trazadores químicos (rodamina WT), vientos, marea y olas, los que se complementaron con registros de corrientes mediante la técnica de *Bottom tracking* (ADCP remolcado). Por otra parte, el medio químico marino fue evaluado en lo que respecta a las matrices calidad del agua y sedimentos intermareales y submareales.

3.2.10.1 Oceanografía Física

3.2.10.1.1 Introducción

El objetivo central de la Línea de Base de Oceanografía física fue caracterizar desde un punto de vista físico y oceanográfico (dinámica costera), el borde costero aledaño al emplazamiento del Proyecto.

Se realizaron 4 campañas de mediciones físicas, una campaña de verano (realizada entre el 17 de febrero y 29 de marzo 2015), una campaña de otoño (18 y 19 de junio 2015), campaña de invierno (realizada entre 7 de agosto y 10 de septiembre del 2015) y campaña de primavera (12 de noviembre 2015). Durante la campaña estival e invernal se midieron corrientes eulerianas, corrientes lagrangianas, deriva litoral, dispersión con trazadores químicos, vientos, mareas, correlaciones cruzadas, mediciones de olas locales y se realizó mediciones de corrientes en modalidad *Bottom track* (BT). Durante la campaña de otoño y primavera 2015 solo se realizaron mediciones físicas en la modalidad BT.

Las campañas de mediciones de correntimetría Euleriana, mareas y olas se realizaron considerando períodos de sicigia y cuadratura lunar. Estas mediciones se efectuaron mediante el anclaje (fondeo) de un perfilador de corrientes acústico Doppler (ADCP, marca Teledyne RD Instruments, modelo Workhorse Sentinel 614,4 kHz), en un punto con las siguientes coordenadas:

- Campaña verano 2015, coordenada Este: 375.925 y coordenada Norte: 7.701.033 (Datum WGS - 84).
- Campaña Invierno 2015, coordenada Este: 375.923 y coordenada Norte: 7.700.997 (Datum WGS - 84).

Para ambas campañas, el ADCP fue instalado en el veril de 31,0 metros aproximadamente, con respecto al Nivel de Reducción de Sondas (NRS), y a 0,5 metros sobre el fondo marino, y fue programado para medir la dirección y magnitud de las corrientes a través de la columna de agua, determinándose 37 capas de medición (de 0,75 metros de espesor cada una de ellas). Paralelamente se midió la magnitud e intensidad del viento y se efectuaron experiencias de dispersión con rodamina WT.

Adicionalmente, se efectuaron experiencias de medición con ADCP en la modalidad *Bottom Tracking* (técnica con ADCP remolcado) en el sector de estudio durante verano, otoño e invierno con el objeto de complementar las mediciones puntuales de dinámica costera y proporcionar información sobre el patrón de circulación costera en el área de interés. A continuación se entrega un resumen de los principales resultados y aspectos más relevantes de las mediciones físicas efectuadas en el ámbito de esta línea de base marina.

3.2.10.1.2 Objetivos

a) Objetivo General

El objetivo general de la presente Línea de Base es caracterizar desde un punto de vista físico y oceanográfico (dinámica costera), el borde costero aledaño al emplazamiento del Proyecto.

b) Objetivos Específicos

- Caracterizar la oceanografía física mediante la medición de: corrientes marinas, vientos, mareas y olas.
- Visualizar las relaciones causa efecto entre las variables caracterizadas mediante un análisis de correlación cruzada.
- Caracterizar la variabilidad de las corrientes en condición de marea sicigia, mediante la medición de corrientes en modalidad *Bottom Track* (BT), generando un modelo conceptual de circulación en el sector de Bahía Patache.

3.2.10.1.3 Determinación y Justificación del Área de Influencia

El Área de Influencia para el componente Recursos Hídricos Marinos, fue establecida en base a la definición contenida en el Artículo 2 del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (D.S. N° 40/2012), según el cual “el área de influencia es el área o espacio geográfico cuyos elementos naturales o socioculturales deben ser considerados con la finalidad de definir si el proyecto o actividad genera alguno de los efectos, características o circunstancias del Artículo 11 de la Ley o bien para justificar la inexistencia de dichos efectos, características o circunstancias”.

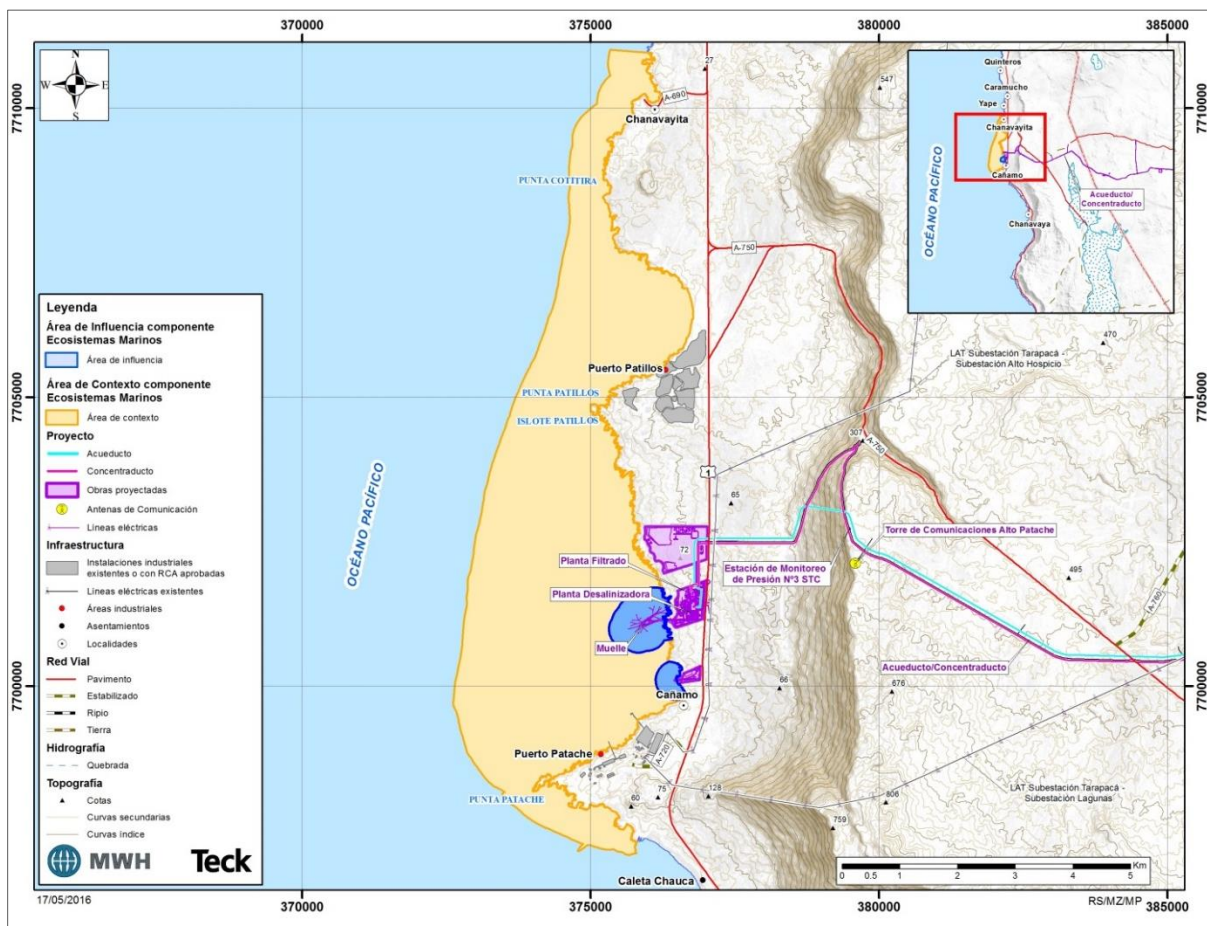
Este análisis fue realizado sobre los aspectos ambientales que potencialmente podrían interactuar con los elementos del ambiente marino que se incluyen en el literal e.1 del Artículo 18 del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (RSEIA), D.S N° 40/2012 del Ministerio del Medio Ambiente, modificado por el D.S. N° 8/2014 y D.S. N° 63/2014, referidos a los recursos hídricos marinos, como la batimetría, corrientes, mareas, oleaje y calidad de agua y sedimentos.

En ese contexto, la definición del Área de Influencia para el componente Recursos Hídricos Marinos considera los potenciales impactos sobre este componente, enfocada principalmente a la alteración de las condiciones de calidad del agua presentes en el cuerpo marino receptor del efluente salino (salmuera) producido por la operación del Sistema de Desalinización de agua de mar (Planta Desalinizadora) que el Proyecto contempla dentro de sus actividades. Otro aspecto ambiental identificado es la posible generación de resuspensión de sedimentos durante las actividades de construcción de las obras marinas. Estas y otras actividades consideradas en el contexto del desarrollo del Proyecto, se concentran específicamente en el Área Puerto, y consecuentemente se encuentran directamente relacionadas con el área de influencia del

componente Ecosistemas Marinos, descrito en el acápite 2.3.4 del capítulo 2 “Determinación y Justificación de Área de Influencia”.

Al respecto, y en el marco de los antecedentes de la Descripción de Proyecto, de la Línea de Base (desarrollada en un área de contexto que se extiende desde Chanavayita por el norte, hasta Playa Chauca, por el sur) y de los resultados de la Evaluación de los Impactos asociados al emplazamiento de las partes, obras y/o acciones del Proyecto sobre el componente Recursos Hídricos que el Proyecto pueda generar sobre las condiciones basales de la calidad de agua de mar y de los sedimentos; se determinaron dos (02) Áreas de Influencia, las cuales se concentran en el medio marino del Área Puerto. La primera de ellas está asociada a la ubicación y actividades a desarrollarse en el contexto del Muelle de Embarque de Concentrado, los emplazamientos de los Sistemas de Captación y de Descarga de efluente salino (salmuera), y tiene una superficie de 88,805 ha; en tanto que la segunda corresponde a la ubicación del emplazamiento de la Estructura de Lanzamiento (Lanzadera), tiene una superficie de 24,317 ha, y ha sido establecida únicamente para el periodo de Construcción del Proyecto. Tal como lo muestra la Figura 3.2.10-1, ambas áreas se disponen en el entorno marino propiamente dicho, totalizando de manera conjunta una superficie 113,122 ha.

Figura 3.2.10-1. Área de Influencia para Recursos Hídricos Marinos



Fuente: Elaboración propia

3.2.10.1.4 Metodología

En la Tabla 3.2.10-1 siguiente se listan las coordenadas UTM (WGS – 84) de las estaciones de muestreo realizadas en las campañas. El Plano 3.2.10-1 entrega un detalle de la localización del área costera evaluada.

Tabla 3.2.10-1. Cuadro de coordenadas – campaña verano e invierno 2015

Oceanografía Física				
Estaciones	UTM Norte	UTM Este	Estudios realizados	Fecha actividad
Verano				
Vientos	7.699.573	376.486	Estación Meteorológica	18/02/15 a 07/04/15
ADCP	7.701.033	375.925	Correntometría Euleriana / Olas / Marea	17/02/15 a 29/03/15
D1	7.701.332	375.680	Correntometría Lagrangiana	22/03/15 (sicigia lunar) 29/03/15 (cuadratura lunar)
D2	7.700.777	375.906		
D3	7.701.153	376.106		
ROD1	7.700.907	375.640	Dispersión	23/03/15 (sicigia lunar) 29/03/15 (cuadratura lunar)
ROD2	7.701.039	375.936		
DL1	7.701.622	376.199	Deriva litoral	22/03/15 (sicigia lunar) 29/03/15 (cuadratura lunar)
DL2	7.701.133	376.294		
DL3	7.700.559	376.372		
Invierno				
Vientos	7.699.573	376.486	Estación Meteorológica	06/08/15 a 10/09/15
ADCP	7.700.997	375.923	Correntometría Euleriana / Olas / Marea	07/08/15 a 10/09/15
D1	7.701.332	375.681	Correntometría Lagrangiana	16/08/15 (sicigia lunar) 22/08/15 (cuadratura lunar)
D2	7.700.802	375.890		
D3	7.701.123	376.078		
ROD1	7.700.894	375.600	Dispersión	16/08/15 (sicigia lunar) 22/08/15 (cuadratura lunar)
ROD2	7.701.053	375.925		
DL1	7.701.622	376.199	Deriva litoral	16/08/15 (sicigia lunar) 22/08/15 (cuadratura lunar)
DL2	7.701.133	376.294		
DL3	7.700.559	376.372		

Fuente: Elaboración propia.

a) Corrientes marinas

a.1) Corrientes eulerianas

La campaña de mediciones de corrientes Eulerianas considerada en la campaña de verano se realizó entre el 17 de febrero y 29 de marzo de 2015. El equipo medidor presentó un vacío en el registro de los datos entre el 21 y 24 de febrero, no obstante se obtuvo una serie de datos de 37 días efectivos. La campaña de invierno considerada en el presente estudio se realizó entre los el 07 de agosto y 10 de septiembre de 2015 (considerando los períodos de sicigia y cuadratura lunar).

Estas mediciones se efectuaron mediante el anclaje (fondeo) de un perfilador de corrientes acústico Doppler (ADCP, marca Teledyne RD Instruments, modelo Workhorse Sentinel 614,4 kHz), en un punto con las siguientes coordenadas:

- Campaña de Verano: Coordenada Este: 375.925; Coordenada Norte: 7.701.033 (Datum WGS - 84).
- Campaña de Invierno: Coordenada Este: 375.923; Coordenada Norte: 7.700.997 (Datum WGS - 84).

Para ambas campañas, el ADCP fue instalado en el veril de 31,0 metros aproximadamente, con respecto al Nivel de Reducción de Sondas (NRS), y a 0,5 metros sobre el fondo marino. Este instrumento fue programado para medir la dirección y magnitud de las corrientes a través de la columna de agua, determinándose 37 capas de medición (de 0,75 metros de espesor cada una de ellas). La Tabla 3.2.10-2 resume esta información:

Tabla 3.2.10-2. Capas de medición estudio de corrientes con ADCP. Campaña de verano e invierno 2015.

Capa	Centro de capa desde el fondo marino (m)	Límite superior de la capa desde el fondo marino (m)
1	2,37	2,75
2	3,12	3,50
3	3,87	4,25
4	4,62	5,00
5	5,37	5,75
6	6,12	6,50
7	6,87	7,25
8	7,62	8,00
9	8,37	8,75
10	9,12	9,50
11	9,87	10,25
12	10,62	11,00
13	11,37	11,75
14	12,12	12,50
15	12,87	13,25
16	13,62	14,00
17	14,37	14,75
18	15,12	15,50
19	15,87	16,25
20	16,62	17,00
21	17,37	17,75
22	18,12	18,50
23	18,87	19,25
24	19,62	20,00
25	20,37	20,75
26	21,12	21,50
27	21,87	22,25
28	22,62	23,00
29	23,37	23,75
30	24,12	24,50
31	24,87	25,25
32	25,62	26,00
33	26,37	26,75
34	27,12	27,50
35	27,87	28,25

Capa	Centro de capa desde el fondo marino (m)	Límite superior de la capa desde el fondo marino (m)
36	28,62	29,00
37	29,37	29,75

Transductores desde el fondo marino = 0,5 m

1st. Bin = 1,87 m (centro de 1ª capa desde transductores)

1st. Bin = 2,37 m (centro de 1ª capa desde el fondo marino)

Bin Size = 0,75 m

Fuente: Elaboración propia

Capas de medición estudio de corrientes con ADCP. Campaña de verano e invierno 2015.

El análisis de la información consistió en procesar 3 capas características de la columna de agua (capa superficial, intermedia y de fondo). De esta manera, las capas analizadas fueron las siguientes:

- Capa 37 (superficie): Capa centrada a 29,37 metros desde el fondo
- Capa 19 (intermedia): Capa centrada a 15,87 metros desde el fondo
- Capa 1 (fondo): Capa centrada a 2,37 metros desde el fondo

Como los registros de la dirección de las corrientes son referidos originalmente al norte magnético, éstos fueron referidos al norte geográfico, empleándose para tal efecto la corrección de desviación magnética local (- 4°, fuente: www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#declination). Con la información registrada (datos cada 10 minutos), se elaboró series de tiempo horaria (Anexo 3.2.10-1, Corrientes Eulerianas Horarias TECK Ver15).

La información de corrientes fue sometida a un análisis estadístico de frecuencias por rangos de dirección y magnitud para una rosa náutica de 8 direcciones (tabla e histograma). Por su parte, las series horarias (Anexo 3.2.10-1) fueron sometidas a un análisis de series de tiempo (estadística básica de componentes, dispersión, Diagrama de Vector Progresivo y espectral). En este último caso, para la construcción de los espectros de frecuencia se utilizó algoritmo para la Transformada Rápida de Fourier (FFT) implementada en software de libre acceso llamado Scilab (www.scilab.org).

En el análisis de frecuencia, las corrientes con magnitudes inferiores a 1 cm/s fueron consideradas calmas, debido a que éstas son muy débiles y poco significativas en los procesos dinámicos del mar.

Finalmente, con el objeto de visualizar las relaciones causa – efecto entre los forzantes vientos y marea, se realizó un análisis de correlación cruzada.

a.2) Corrientes Lagrangianas

El estudio de correntometría con derivadores se realizó en el área costera evaluada, con puntos de lance en períodos de sicigia y cuadratura lunar, y condición mareal de llenante y vaciante. Las fechas y puntos de lanzamiento aproximados fueron los siguientes:

Durante la campaña de verano los días 22 de marzo de 2015 (sicigia lunar) y 29 de marzo de 2015 (cuadratura lunar), por su parte durante la campaña de invierno los días 16 de agosto de 2015 (sicigia lunar) y 22 de agosto de 2015 (cuadratura lunar). Las coordenadas de los puntos de lance durante ambas campañas son los que se muestran en la Tabla 3.2.10-3.

Tabla 3.2.10-3. Coordenadas UTM (Datum WGS-84) de puntos de lance de correntometría Lagrangiana.

Punto de medición	Coordenadas UTM (Datum WGS 84) verano 2015	
	Este	Norte
Punto 1	375.680	7.701.332
Punto 2	375.906	7.700.777
Punto 3	376.106	7.701.153
Punto de medición	Coordenadas UTM (Datum WGS 84) invierno 2015	
	Este	Norte
Punto 1	375.681	7.701.332
Punto 2	375.890	7.700.802
Punto 3	376.078	7.701.123

Fuente: Elaboración propia

En cada punto se desplegaron derivadores del tipo veleta cruzada con un área de arrastre efectiva de 0,64 m², a nivel superficial y 5 metros de superficie. Cada derivador constaba además de un mástil solidario al elemento de flotación, en el cual se dispusieron pequeñas banderolas identificadoras de diferentes colores. El recorrido de los derivadores fue seguido desde una embarcación y posicionado mediante sistema GPS. Para el lanzamiento y seguimiento de los derivadores se consideró el apoyo de una embarcación tipo *Zodiac*, con una eslora de 5,0 m. A partir de las sucesivas posiciones que asume el derivador en cada lance se determinó la dirección y magnitud de la corriente asociadas, confeccionándose tablas resumen para cada punto en particular (Anexo 3.2.10-1 Derivadores TECK Ver15 y TECK Inv15).

a.3) Deriva litoral

El estudio de corrientes litorales constó con 3 estaciones de lance (ver Plano 3.2.10-1). Estos lances se realizaron en 2 períodos diferentes (sicigia y cuadratura lunar) y en cada uno de estos se evaluó las corrientes litorales en fases de marea llenante y vaciante. En cada estación se desplegaron elementos derivadores (botellas de deriva) con boyantes neutra. El recorrido y posicionamiento de las botellas fue seguido desde tierra mediante GPS. Las mediciones de verano se realizaron los días 22 y 29 de marzo de 2015 (sicigia y cuadratura lunar, respectivamente) y las mediciones de invierno se realizaron los días 16 y 22 de agosto de 2015 (sicigia y cuadratura lunar, respectivamente). Las estaciones de lance de las botellas de deriva corresponden a los que se indican en la Tabla 3.2.10-4 para cada campaña estacional:

Tabla 3.2.10-4. Coordenadas UTM (Datum WGS-84) de puntos de lance de deriva litoral.

Punto de medición	Coordenadas UTM (Datum WGS – 84) verano 2015	
	Este	Norte
Punto 1	376.199	7.701.622
Punto 2	376.294	7.701.133
Punto 3	376.372	7.700.559
Punto de medición	Coordenadas UTM (Datum WGS – 84) invierno 2015	
	Este	Norte
Punto 1	376.199	7.701.622
Punto 2	376.294	7.701.133
Punto 3	376.372	7.700.559

Fuente: Elaboración propia

b) Dispersión con trazadores químicos (Rodamina WT)

La capacidad de dispersión y dilución de un contaminante o partícula depende del transporte generado por el sistema de corrientes locales, los vientos predominantes y el grado de difusión estimado a través del gradiente de concentración de un trazador, donde se asume un comportamiento pasivo de este, lo que implica que la distribución del trazador depende exclusivamente de los forzantes físicos y no existe reacción con el agua.

Este estudio fue desarrollado utilizando rodamina WT como trazador, efectuando las mediciones en dos estaciones de muestreo: campaña de verano 2015, los días 23 y 29 de marzo de 2015; campaña de invierno 2015, los días 16 y 22 de agosto de 2015, bajo condiciones de sicigia y cuadratura lunar, respectivamente. Para ello se instaló un sistema de medición en una embarcación menor.

Se seleccionaron los puntos de inyección de la rodamina en el área costera evaluada (Plano 3.2.10-1) y se realizaron un total de 2 lances de rodamina WT, según las fases de marea (llenante y vaciante), en cada estación, donde los lances 1 y 2 corresponden a la Estación Roda 1 y los lances 3 y 4 se realizaron en la Estación Roda 2, para cada fase lunar. Las coordenadas UTM (Datum WGS84) correspondientes a los puntos de lance por campaña son los siguientes:

Tabla 3.2.10-5. Coordenadas UTM (Datum WGS-84) de puntos de lance de rodamina WT.

Punto de medición	Coordenadas UTM (Datum WGS – 84) verano 2015	
	Este	Norte
Estación Rod 1	375.640	7.700.907
Estación Rod 2	375.936	7.701.039
Punto de medición	Coordenadas UTM (Datum WGS – 84) invierno 2015	
	Este	Norte
Estación Rod 1	375.600	7.700.894
Estación Rod 2	375.925	7.701.053

Fuente: Elaboración propia

En cada lance se agregaron 15 ml de rodamina WT, que se diluyeron en un bidón con 60 l de agua de mar del punto de inyección. Con esto se obtuvo una concentración final de 250.000 ppb de rodamina. Esta solución fue agregada manualmente al mar en el punto de inyección, registrándose la coordenada y hora (Tabla 3.2.10-6). Después de esperar un par de minutos para su dispersión, se realizaron transectos de medición a lo largo y ancho de la mancha, registrando la concentración de rodamina, fecha y hora, cada un segundo. Paralelamente se registró las posiciones de entrada y salida de la mancha con GPS.

Tabla 3.2.10-6. Caracterización de condiciones de lances de rodamina WT. Campañas de verano e invierno 2015.

Campaña de Verano 2015						
Lance	Fase Lunar	Fecha	Hora	Latitud (UTM)	Longitud (UTM)	Marea
1	Sicigia	23.03.2015	10:34:00	7.700.907	375.640	Llenante
2		23.03.2015	13:54:10	7.700.907	375.640	Vacante
3		23.03.2015	10:52:47	7.701.039	375.936	Llenante
4		23.03.2015	14:11:10	7.701.039	375.936	Vacante
1	Cuadratura	29.03.2015	11:10:00	7.700.907	375.640	Vacante
2		29.03.2015	15:23:00	7.700.907	375.640	Llenante
3		29.03.2015	10:49:30	7.701.039	375.936	Vacante
4		29.03.2015	15:03:00	7.701.039	375.936	Llenante
Campaña de Invierno 2015						
Lance	Fase Lunar	Fecha	Hora	Latitud (UTM)	Longitud (UTM)	Marea
1	Sicigia	16.08.2015	10:19:50	7.700.894	375.600	Llenante
2		16.08.2015	11:57:36	7.700.894	375.600	Vacante
3		16.08.2015	10:41:30	7.701.053	375.925	Llenante
4		16.08.2015	11:39:30	7.701.053	375.925	Vacante
1	Cuadratura	22.08.2015	14:17:35	7.700.894	375.600	Llenante
2		22.08.2015	16:08:40	7.700.894	375.600	Vacante
3		22.08.2015	13:57:23	7.701.053	375.925	Vacante
4		22.08.2015	15:44:00	7.701.053	375.925	Llenante

Lances 1 y 2: Estación Roda 1; Lances 3 y 4: Estación Roda 2.

Fuente: Elaboración propia

Para la cuantificación de la rodamina WT se utilizó un Fluorómetro de campo, marca RBR modelo XR – 620 CTD / Seapoint Rhodamine Fluorometer, alimentado con baterías de 12 volts. La información *in situ* colectada por el Fluorómetro (*i.e.*, concentración en ppb, fecha y hora) fue registrada en la memoria sólida de un PC con una frecuencia de 1 segundo. Durante las mediciones en terreno se monitoreó la trayectoria de las manchas desde su punto de lance, con posicionamientos tomados con un GPS diferencial. Previo al lanzamiento, se verificó la dirección del movimiento del agua superficial y el valor de base de la fluorescencia del agua de mar (*background*). La información colectada fue procesada trazando isolíneas de igual concentración,

lo cual permite reconstituir las manchas seleccionando aquellas lecturas que muestran una mayor dispersión de las concentraciones en la zona de dispersión en forma precisa. Con esta información se pueden estimar los coeficientes de dispersión total utilizando la metodología propuesta por Okubo (1971), según el cual, la difusión es función del cuadrado de la desviación estándar de la concentración, la cual tiene un comportamiento anisotrópico (Okubo, 1980; Carter y Okubo, 1965), lo que da como resultado un aumento del área ocupada por la mancha en dirección del flujo promedio que la transporta (*i.e.*, del tiempo o la distancia recorrida). Por lo tanto, conociendo la varianza de los radios (rc) de un círculo de área equivalente a una mancha, dadas por diferentes isolíneas de concentración, tenemos

$$\sigma^2 = (rc - rc')^2 / (n - 1)$$

Donde rc' es el radio equivalente promedio, n es número de observaciones dados por cada isolínea dentro de la mancha en un tiempo dado, lo que permite calcular la difusividad, en términos del coeficiente de dispersión K_a , siendo σ^2 la varianza de un área equivalente a un círculo de diferentes isolíneas de concentración en una misma mancha a un tiempo “ t ”, determinado por el momento de la observación del área.

c) Vientos

Las mediciones de vientos fueron efectuadas por una estación meteorológica instalada en el área costera evaluada, en las siguientes coordenadas: Coordenada Este: 376.486; Coordenada Norte: 7.699.573 (Plano 3.2.10-1, Datum WGS – 84).

El instrumento utilizado corresponde a una estación marca YOUNG modelo 05103 Marine, de registro en memoria sólida, programado para obtener una observación promedio cada 10 minutos.

Las mediciones de verano se iniciaron el día 18 de febrero de 2015 hasta el 07 de abril de 2015 y las mediciones de invierno se iniciaron el 6 de agosto de 2015 hasta el 10 de septiembre de 2015. Un listado de las observaciones horarias registradas por esta estación se presenta en el Anexo 3.2.10-1 (Vientos Horarios TECK Ver15 e Inv15).

Los vientos fueron procesados a través de un análisis de frecuencia de magnitud y dirección (rosa de 8 direcciones) en términos de estadística básica, ciclo diario y espectral.

En el análisis de frecuencia, los vientos con magnitudes medias inferiores a 1 m/s fueron considerados calmas, debido a que éstos son muy débiles y poco importantes dentro del proceso de transferencia de energía desde la atmósfera al océano.

d) Marea

La campaña de mediciones de alturas del nivel del mar (marea), campaña de verano se efectuó entre los días 17 de febrero al 29 de marzo de 2015, mientras que la campaña de invierno se efectuó entre el 7 de agosto al 10 de septiembre de 2015 (Anexo 3.2.10-1, Marea TECK Ver15 e Inv15). El instrumento utilizado en estas mediciones fue un perfilador de corrientes acústico

Doppler (ADCP, marca Teledyne RD Instruments, modelo Workhorse Sentinel 614,4 kHz), en un punto con las siguientes coordenadas:

- Campaña de verano 2015

Coordenada Este: 375.925; Coordenada Norte: 7.701.033 (Datum WGS – 84)

- Campaña de invierno 2015

Coordenada Este: 375.923; Coordenada Norte: 7.700.997 (Datum WGS – 84)

Este instrumento corresponde al mismo empleado en las mediciones de corrientes Eulerianas (ADCP), el que cuenta con un sensor de presión que permite medir las variaciones que experimenta el nivel de las aguas en el punto de fondeo del mismo (presión absoluta o altura real).

e) Mediciones locales de olas

Para caracterizar las condiciones de oleaje *in situ* del sector de estudio, se efectuaron mediciones continuas de altura, periodo y dirección de olas, por un periodo de 37 días en verano y 34 días en el invierno. Estas mediciones se realizaron con un medidor de olas direccional marca TRD Instruments, modelo Workhorse Sentinel 614,4 kHz (el mismo empleado en las mediciones de corrientes), en un punto con las siguientes coordenadas:

- Campaña de verano 2015

Coordenada Este: 375.925; Coordenada Norte: 7.701.033 (Datum WGS – 84)

- Campaña de invierno 2015

Coordenada Este: 375.923; Coordenada Norte: 7.700.997 (Datum WGS – 84)

El ADCP fue instalado en el veril de 31,0 metros aproximadamente, con respecto al Nivel de Reducción de Sondas (NRS), y a 0,5 metros sobre el fondo marino.

La Tabla 3.2.10-7 presenta la configuración del instrumento para todas las campañas:

Tabla 3.2.10-7. Parámetros de configuración del instrumento. Verano e invierno 2015.

Instrumento	ADCP modelo WHS 614,4 kHz – Teledyne RD Instruments.
Profundidad (NRS)	31,0 m aprox.
Fecha instalación	17 febrero de 2015 en verano y 07 agosto de 2015 en invierno
Fecha retiro	29 marzo de 2015 en verano y 10 septiembre de 2015 en invierno
Altura sensor desde el fondo	0,5 m
Intervalo entre burst de olas	3 horas
Frecuencia de muestreo olas	2 Hz

Sistema de referencia	Norte magnético
Huso horario	Z + 3

Fuente: Elaboración propia

Una vez recuperados los datos crudos del medidor de olas direccionales, estos fueron procesados utilizando el software WavesMon versión 3.08, software desarrollado por RD Instruments para el procesamiento de datos de olas direccionales. Siguiendo la sugerencia del fabricante (Teledyne RD Instruments), se procesó los datos con metodologías diferentes (espectro de velocidad, espectro de presión) para ver cuál reducía el ruido en las series de tiempo. Como conclusión de este proceso, se determinó que los datos más confiables se obtenían al utilizar el espectro de velocidad para calcular los parámetros del oleaje.

Así, los parámetros para el procesamiento de las olas fueron los que figuran en la Tabla 3.2.10-8:

Tabla 3.2.10-8. Parámetros de procesamiento de olas.

Frecuencia de corte inferior	0,03 Hz
Frecuencia de corte superior	0,40Hz
Espectro utilizado para calcular parámetros de oleaje	Espectro de Velocidad

Fuente: Elaboración propia

f) Análisis de la información

Con el objeto de visualizar las relaciones causa efecto entre variables, los registros de corrientes Eulerianas (capa superficial, intermedia y de fondo), marea y vientos, fueron sometidos a un análisis de correlación cruzada.

g) Estudio del Patrón de Circulación (condición sinóptica)

Las mediciones de verano se efectuaron el 23 y 24 de marzo, las mediciones de otoño los días 18 y 19 de junio, el invierno se efectuó el día 7 de septiembre y las mediciones de primavera se realizaron el 14 de noviembre del 2015 (todas cercana a sicigia lunar). Se desarrollaron mediciones de marea, corrientes marinas, dirección y magnitud del viento (Figura 3.2.10-2), en el sector costero entre Pta. Patache por el sur y Pta. Patillo por el norte, en la costa sur de Iquique.

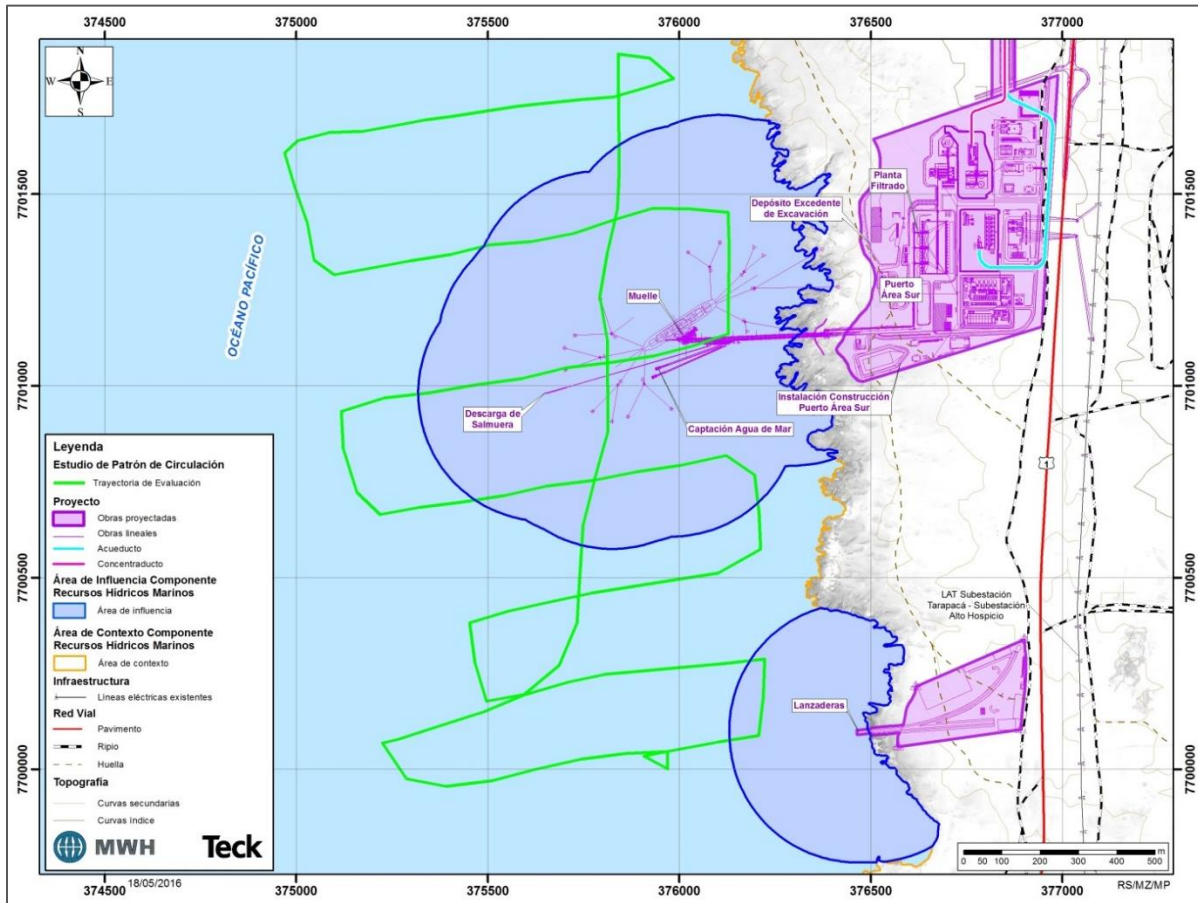
Para realizar las mediciones de marea y corroborar el estado de marea llenante y vaciante, se utilizó un sensor de presión, marca HOB0 de la compañía ONSET, cuyo rango de medición varía entre 0 a 9 m de profundidad (Figura 3.2.10-3) y para la programación *a priori* del horario de medición, se utilizó los pronósticos de la Tabla de Marea del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA). La magnitud y dirección del viento fue obtenida utilizando una estación meteorológica marca YOUNG, modelo 05103 Marine programada para obtener valores cada 10 minutos, durante el periodo de medición (Figura 3.2.10-4) utilizando los datos procesados cada una hora. Las mediciones de corrientes marinas fueron obtenidas utilizando un ADCP marca Teledyne RDI de 307,2 kHz de frecuencia, con *firmware* de *Bottom Track* para obtener corrientes mientras se navega a una velocidad no superior a 5 nudos. Este

instrumento fue configurado para medir corrientes con una resolución vertical de 1 m, permitiendo obtener la primera celda a 3,96 m de profundidad (~4 m desde superficie) y la última a ~ 30,96 m de profundidad (Figura 3.2.10-5). Las variaciones del compás magnético del ADCP fueron corregidas utilizando los datos del GPS diferencial (Trump y Marmorino, 1997) y Joyce (1989). Los datos de velocidad de la corriente erróneos fueron removidos siguiendo el procedimiento explicado por Valle – Levinson & Atkinson (1999). Los datos fueron filtrados cada 30 segundos, e interpolados utilizando el método geo-estadístico de estimación de puntos en una grilla llamado RBF de su sigla en inglés “Radial Basis Function” para obtener una mejor representación espacial, interpolando a través del método multi – cuadrático que es considerado uno de los mejores métodos de interpolación de forma de mantener su tendencia y magnitud eliminando los datos que están sobre dos desviaciones estándares.

Los datos de dirección de la corriente fueron referidos al norte geográfico incluyendo dentro de la programación la corrección magnética local (-4°, fuente: www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#declination).

Para geo-referenciar la trayectoria de navegación (Figura 3.2.10-2) y las mediciones de corriente, se utilizaron dos GPS diferenciales marca Trimble, modelo 5700. Uno para geo-referenciar la trayectoria de navegación utilizando el *software* licenciado HYPACK, y el otro para geo-referenciar las mediciones de corrientes, utilizando el *software* de adquisición de datos de corrientes a tiempo real WINRIVER I (Figura 3.2.10-5).

Figura 3.2.10-2. Trayectoria de navegación realizado en condición de marea llenante y vaciante, durante las campañas de verano, otoño, invierno y primavera 2015.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-3. Mareógrafo marca HOBO, de la compañía ONSET, cuyo rango de medición es 0 a 9 m.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-4. Estación meteorológica marca YOUNG, modelo 05103 Marine.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-5. Adquisición de datos de corrientes marinas utilizando ADCP de 307,2 kHz, en tiempo real utilizando el software licenciado HYPACK y GPS diferencial marca Trimble modelo 5700.



Fuente: Elaboración propia

3.2.10.1.5 Resultados

Los estudios de corrientes fueron sometidos a inspección en terreno y revisión en gabinete por parte del SHOA, en el Anexo 3.2.10-1 se entrega copia de la resolución SHOA que otorga valor Oceanográfico a los estudios efectuados por Costasur (SHOA Ordinario 13270/24/376/Vrs, de 08 de julio de 2016). Lo anterior se informa para verificar el cumplimiento de la Pub. SHOA N°3201, 3ª Ed., diciembre de 2012.

a) Corrientes marinas

a.1) Corrientes Eulerianas

- Verano
 - Capa Superficie

A nivel superficial, las corrientes observadas presentaron un patrón de comportamiento direccional dominado por las direcciones asociadas al 1^{er} cuadrante. Así, las mayores ocurrencias se registraron en las direcciones N y NE (37,5% y 24,1%, respectivamente). El resto de las direcciones se agrupó entre 1,9% (dirección S) y 12,6% (dirección NO, Figura 3.2.10-6 y Tabla 3.2.10-9).

Las magnitudes medias registradas se agruparon en torno a los 9,3 cm/s (desviación estándar de 5,1 cm/s). En particular, la dirección N mostró la mayor magnitud promedio, con un valor de 11,2 cm/s. Por su parte, las máximas velocidades detectadas fueron de 31,1 cm/s (0,60 nudos), 30,0 cm/s (0,58 nudos) y 28,7 cm/s (0,56 nudos) asociadas a las direcciones NE, NO y N, respectivamente (Tabla 3.2.10-9).

La mayor ocurrencia de magnitud se registró en el rango de 4,1 a 7,0 cm/s, con un porcentaje de 22,2%. En tanto que el rango 7,1 cm/s a 10,0 cm/s agrupó un 20,0% de las mediciones (Tabla 3.2.10-9).

Las corrientes registradas en esta capa se mostraron de mediana a alta intensidad, encontrándose un 1,2% de la información sobre 22,0 cm/s. Por último, se encontró un 1,5% de las mediciones bajo 1,0 cm/s (Tabla 3.2.10-9).

Tabla 3.2.10-9. Frecuencia de incidencia y excedencia de corrientes. Nivel superficial. Campaña verano 2015.

Velocidad (cm/s)	Frecuencia de incidencia de corrientes								TOTAL
	Direcciones								
	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	
<= 1,0	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	1,5
1,1 - 4,0	2,9	2,8	1,9	1,1	1,1	1,3	2,2	2,6	15,9
4,1 - 7,0	5,4	5,0	2,6	0,7	0,6	1,3	2,9	3,7	22,2
7,1 - 10,0	7,3	5,3	1,7	0,3	0,2	0,8	1,9	2,7	20,0

Velocidad	Frecuencia de incidencia de corrientes								
	Direcciones								TOTAL
(cm/s)	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	
10,1 - 13,0	8,2	4,4	0,6	0,2	0,1	0,2	1,0	2,0	16,7
13,1 - 16,0	7,1	3,4	0,2	0,1	0,1	0,2	0,4	1,0	12,5
16,1 - 19,0	4,7	1,8	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,5	7,3
19,1 - 22,0	1,5	0,8	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	2,7
> 22,0	0,5	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,2
Total Efectivo	37,5	24,1	7,3	2,5	1,9	4,0	8,6	12,6	98,5
Máximo (cm/s)	28,7	31,1	24,4	17,1	19,4	20,6	27,4	30,0	31,1
Promedio (cm/s)	11,2	10,1	6,6	5,5	4,7	6,3	6,9	7,9	9,3

Velocidad	Frecuencia de excedencia de corrientes								
	Direcciones								TOTAL
(cm/s)	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	
> 22,0	0,5	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,2
> 19,0	2,0	1,4	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	3,9
> 16,0	6,7	3,2	0,2	0,1	0,0	0,2	0,2	0,6	11,2
> 13,0	13,8	6,6	0,4	0,1	0,1	0,3	0,7	1,7	23,7
> 10,0	22,0	11,0	1,1	0,3	0,2	0,6	1,6	3,7	40,5
> 7,0	29,2	16,3	2,7	0,6	0,3	1,3	3,5	6,4	60,4
> 4,0	34,7	21,3	5,3	1,4	0,9	2,7	6,4	10,0	82,6
> 1,0	37,5	24,1	7,3	2,5	1,9	4,0	8,6	12,6	98,5

Fuente: Elaboración propia

Para el análisis de las corrientes como series de tiempo, éstas fueron reducidas a series horarias, calculándose las respectivas componentes ortogonales. Así, se definen las componentes U y V de la siguiente manera:

Componente U: Este – Oeste, positiva si el flujo va hacia el Este.

Componente V: Norte – Sur, positiva si el flujo va hacia el Norte.

Las series de tiempo de componentes ortogonales, fueron sometidas a un análisis estadístico básico, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 3.2.10-10. Estadísticas de series ortogonales. Nivel superficial. Campaña verano 2015.

Componente	Mínimo Absoluto (cm/s)	Máximo Absoluto (cm/s)	Promedio (cm/s)	Desv. St. (cm/s)
U	0,0	19,7	0,9	5,4
V	0,0	25,4	6,3	6,4

Fuente: Elaboración propia

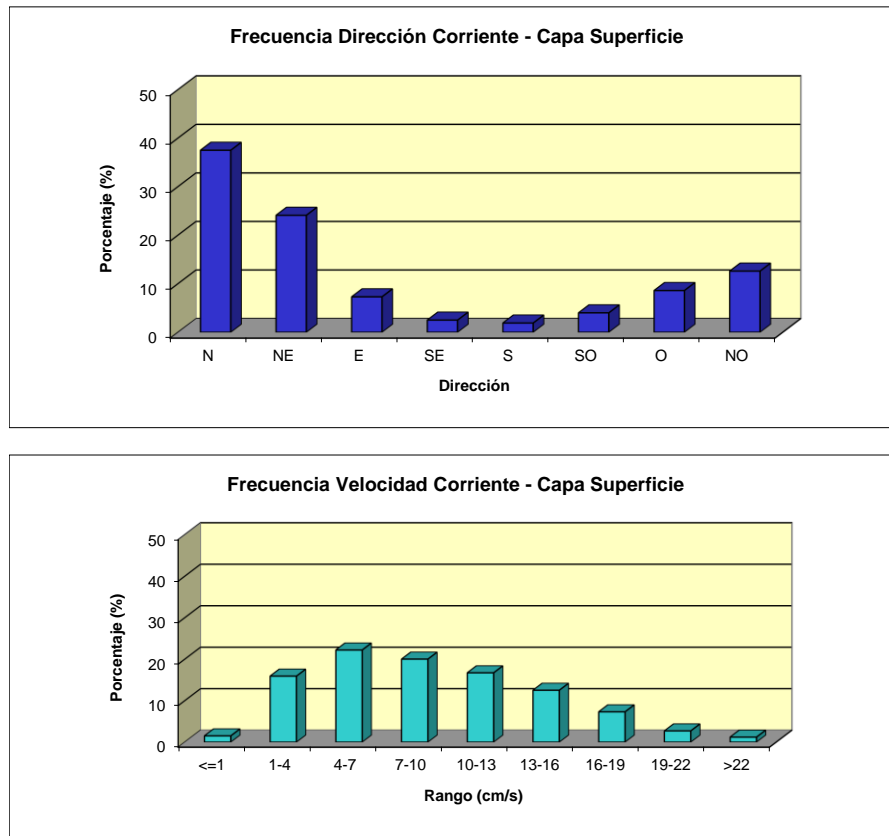
La Figura 3.2.10-7 muestra el diagrama de dispersión de las corrientes (magnitud v/s dirección). Se observa una tendencia de las corrientes a agruparse en torno al 1^{er} cuadrante. Los estadísticos expuestos evidencian que la corriente neta tiende a fluir hacia la dirección N (componente promedio U positiva y componente promedio V positiva y muy superior en términos de magnitud).

Con el objeto de corroborar lo anterior, y suponiendo que la corriente observada es espacialmente homogénea y presenta similares fluctuaciones temporales en ese espacio, es posible explicar el comportamiento de una partícula de agua a través de un diagrama de vector progresivo (DVP). El diagrama de vector progresivo (Figura 3.2.10-8) evidencia una tendencia general de las corrientes a adoptar un flujo direccional neto hacia el N (7,7°).

Por último, y para determinar el comportamiento de la corriente en el dominio de la frecuencia, se implementó y aplicó un análisis estadístico de tipo espectral (12 grados de libertad y 95% de confianza) utilizando el software de libre acceso llamado Scilab (www.scilab.org). Este análisis permite determinar la cantidad de energía (densidad espectral) que se encuentra asociada a las distintas bandas de frecuencia (período).

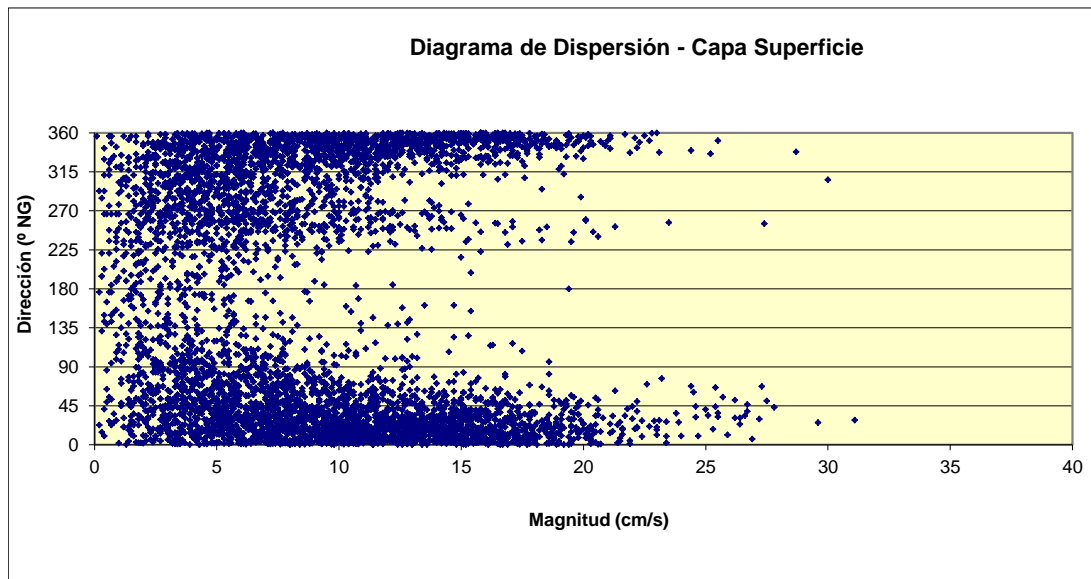
En los espectros presentados en la Figura 3.2.10-9, se observa mayor contenido de energía en la componente V respecto de la componente U, en prácticamente todas las bandas de frecuencia. También se observó energía en las bandas semi-diurna y diurna (0,08 y 0,04 cph, respectivamente). Estos picos de energía podrían ser atribuidos a los forzantes marea y vientos, respectivamente.

Figura 3.2.10-6. Histograma de frecuencia de dirección y velocidad de corrientes. Capa superficial. Campaña verano 2015.



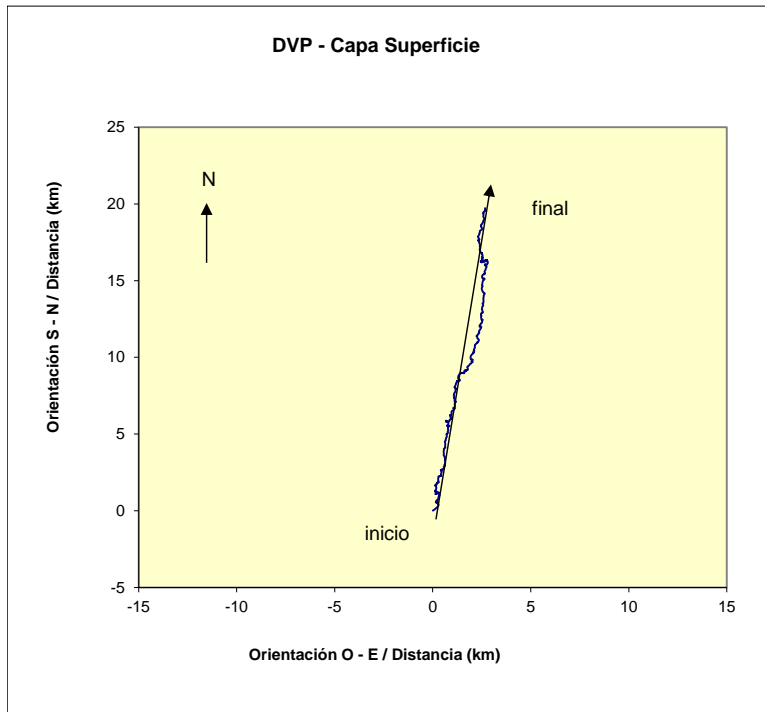
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-7. Diagrama de dispersión dirección versus magnitud, capa superficial. Campaña verano 2015.



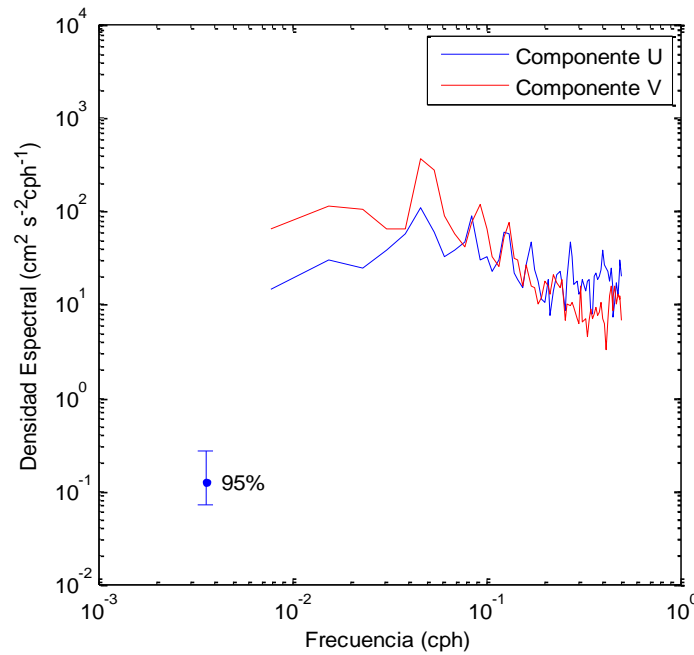
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-8. Diagrama de vector progresivo. Capa superficial. Campaña verano 2015.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-9. Autoespectros de corrientes. Capa superficial. Campaña verano 2015.



Fuente: Elaboración propia

- Capa Intermedia

En este nivel, las corrientes observadas presentaron un patrón de comportamiento diferente al detectado en la capa más superficial. A saber, se observó un predominio de las direcciones asociadas al 2^{do} cuadrante, esto es, direcciones S y SE (17,5% y 16,6%, respectivamente). El resto de las direcciones se agrupó entre 5,6% (dirección O) y 13,3% (direcciones NE y E, Figura 3.2.10-10 y Figura 3.2.10-11, incidencia). Las magnitudes medias registradas se agruparon en torno a los 4,7 cm/s (desviación estándar de 2,4 cm/s). La dirección N mostró la mayor magnitud promedio, con un valor de 5,1 cm/s. Las máximas velocidades detectadas fueron de 16,2 cm/s (0,31 nudos) y 15,3 cm/s (0,30 nudos) asociadas a las direcciones N, E y SO, respectivamente (Figura 3.2.10-11).

La mayor ocurrencia de magnitud se registró en el rango de 1,1 a 4,0 cm/s, con un porcentaje de 43,7%. El rango 4,1 cm/s a 7,0 cm/s agrupó un 37,0% de las mediciones (Figura 3.2.10-10). Las corrientes registradas en esta capa se mostraron de mediana a baja intensidad, encontrándose un 0,2% de la información sobre 13,0 cm/s. Se encontró un 4,3% de las mediciones bajo 1,0 cm/s (Figura 3.2.10-11, excedencia).

Tabla 3.2.10-11. Frecuencia de incidencia y excedencia de corrientes. Nivel intermedio. Campaña verano 2015.

Velocidad (cm/s)	FRECUENCIA DE INCIDENCIA DE CORRIENTES								TOTAL
	Direcciones								
	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	
<= 1,0	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6	0,4	4,3
1,1 - 4,0	4,6	6,3	6,6	7,2	6,6	5,3	3,6	3,4	43,7
4,1 - 7,0	4,7	4,6	4,9	6,9	7,7	4,5	1,7	1,9	37
7,1 - 10,0	1,8	1,7	1,5	2	2,8	1,6	0,3	0,5	12,3
10,1 - 13,0	0,5	0,6	0,2	0,4	0,5	0,3	0	0,1	2,5
13,1 - 16,0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0,2
16,1 - 19,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19,1 - 22,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
> 22,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Efectivo	11,6	13,3	13,3	16,6	17,5	11,8	5,6	5,9	95,7
Máximo (cm/s)	16,2	14,7	15,3	14,2	12	15,3	10,1	11,6	16,2
Promedio (cm/s)	5,1	4,9	4,4	4,7	5	4,7	3,8	4	4,7
Velocidad (cm/s)	FRECUENCIA DE EXCEDENCIA DE CORRIENTES								TOTAL
	Direcciones								
	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	
> 22,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
> 19,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
> 16,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
> 13,0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0,2
> 10,0	0,5	0,7	0,2	0,4	0,5	0,3	0	0,1	2,7
> 7,0	2,3	2,4	1,7	2,4	3,2	1,9	0,3	0,6	14,9

Velocidad	FRECUENCIA DE INCIDENCIA DE CORRIENTES								
	Direcciones								TOTAL
(cm/s)	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	
> 4,0	7	7	6,7	9,4	10,9	6,4	2	2,5	52
> 1,0	11,6	13,3	13,3	16,6	17,5	11,8	5,6	5,9	95,7

Fuente: Elaboración propia

Las series de tiempo de componentes ortogonales mostraron los siguientes resultados:

Tabla 3.2.10-12. Estadísticas de series ortogonales. Capa o nivel intermedio. Campaña verano 2015.

Componente	Mínimo Absoluto (cm/s)	Máximo Absoluto (cm/s)	Promedio (cm/s)	Desv. St. (cm/s)
u	0,0	15,3	0,8	3,1
v	0,0	15,2	-0,6	3,9

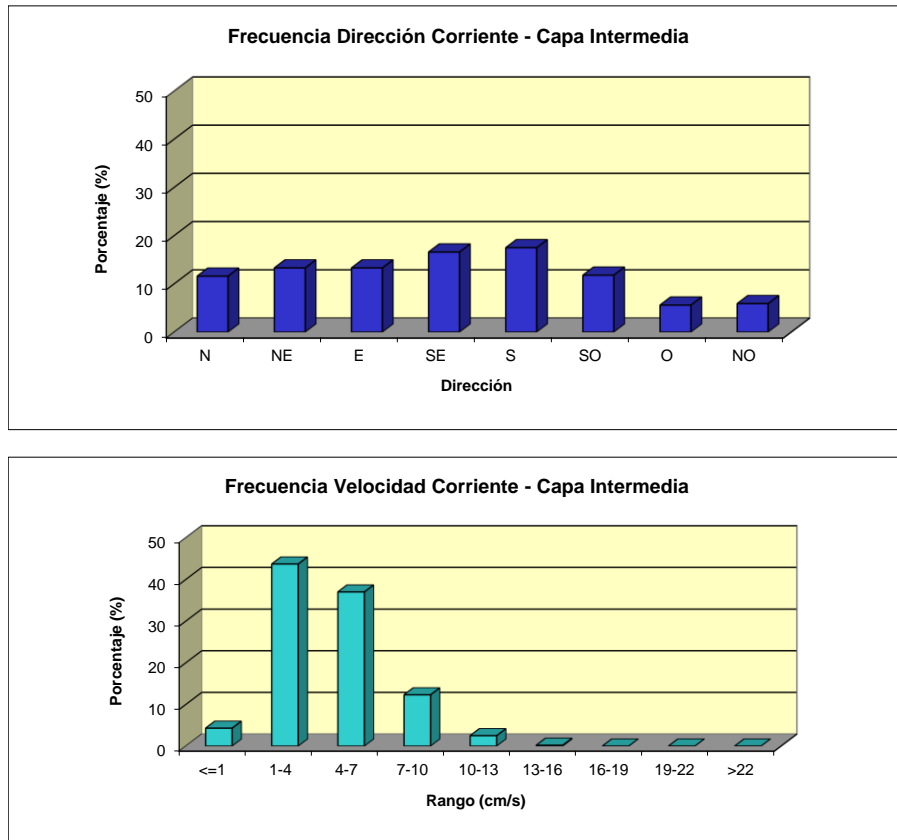
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.2.10-11 se observa una cierta tendencia de las corrientes a agruparse en torno al 2^{do} cuadrante. Los estadísticos expuestos evidencian que la corriente neta tiende a fluir hacia la dirección SE (componente promedio U positiva y componente promedio V negativa, siendo ambas de similar magnitud).

El diagrama de vector progresivo (Figura 3.2.10-12) evidencia una tendencia general de las corrientes a adoptar un flujo direccional neto hacia el SE (127,0°).

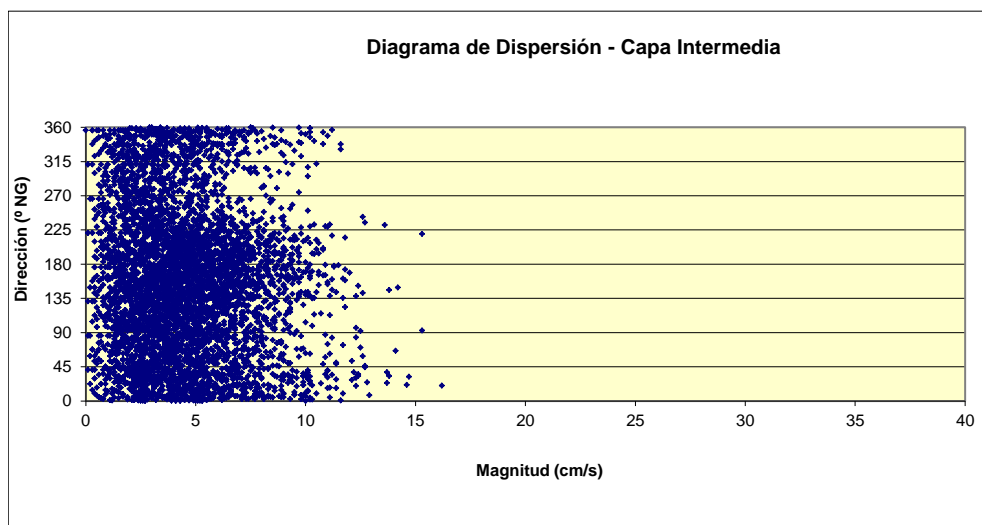
En los espectros presentados en la Figura 3.2.10-13, se observó bajo contenido de energía en ambas componentes.

Figura 3.2.10-10. Histograma de frecuencia de dirección y velocidad de corrientes. Capa intermedia. Campaña verano 2015.



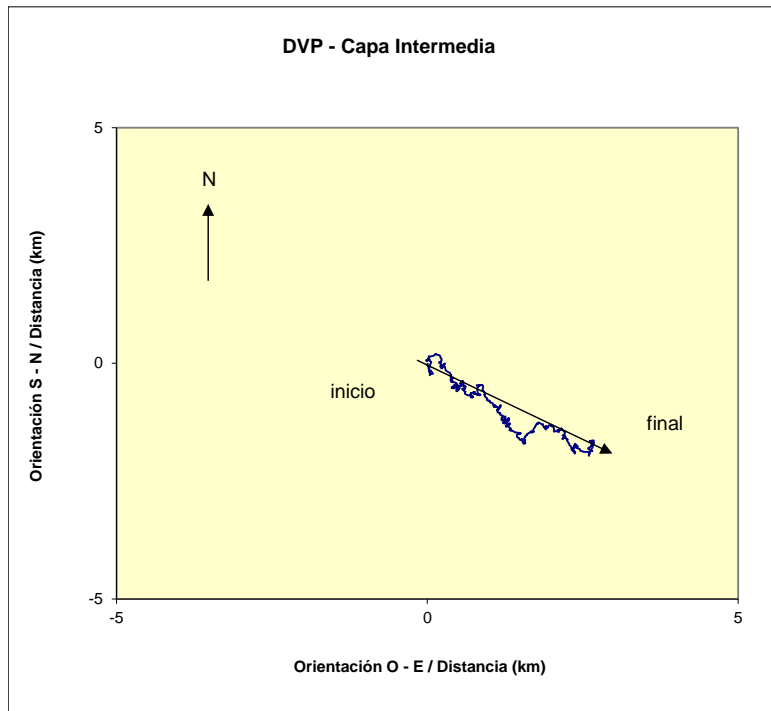
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-11. Diagrama de dispersión dirección versus magnitud, capa intermedia. Campaña verano 2015.



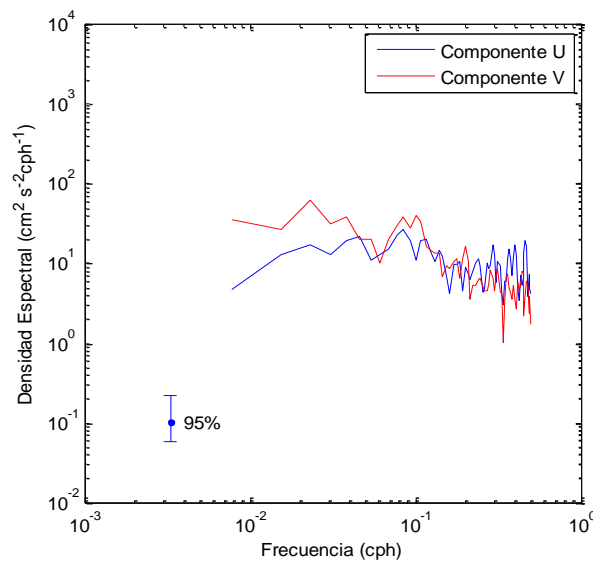
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-12. Diagrama de vector progresivo. Capa intermedia. Campaña verano 2015.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-13. Autoespectros de corrientes. Capa intermedia. Campaña verano 2015.



Fuente: Elaboración propia

▪ Capa Fondo

Las corrientes presentaron un predominio de las direcciones asociadas al 3^{er} cuadrante. Las mayores ocurrencias se registraron en las direcciones SO y O (18,0% y 16,5%, respectivamente). El resto de las direcciones se agrupó entre 7,6% (dirección NO) y 12,2% (dirección S, Figura 3.2.10-14).

Las magnitudes medias registradas se agruparon en torno a los 5,2 cm/s (desviación estándar de 3,2 cm/s). La dirección O mostró la mayor magnitud promedio, con un valor de 7,2 cm/s. Las máximas velocidades detectadas fueron de 26,1 cm/s (0,51 nudos) y 18,3 cm/s (0,36 nudos) asociadas a las direcciones O y SO, respectivamente (Tabla 3.2.10-13).

La mayor ocurrencia de magnitud se registró en el rango de 1,1 a 4,0 cm/s, con un porcentaje de 40,5%. En tanto que el rango 4,1 cm/s a 7,0 cm/s agrupó un 33,8% de las mediciones (Figura 3.2.10-14). Las corrientes registradas durante este período de mediciones se mostraron de mediana intensidad, encontrándose un 0,1% de la información sobre 22,0 cm/s. Por último, se encontró un 4,6% de las mediciones bajo 1,0 cm/s (Tabla 3.2.10-13).

Tabla 3.2.10-13. Frecuencia de incidencia y excedencia de corrientes. Nivel profundo. Campaña verano 2015.

Velocidad	FRECUENCIA DE INCIDENCIA DE CORRIENTES								
	Direcciones								TOTAL
(cm/s)	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	
<= 1,0	0,6	0,4	0,8	0,5	0,6	0,6	0,6	0,4	4,6
1,1 - 4,0	4,3	4,8	5,4	5,4	5,7	6,5	4,7	3,6	40,5
4,1 - 7,0	3,1	3,7	4,2	4,1	4,9	6,4	4,7	2,5	33,8
7,1 - 10,0	0,7	1,3	1,8	1,1	1,4	3,5	3,1	1,0	13,8
10,1 - 13,0	0,2	0,1	0,5	0,3	0,1	1,3	1,8	0,3	4,6
13,1 - 16,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	1,3	0,0	1,7
16,1 - 19,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,1	0,6
19,1 - 22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,3
> 22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1
Total Efectivo	8,3	10,0	11,9	11,0	12,2	18,0	16,5	7,6	95,4
Máximo (cm/s)	12,8	14,3	15,1	14,1	11,5	18,3	26,1	17,4	26,1
Promedio (cm/s)	4,3	4,5	4,9	4,5	4,5	5,6	7,2	4,8	5,2
Velocidad	FRECUENCIA DE EXCEDENCIA DE CORRIENTES								
	Direcciones								TOTAL
(cm/s)	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	
> 22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1
> 19,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,3
> 16,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,1	1,0
> 13,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	2,2	0,1	2,7
> 10,0	0,2	0,2	0,5	0,3	0,1	1,6	3,9	0,4	7,3
> 7,0	0,9	1,4	2,3	1,4	1,6	5,1	7,0	1,5	21,1

Velocidad	FRECUENCIA DE INCIDENCIA DE CORRIENTES								
	Direcciones								TOTAL
(cm/s)	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	
> 4,0	4,0	5,2	6,5	5,5	6,5	11,5	11,7	4,0	54,9
> 1,0	8,3	10,0	11,9	11,0	12,2	18,0	16,5	7,6	95,4

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 3.2.10-14 muestra los resultados de las series de tiempo de componentes ortogonales:

Tabla 3.2.10-14. Estadísticas de series ortogonales. Capa o nivel profundo. Campaña verano 2015.

Componente	Mínimo Absoluto (cm/s)	Máximo Absoluto (cm/s)	Promedio (cm/s)	Desv. St. (cm/s)
u	0,0	23,4	-1,0	4,7
v	0,0	10,4	-0,7	3,4

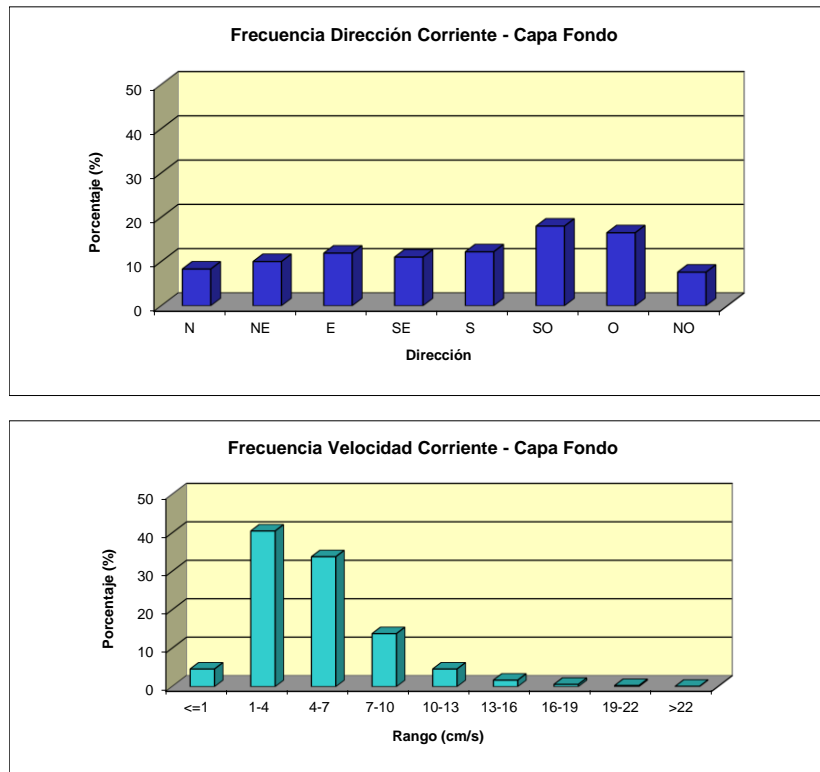
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.2.10-15 se observa una tendencia de las corrientes a agruparse en torno a las direcciones asociadas al 3^{er} cuadrante. Los estadísticos expuestos evidencian que la corriente neta tiende a fluir hacia la dirección SO (componente promedio U negativa y componente promedio V negativa, siendo esta última de menor magnitud).

El diagrama de vector progresivo (Figura 3.2.10-16) evidencia una tendencia general de las corrientes a adoptar un flujo direccional neto hacia el SO (235,1°).

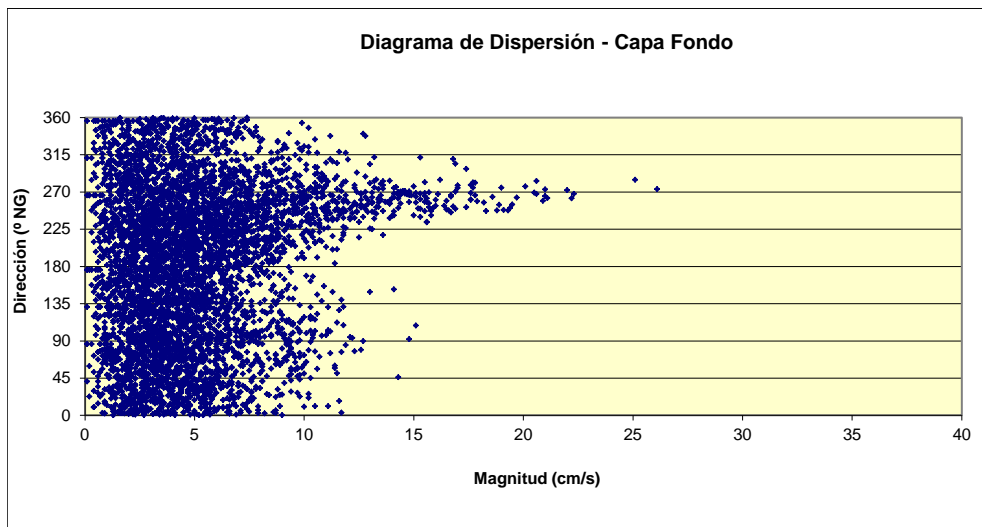
En los espectros presentados en la Figura 3.2.10-17, no se observa contenido de energía en las componentes U y V para las bandas de frecuencia diurna y semidiurna.

Figura 3.2.10-14. Histograma de frecuencia de dirección y velocidad de corrientes, capa fondo. Campaña verano 2015.



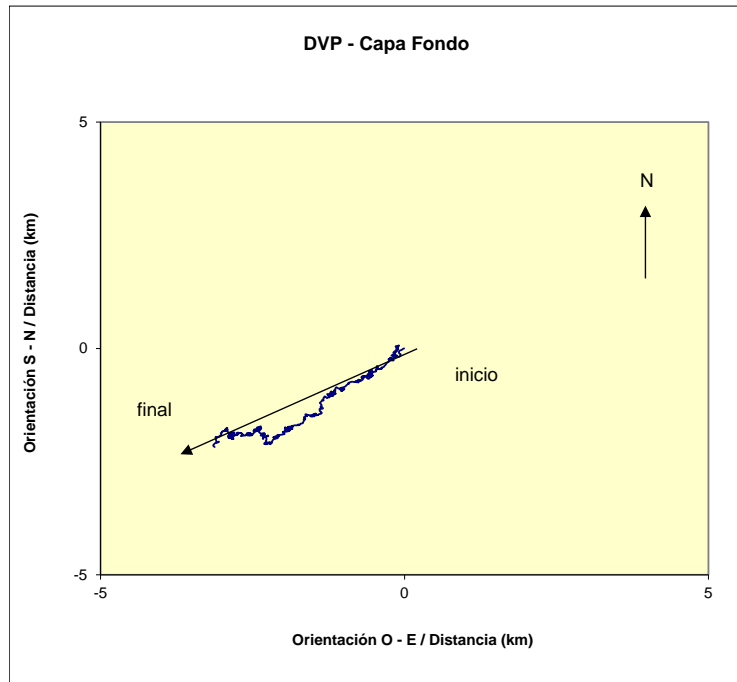
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-15. Diagrama de dispersión dirección versus magnitud, capa fondo. Campaña verano 2015.



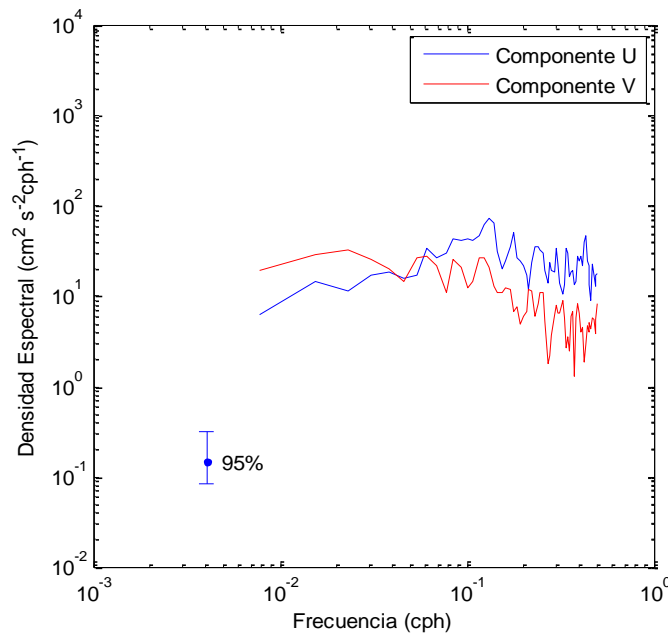
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-16. Diagrama de vector progresivo. Capa fondo. Campaña verano 2015.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-17. Autoespectros de corrientes, capa fondo. Campaña verano 2015.



Fuente: Elaboración propia

- Invierno

- Capa Superficie

A nivel superficial, las corrientes observadas presentaron un patrón de comportamiento direccional dominado por las direcciones asociadas al 1^{er} cuadrante. Así, las mayores ocurrencias se registraron en las direcciones NE, N y E (30,9%, 22,7% y 13,4%, respectivamente). El resto de las direcciones se agrupó entre 4,8% (dirección S) y 9,3% (dirección NO, Tabla 3.2.10-15 y Figura 3.2.10-18).

Las magnitudes medias registradas se agruparon en torno a los 9,9 cm/s (desviación estándar de 5,7 cm/s). En particular, la dirección NE mostró la mayor magnitud promedio, con un valor de 11,5 cm/s. Por su parte, las máximas velocidades detectadas fueron de 50,9 cm/s (0,99 nudos), 45,2 cm/s (0,88 nudos) y 38,8 cm/s (0,75 nudos) asociadas a las direcciones S, SE y SO, respectivamente (Tabla 3.2.10-16).

La mayor ocurrencia de magnitud se registró en el rango de 7,1 a 10,0 cm/s, con un porcentaje de 22,0%. En tanto que el rango 4,1 cm/s a 7,0 cm/s agrupó un 21,1% de las mediciones (Figura 3.2.10-18).

Las corrientes registradas en esta capa se mostraron de mediana a alta intensidad, encontrándose un 3,3% de la información sobre 22,0 cm/s (Tabla 3.2.10-15, frecuencia de excedencia). Por último, se encontró un 0,9% de las mediciones bajo 1,0 cm/s (Tabla 3.2.10-15, frecuencia de incidencia).

Tabla 3.2.10-15. Frecuencia de incidencia y excedencia de corrientes. Nivel superficial. Campaña invierno 2015.

Velocidad (cm/s)	Frecuencia de incidencia de corrientes								TOTAL
	Direcciones								
	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	
<= 1,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,9
1,1 - 4,0	2,1	2,4	1,9	1,1	1,3	1,2	1,4	2,1	13,6
4,1 - 7,0	4,2	4,4	3,2	1,4	1,1	1,4	2,2	3,0	21,1
7,1 - 10,0	5,0	6,7	3,1	1,1	0,8	1,4	1,7	2,1	22,0
10,1 - 13,0	4,5	6,5	2,3	0,9	0,5	0,7	0,9	1,1	17,5
13,1 - 16,0	3,3	5,1	1,4	0,4	0,3	0,5	0,5	0,4	12,0
16,1 - 19,0	1,8	2,8	0,8	0,1	0,2	0,2	0,1	0,3	6,2
19,1 - 22,0	0,9	1,6	0,4	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	3,3
> 22,0	0,8	1,3	0,2	0,1	0,4	0,2	0,0	0,2	3,3
Total Efectivo	22,7	30,9	13,4	5,4	4,8	5,8	7,0	9,3	99,1
Máximo (cm/s)	37,0	38,6	34,6	45,2	50,9	38,8	22,3	36,4	50,9
Promedio (cm/s)	10,7	11,5	9,3	8,4	9,2	9,0	7,5	7,5	9,9

Velocidad	Frecuencia de excedencia de corrientes								TOTAL
	Direcciones								
(cm/s)	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	
> 22,0	0,8	1,3	0,2	0,1	0,4	0,2	0,0	0,2	3,3
> 19,0	1,7	2,9	0,6	0,2	0,5	0,4	0,1	0,2	6,7
> 16,0	3,6	5,7	1,4	0,3	0,7	0,6	0,2	0,5	12,9
> 13,0	6,8	10,8	2,8	0,8	1,0	1,1	0,7	0,9	24,9
> 10,0	11,3	17,3	5,1	1,7	1,5	1,8	1,6	2,0	42,4
> 7,0	16,4	24,0	8,2	2,8	2,3	3,2	3,4	4,1	64,4
> 4,0	20,5	28,5	11,5	4,2	3,4	4,7	5,6	7,1	85,5
> 1,0	22,7	30,9	13,4	5,4	4,8	5,8	7,0	9,3	99,1

Fuente: Elaboración propia

Para el análisis de las corrientes como series de tiempo, éstas fueron reducidas a series horarias, calculándose las respectivas componentes ortogonales. Así, se definen las componentes U y V de la siguiente manera:

Componente U: Este – Oeste, positiva si el flujo va hacia el Este.

Componente V: Norte – Sur, positiva si el flujo va hacia el Norte.

Las series de tiempo de componentes ortogonales, fueron sometidas a un análisis estadístico básico, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 3.2.10-16. Estadísticas de series ortogonales. Nivel superficial. Campaña invierno 2015.

Componente	Mínimo Absoluto (cm/s)	Máximo Absoluto (cm/s)	Promedio (cm/s)	Desv. St. (cm/s)
u	0,0	27,7	2,6	6,7
v	0,0	42,8	4,5	7,5

Fuente: Elaboración propia

La Figura 3.2.10-18 muestra el diagrama de dispersión de las corrientes (magnitud v/s dirección). Se observa una tendencia de las corrientes a agruparse en torno al 1^{er} cuadrante. Los estadísticos expuestos evidencian que la corriente neta tiende a fluir hacia la dirección N – NE (componente promedio U positiva y componente promedio V positiva y superior en términos de magnitud).

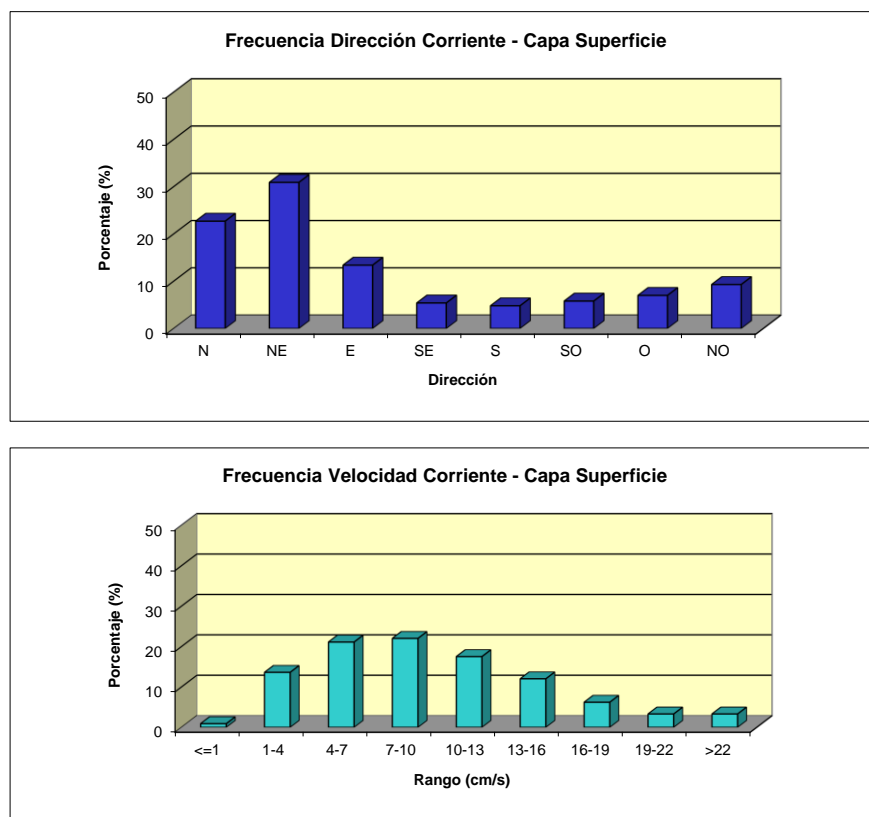
Con el objeto de corroborar lo anterior, y suponiendo que la corriente observada es espacialmente homogénea y presenta similares fluctuaciones temporales en ese espacio, es posible explicar el comportamiento de una partícula de agua a través de un diagrama de vector progresivo (DVP). El diagrama de vector progresivo (Figura 3.2.10-19) evidencia una tendencia general de las corrientes a adoptar un flujo direccional neto hacia el N - NE (30,6°).

Por último, y para determinar el comportamiento de la corriente en el dominio de la frecuencia, se implementó y aplicó un análisis estadístico de tipo espectral (12 grados de libertad y 95% de

confianza) utilizando el software de libre acceso llamado Scilab (www.scilab.org). Este análisis permite determinar la cantidad de energía (densidad espectral) que se encuentra asociada a las distintas bandas de frecuencia (período).

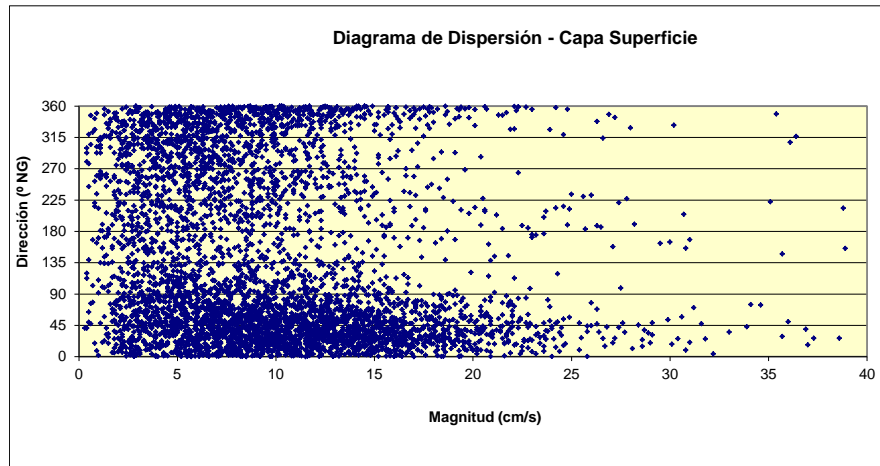
En los espectros presentados en la Figura 3.2.10-21, se observa mayor contenido de energía en la componente V respecto de la componente U, en prácticamente todas las bandas de frecuencia. También se observó energía en las bandas semi-diurna y diurna (0,08 y 0,04 cph, respectivamente). Estos picos de energía podrían ser atribuidos a los forzantes marea y vientos, respectivamente.

Figura 3.2.10-18. Histograma de frecuencia de dirección y velocidad de corrientes. Capa superficial. Campaña invierno 2015.



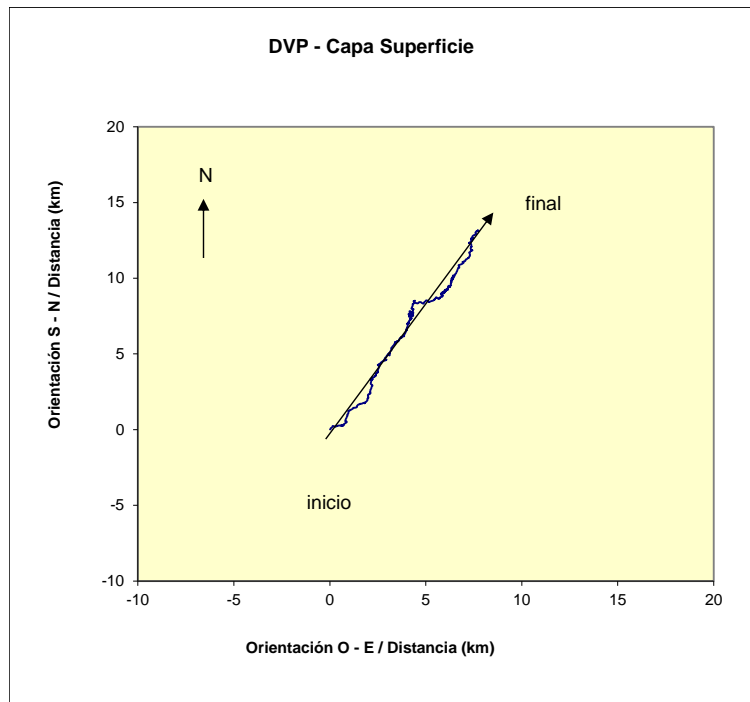
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-19. Diagrama de dispersión dirección versus magnitud, capa superficial. Campaña invierno 2015.

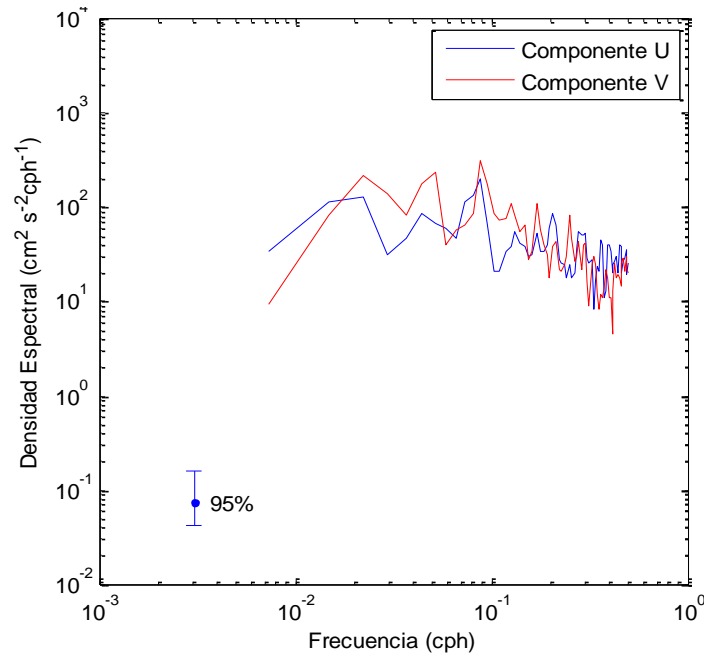


Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-20. Diagrama de vector progresivo. Capa superficial. Campaña invierno 2015.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-21. Autoespectros de corrientes. Capa superficial. Campaña invierno 2015.

Fuente: Elaboración propia

- Capa Intermedia

Las corrientes observadas a este nivel presentaron un patrón diferente al detectado en la capa más superficial, con un predominio de las direcciones asociadas al 2^{do} y 1^{er} cuadrante, esto es, direcciones S, NE, SE y E (17,5%, 15,6%, 14,4% y 12,7%, respectivamente). El resto de las direcciones se agrupó entre 6,6% (dirección NO) y 12,0% (dirección N, Figura 3.2.10-22 Tabla 3.2.10-17, incidencia). Las magnitudes medias registradas se agruparon en torno a los 5,2 cm/s (desviación estándar de 3,2 cm/s), y la dirección NE mostró la mayor magnitud promedio con 5,7 cm/s. Las máximas velocidades detectadas fueron de 44,2 cm/s (0,86 nudos) y 34,9 cm/s (0,68 nudos) asociadas al N y NE, respectivamente (Tabla 3.2.10-18). La mayor ocurrencia de magnitud se registró en el rango de 1,1 a 4,0 cm/s con 40,6%. El rango 4,1 cm/s a 7,0 cm/s agrupó un 36,5% de las mediciones (Figura 3.2.10-22). Las corrientes registradas en esta capa se mostraron de mediana intensidad, encontrándose un 0,4% de la información sobre 22,0 cm/s. Se encontró un 3,4% de las mediciones bajo 1,0 cm/s (Tabla 3.2.10-17, excedencia).

Tabla 3.2.10-17. Frecuencia de incidencia y excedencia de corrientes. Nivel intermedio. Campaña invierno 2015.

Velocidad	FRECUENCIA DE INCIDENCIA DE CORRIENTES								TOTAL
	Direcciones								
(cm/s)	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	
<= 1,0	0,4	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	3,4
1,1 - 4,0	5,0	5,9	5,7	6,0	6,3	4,9	3,3	3,6	40,6
4,1 - 7,0	4,8	5,5	4,7	5,6	7,3	3,9	2,6	2,2	36,5
7,1 - 10,0	1,5	2,9	1,7	2,1	2,7	1,6	0,7	0,6	13,7
10,1 - 13,0	0,4	0,7	0,6	0,5	0,8	0,4	0,2	0,1	3,7
13,1 - 16,0	0,1	0,3	0,1	0,1	0,4	0,2	0,0	0,1	1,2
16,1 - 19,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,3
19,1 - 22,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
> 22,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
Total Efectivo	12,0	15,6	12,7	14,4	17,5	11,0	6,8	6,6	96,6
Máximo (cm/s)	44,2	34,9	33,0	26,0	29,6	20,0	12,8	18,2	44,2
Promedio (cm/s)	5,3	5,7	5,0	5,0	5,5	5,1	4,4	4,4	5,2
Velocidad	FRECUENCIA DE EXCEDENCIA DE CORRIENTES								TOTAL
	Direcciones								
(cm/s)	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	
> 22,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
> 19,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,6
> 16,0	0,3	0,3	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,9
> 13,0	0,4	0,6	0,1	0,2	0,5	0,2	0,0	0,1	2,1
> 10,0	0,7	1,3	0,7	0,7	1,3	0,6	0,2	0,2	5,8
> 7,0	2,2	4,2	2,4	2,8	4,0	2,2	0,9	0,8	19,4
> 4,0	7,0	9,7	7,1	8,3	11,3	6,1	3,4	3,0	55,9
> 1,0	12,0	15,6	12,7	14,4	17,5	11,0	6,8	6,6	96,6

Fuente: Elaboración propia

Las series de tiempo de componentes ortogonales mostraron los resultados que presenta la Tabla 3.2.10-18:

Tabla 3.2.10-18. Estadísticas de series ortogonales. Capa o nivel intermedio. Campaña invierno 2015.

Componente	Mínimo Absoluto (cm/s)	Máximo Absoluto (cm/s)	Promedio (cm/s)	Desv. St. (cm/s)
u	0,0	23,3	0,8	3,6
v	0,0	27,1	-0,5	4,5

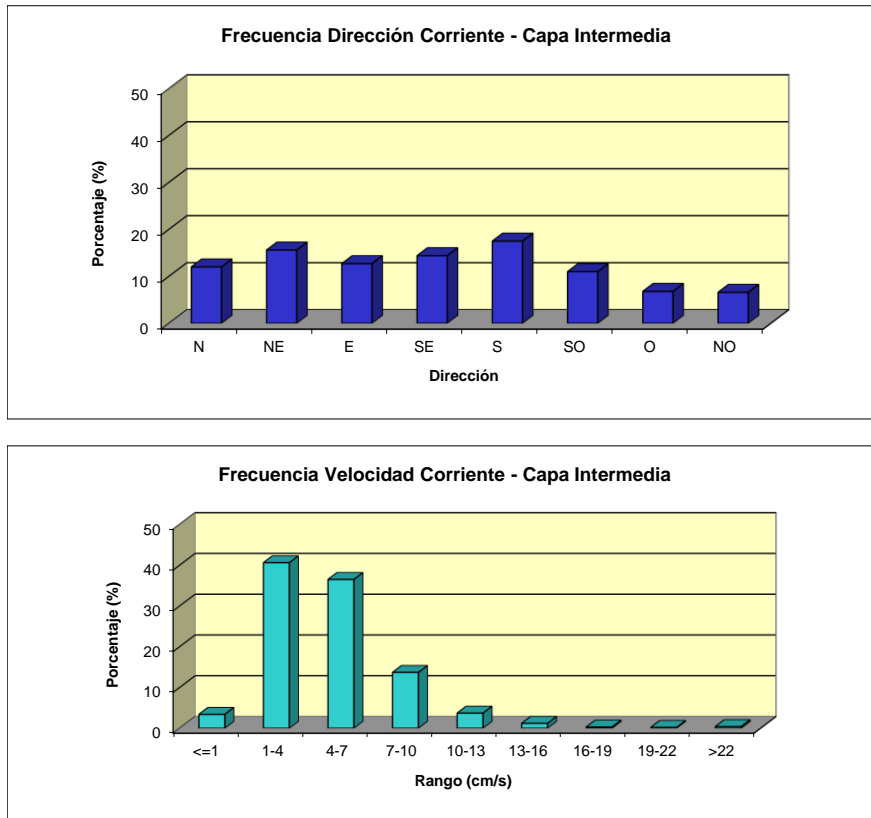
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.2.10-24 se observa una cierta tendencia de las corrientes a agruparse en torno al 2^{do} cuadrante. Los estadísticos expuestos evidencian que la corriente neta tiende a fluir hacia la dirección E SE-E (componente promedio U positiva y componente promedio V negativa, siendo ambas de similar magnitud).

El diagrama de vector progresivo (Figura 3.2.10-24) evidencia una tendencia general de las corrientes a adoptar un flujo direccional neto hacia el SE-E (120,2°).

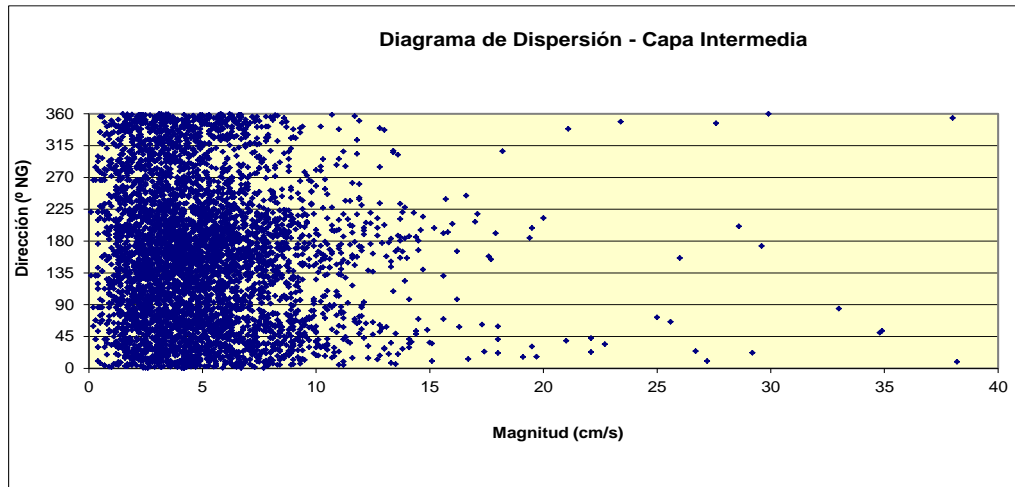
En los espectros presentados en la Figura 3.2.10-25, se observó bajo contenido de energía en ambas componentes.

Figura 3.2.10-22. Histograma de frecuencia de dirección y velocidad de corrientes. Capa intermedia. Campaña invierno 2015.



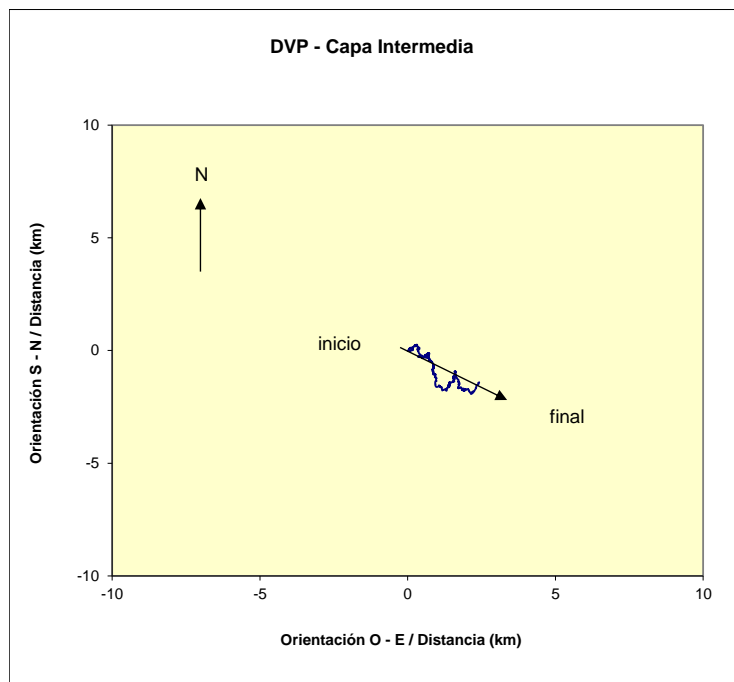
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-23. Diagrama de dispersión dirección versus magnitud, capa intermedia. Campaña invierno 2015.



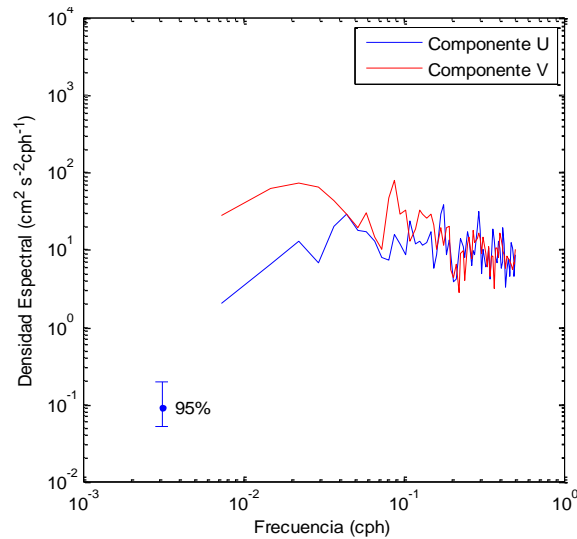
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-24. Diagrama de vector progresivo. Capa intermedia. Campaña invierno 2015.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-25. Autoespectros de corrientes. Capa intermedia. Campaña invierno 2015.



Fuente: Elaboración propia

- Capa Fondo

Las corrientes presentaron un predominio de las direcciones asociadas al 3^{er} cuadrante. Las mayores ocurrencias se registraron en las direcciones O y SO (20,0% y 12,7%, respectivamente). El resto de las direcciones se agrupó entre 8,0% (dirección N) y 12,8% (dirección NE, Figura 3.2.10-26 y Tabla 3.2.10-19).

Las magnitudes medias registradas se agruparon en torno a los 5,8 cm/s (desviación estándar de 3,4 cm/s). La dirección O mostró la mayor magnitud promedio, con un valor de 8,3 cm/s. Las máximas velocidades detectadas fueron de 23,0 cm/s (0,45 nudos) y 22,1 cm/s (0,43 nudos) asociadas a las direcciones SO y O, respectivamente (Figura 3.2.10-26, incidencia).

La mayor ocurrencia de magnitud se registró en el rango de 4,1 a 7,0 cm/s, con un porcentaje de 34,5%. En tanto que el rango 1,1 cm/s a 4,0 cm/s agrupó un 34,2% de las mediciones (Figura 3.2.10-14). Las corrientes registradas durante este período de mediciones se mostraron de mediana a baja intensidad, encontrándose un 0,3% de la información sobre 19,0 cm/s. Por último, se encontró un 3,6% de las mediciones bajo 1,0 cm/s (Figura 3.2.10-26, excedencia).

Tabla 3.2.10-19. Frecuencia de incidencia y excedencia de corrientes. Nivel profundo. Campaña invierno 2015.

Velocidad	FRECUENCIA DE INCIDENCIA DE CORRIENTES								
	Direcciones								TOTAL
(cm/s)	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	
<= 1,0	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,7	0,3	0,4	3,6
1,1 - 4,0	3,7	5,4	4,7	4,9	4,4	3,9	3,7	3,6	34,2
4,1 - 7,0	3,3	4,7	5,5	4,5	3,6	4,3	5,1	3,5	34,5
7,1 - 10,0	1,0	2,1	1,8	1,8	0,8	2,8	4,4	2,0	16,6
10,1 - 13,0	0,1	0,6	0,3	0,3	0,1	0,9	3,5	0,7	6,7
13,1 - 16,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,6	2,3	0,1	3,2
16,1 - 19,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,7	0,0	0,9
19,1 - 22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,3
> 22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total Efectivo	8,0	12,8	12,4	11,5	8,9	12,7	20,0	10,0	96,4
Máximo (cm/s)	12,4	14,7	16,3	15,3	12,3	23,0	22,1	19,7	23,0
Promedio (cm/s)	4,6	5,0	5,0	4,9	4,3	6,2	8,3	5,6	5,8
Velocidad	FRECUENCIA DE EXCEDENCIA DE CORRIENTES								
	Direcciones								TOTAL
(cm/s)	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	
> 22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
> 19,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,0	0,3
> 16,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,9	0,1	1,2
> 13,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,7	3,3	0,2	4,4
> 10,0	0,1	0,7	0,4	0,4	0,1	1,7	6,8	0,9	11,1
> 7,0	1,1	2,8	2,2	2,1	0,9	4,4	11,2	2,9	27,7
> 4,0	4,4	7,4	7,7	6,6	4,6	8,8	16,3	6,4	62,2
> 1,0	8,0	12,8	12,4	11,5	8,9	12,7	20,0	10,0	96,4

Fuente: Elaboración propia

Las series de tiempo de componentes ortogonales mostraron los siguientes resultados:

Tabla 3.2.10-20. Estadísticas de series ortogonales. Capa o nivel profundo. Campaña invierno 2015.

Componente	Mínimo Absoluto (cm/s)	Máximo Absoluto (cm/s)	Promedio (cm/s)	Desv. St. (cm/s)
u	0,0	19,3	-1,2	5,4
v	0,0	12,2	-0,2	3,5

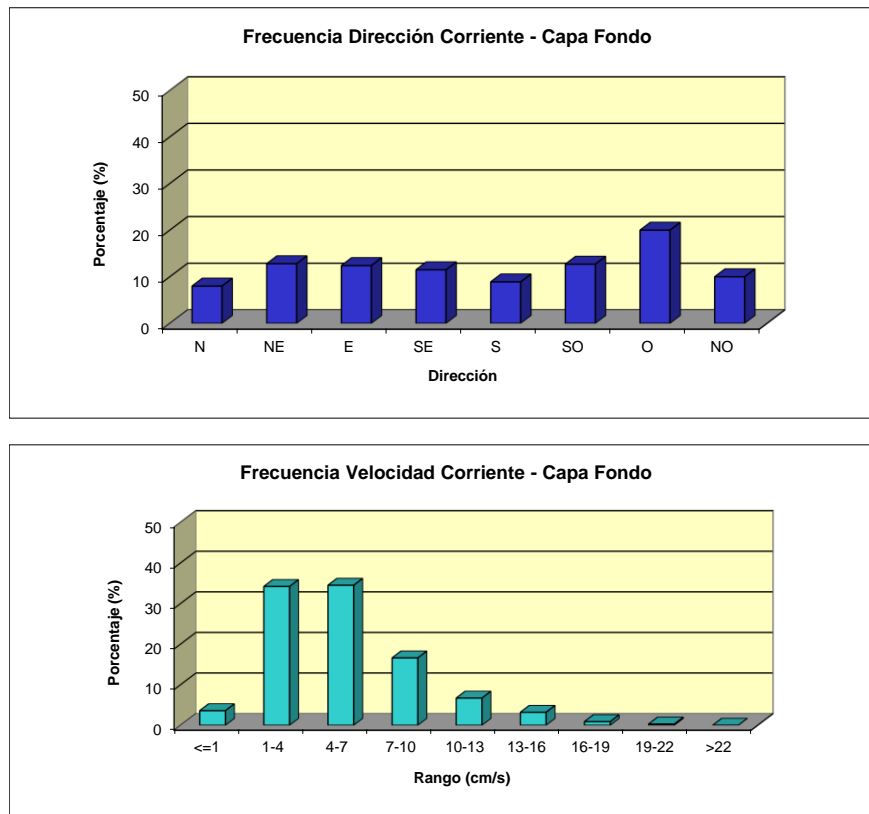
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.2.10-27 se observa una tendencia de las corrientes a agruparse en torno a las direcciones asociadas a la dirección O. Los estadísticos expuestos evidencian que la corriente neta tiende a fluir hacia la dirección O (componente promedio U negativa y componente promedio V negativa, siendo esta última de menor magnitud).

El diagrama de vector progresivo (Figura 3.2.10-28) evidencia una tendencia general de las corrientes a adoptar un flujo direccional neto hacia el O (261,2°).

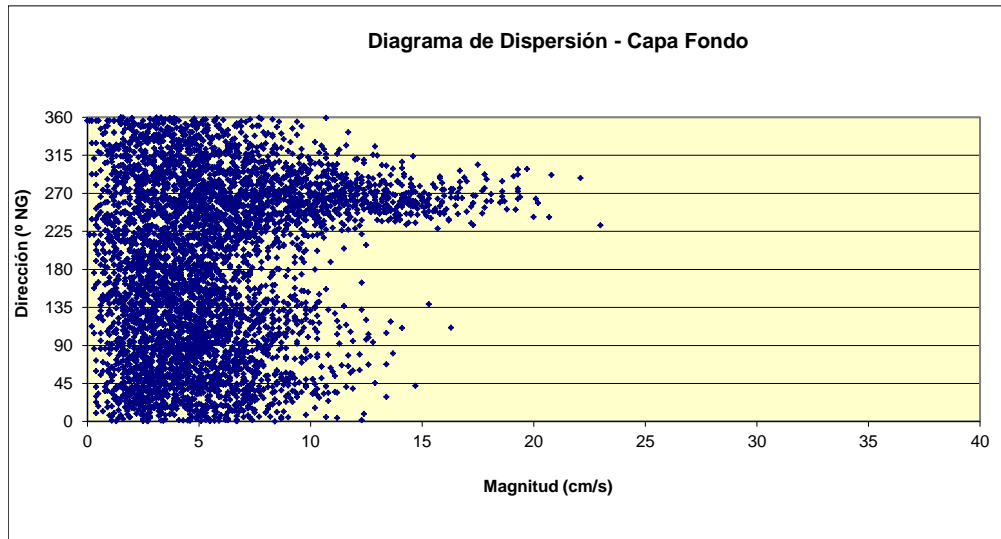
En los espectros presentados en la Figura 3.2.10-29, no se observa contenido de energía en las componentes U y V para las bandas de frecuencia diurna y semidiurna.

Figura 3.2.10-26. Histograma de frecuencia de dirección y velocidad de corrientes, capa fondo. Campaña invierno 2015.



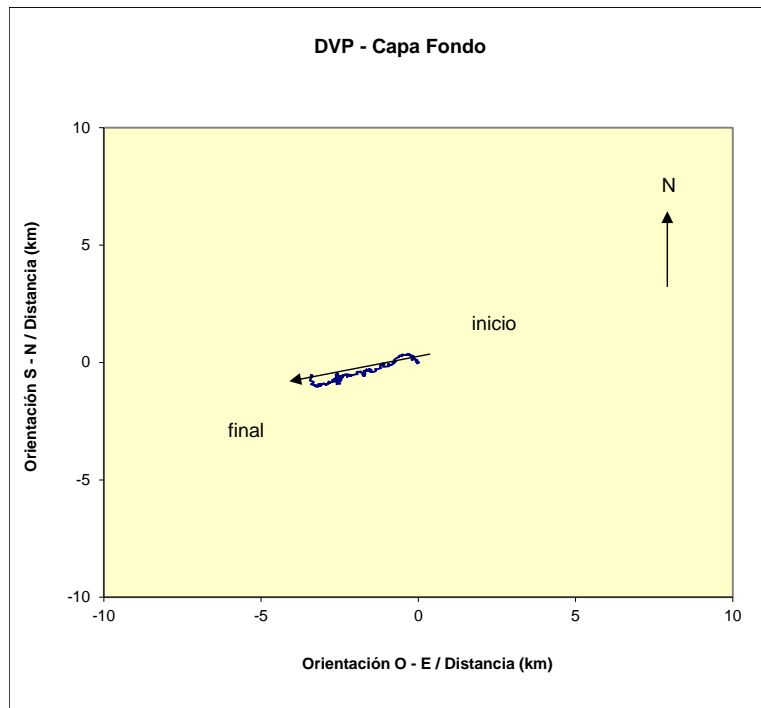
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-27. Diagrama de dispersión dirección versus magnitud, capa fondo. Campaña invierno 2015.



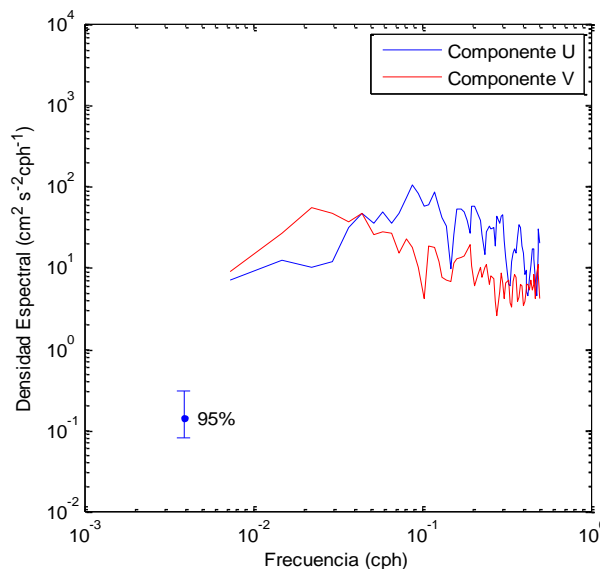
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-28. Diagrama de vector progresivo. Capa fondo. Campaña invierno 2015.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-29. Autoespectros de corrientes, capa fondo. Campaña invierno 2015.



Fuente: Elaboración propia

a.2) Corrientes Lagrangianas

- Verano 2015
 - Condición Lunar Sicigia – 22 de marzo de 2015 – Llenante

Estas mediciones se efectuaron con viento del O (magnitud máxima de 2,2 m/s). La Figura 3.2.10-30 (puntos de lance 1, 2 y 3) muestra las trayectorias seguidas por los derivadores (superficie y 5 metros de superficie), en tanto que la Tabla 3.2.10-21, muestra un resumen de los lances efectuados. En general, los derivadores mostraron en los 3 puntos de lance y ambas profundidades, desplazamientos en torno a la dirección NO. Respecto de las magnitudes, se verificaron valores máximos de 6,7 cm/s (punto de lance – 2, superficie).

Tabla 3.2.10-21. Promedio de dirección y rapidez media derivadores. Condición lunar de sicigia. Campaña verano 2015.

Llenante – 22 de marzo de 2015			Vaciente – 22 de marzo de 2015		
Punto – 1					
Profundidad	superficial	5 m	Profundidad	superficial	5 m
Promedio (cm/s)	3,3	2,7	Promedio (cm/s)	6,9	3,7
Dirección Promedio	NO – N	NO – N	Dirección Promedio	SE	SE
Punto - 2					
Profundidad	superficial	5 m	Profundidad	superficial	5 m
Promedio (cm/s)	6,7	5,4	Promedio (cm/s)	3,0	3,4
Dirección Promedio	NO – N	NO – N	Dirección Promedio	NE	N – NE

Llenante – 22 de marzo de 2015			Vaciente – 22 de marzo de 2015		
Punto - 3					
Profundidad	superficial	5 m	Profundidad	superficial	5 m
Promedio (cm/s)	3,6	3,1	Promedio (cm/s)	6,8	5,0
Dirección Promedio	NO	NO	Dirección Promedio	giro: NO – E	NE

Fuente: Elaboración propia

- Condición Lunar Sicigia – 22 de marzo de 2015 – Vaciente

Estas mediciones se efectuaron con viento S – SO, cuya intensidad máxima alcanzó los 2,5 m/s. La Figura 3.2.10-30 (puntos de lance 1, 2 y 3) muestra las trayectorias seguidas por los derivadores (superficie y 5 metros de superficie), en tanto que la Tabla 3.2.10-21 muestra un resumen de los lances efectuados

Los resultados de estas experiencias, mostraron a nivel superficial avances al SE, NE y un giro desde el NO y luego al E, para los puntos de lance 1, 2 y 3, respectivamente. A nivel profundo, los avances fueron hacia el SE, N – NE y NE, para los puntos de lance 1, 2 y 3, respectivamente. En términos de magnitud promedio, durante estas experiencias se registraron magnitudes extremas de 6,9 cm/s (punto de lance – 1, superficie).

- Condición Lunar Cuadratura – 29 de marzo de 2015 – Vaciente

Estas mediciones se efectuaron con viento del SE, cuya intensidad máxima no supero 3,3 m/s. La Figura 3.2.10-32 (puntos de lance 1, 2 y 3) muestra las trayectorias seguidas por los derivadores (superficie y 5 metros de superficie), en tanto que la Tabla 3.2.10-22, muestra un resumen de los lances efectuados.

Tabla 3.2.10-22. Promedio de dirección y rapidez media derivadores. Condición lunar de cuadratura. Campaña verano 2015.

Vaciente – 29 de marzo de 2015			Llenante – 29 de marzo de 2015		
Punto - 1					
Profundidad	superficial	5 m	Profundidad	superficial	5 m
Promedio (cm/s)	4,7	4,7	Promedio (cm/s)	14,6	6,7
Dirección Promedio	NO – N	O – SO	Dirección Promedio	NO	NO
Punto - 2					
Profundidad	superficial	5 m	Profundidad	superficial	5 m
Promedio (cm/s)	8,6	6,0	Promedio (cm/s)	21,3	15,0
Dirección Promedio	NE	E – NE	Dirección Promedio	NE – N	NE – N
Punto - 3					
Profundidad	superficial	5 m	Profundidad	superficial	5 m
Promedio (cm/s)	5,8	4,7	Promedio (cm/s)	16,5	12,0
Dirección Promedio	NE	NO – N	Dirección Promedio	NE – N	NE – N

Fuente: Elaboración propia

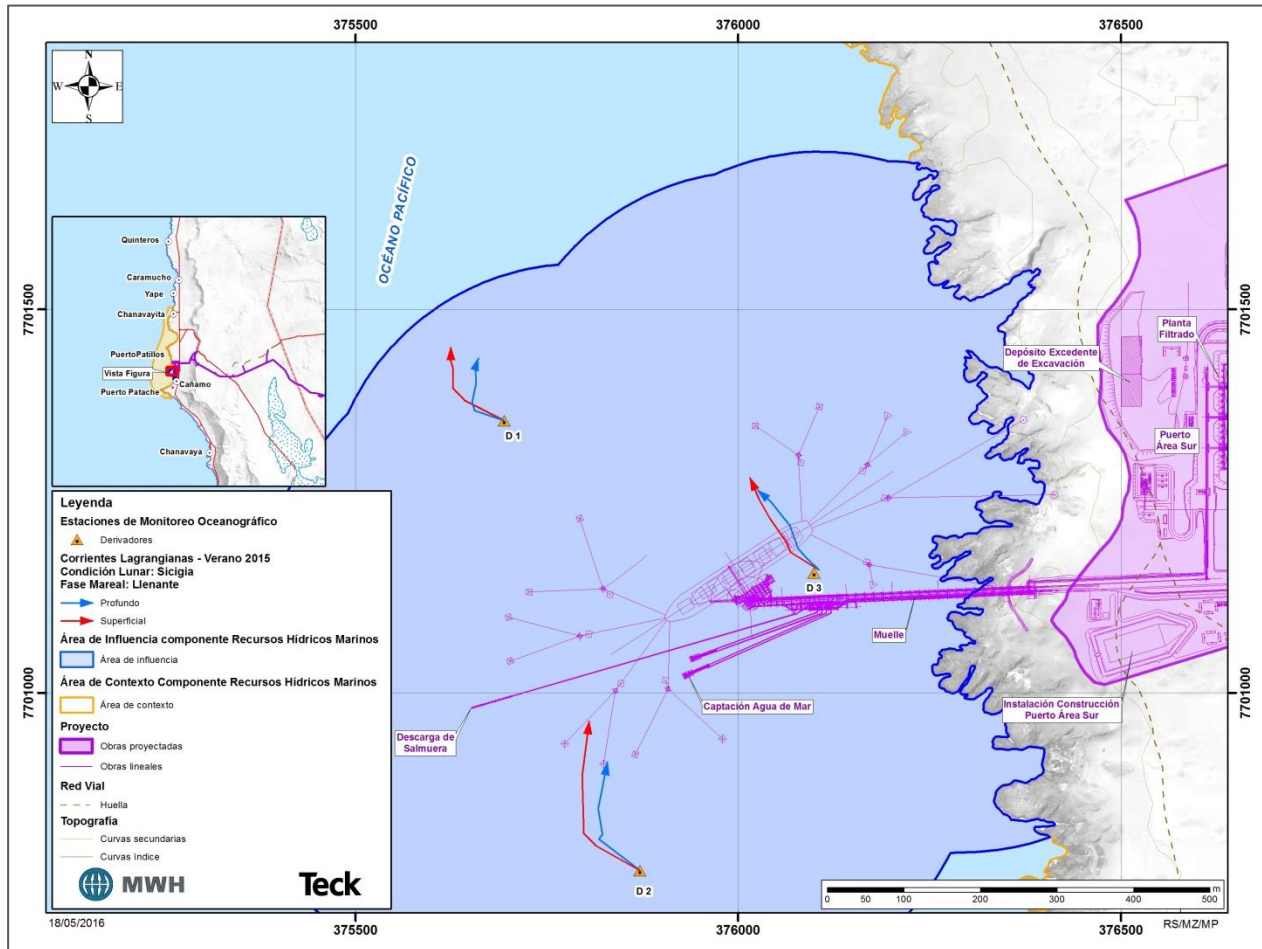
Direccionalmente, en términos generales durante esta campaña los derivadores superficiales tendieron a avanzar hacia el NE, mientras que los profundos avanzaron hacia el O – SO, E – NE y NO – N, puntos de lance 1,2 y 3, respectivamente. Respecto de las magnitudes, se alcanzaron valores máximos de 8,6 cm/s (punto de lance – 2, superficie).

- Condición Lunar Cuadratura – 29 de marzo de 2015 – Llenante

Estas mediciones se efectuaron con viento del SE – S, cuya intensidad máxima fue de 6,0 m/s. La Figura 3.2.10-33 (puntos de lance 1, 2 y 3) muestra las trayectorias seguidas por los derivadores (superficie y 5 metros de superficie), en tanto que la Tabla 3.2.10-22 muestra un resumen de los lances efectuados. En esta condición lunar y fase de marea, los derivadores tendieron a avanzar en torno a la dirección NO (punto de lance 1) y hacia el NE – N (puntos de lance 2 y 3). Respecto de las magnitudes, se alcanzaron valores máximos de 21,3 cm/s (punto de lance 2, superficie).

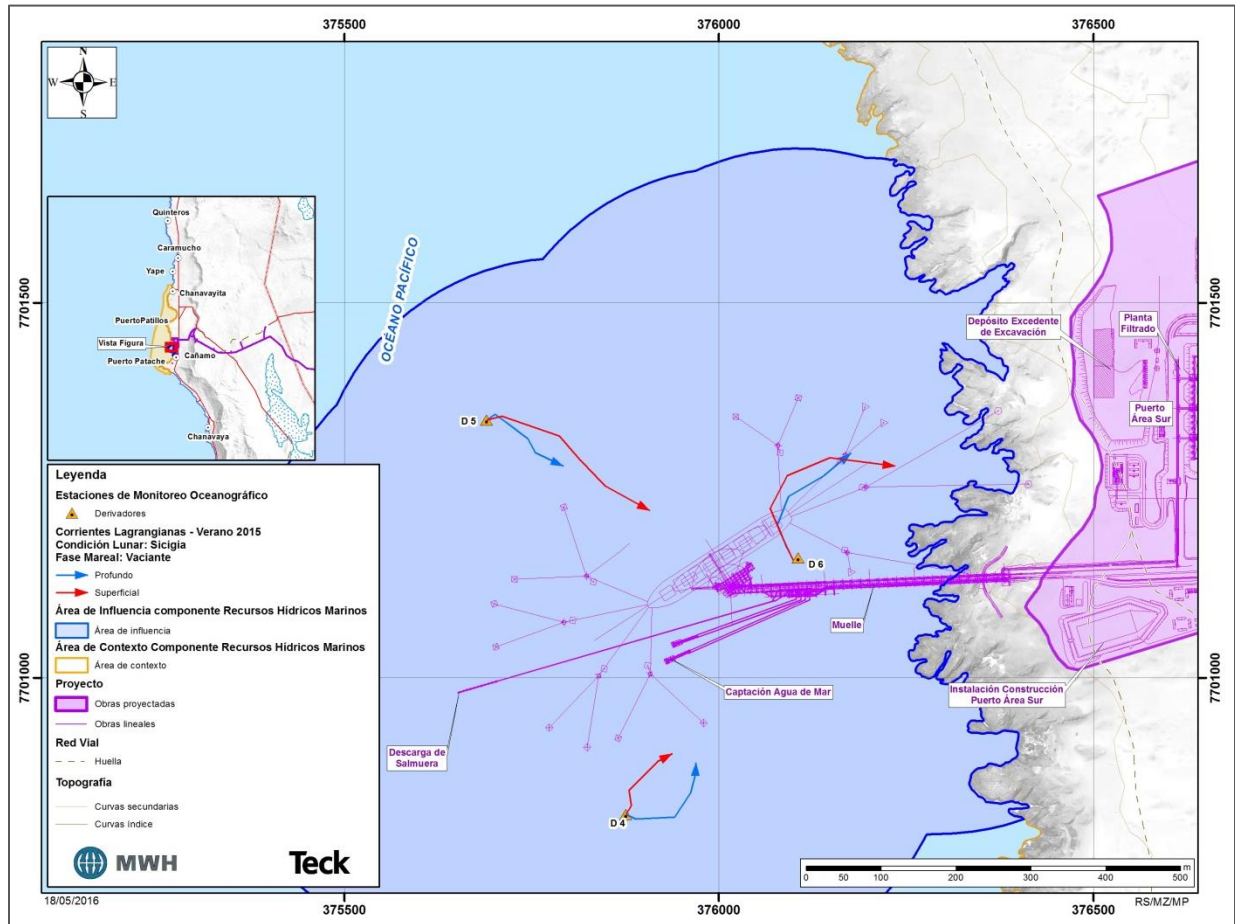
En resumen, los derivadores mostraron una baja respuesta al agente forzante marea, no detectándose diferencias entre las fases de llenante y vaciante. Los derivadores parecen responder bajo ciertas condiciones al forzante viento al momento de efectuar las mediciones, además de la configuración de la línea de la costa.

Figura 3.2.10-30. Comportamiento derivadores en área costera evaluada. Sicigia lunar, marea llanante. Campaña verano 2015.



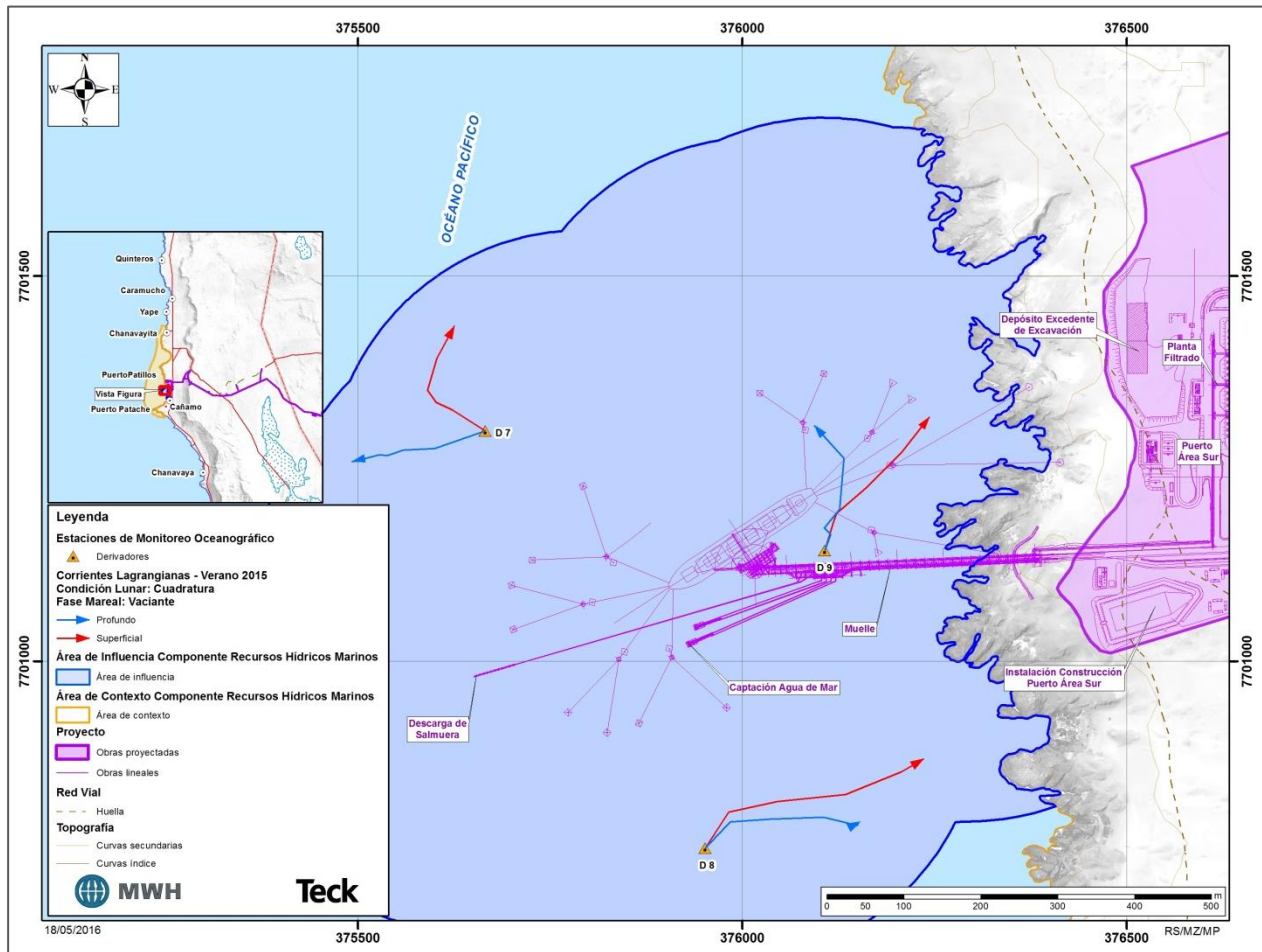
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-31. Comportamiento derivadores en área costera evaluada. Sicigia lunar, marea vaciante. Campaña verano 2015.



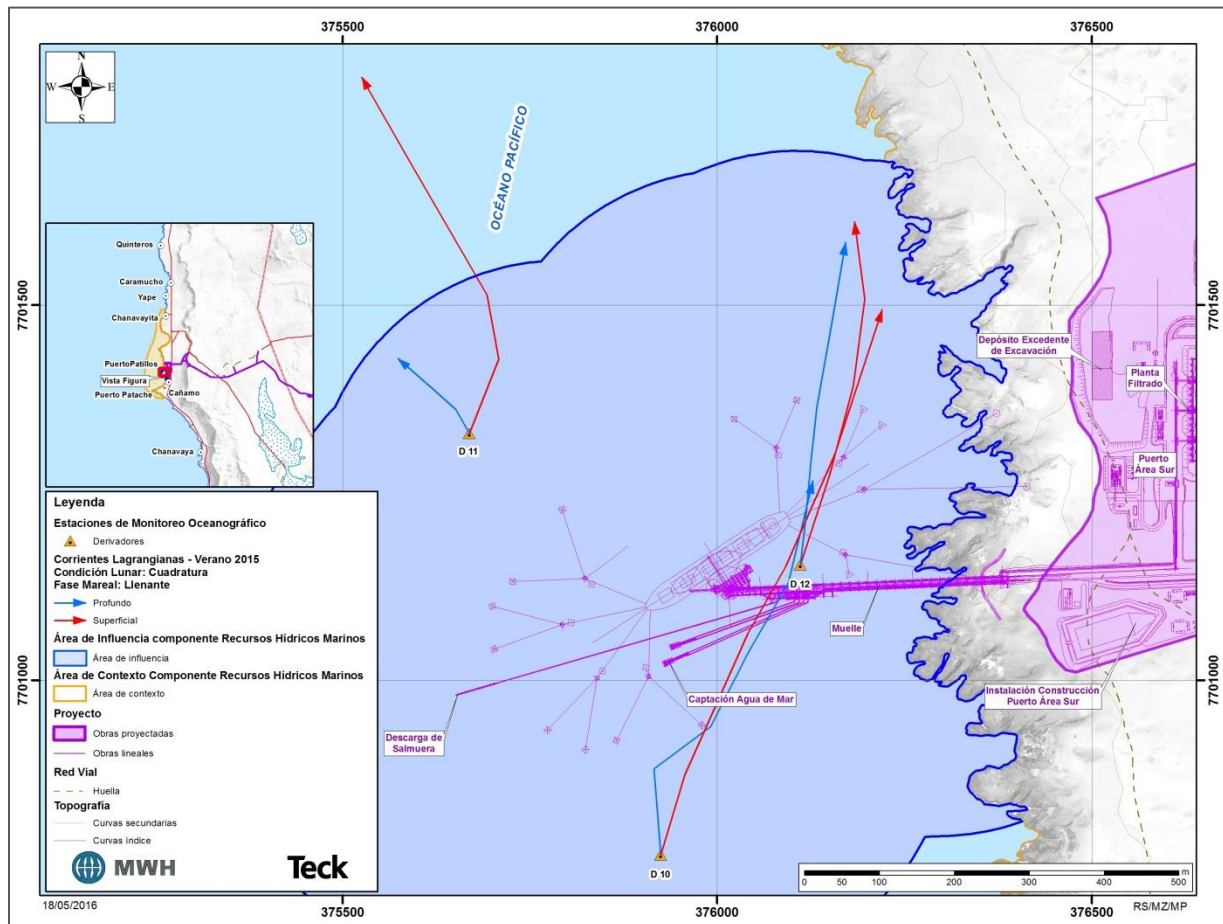
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-32. Comportamiento derivadores en área costera evaluada. Cuadratura lunar, marea vaciante. Campaña verano 2015.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-33. Comportamiento derivadores en área costera evaluada. Cuadratura lunar, marea llanante. Campaña verano 2015.



Fuente: Elaboración propia

- Invierno 2015
 - Condición Lunar Sicigia – 16 de agosto de 2015 – Llanante

Estas mediciones se efectuaron con viento del S (magnitud máxima de 1,6 m/s). La Figura 3.2.10-34 (puntos de lance 1, 2 y 3) muestra las trayectorias seguidas por los derivadores (superficie y 5 metros de superficie), en tanto que la Tabla 3.2.10-23, muestra un resumen de los lances efectuados. En general, los derivadores mostraron en los 3 puntos de lance y ambas profundidades, desplazamientos en torno a la dirección S, E y SE, respectivamente. Respecto de las magnitudes, se verificaron valores máximos de 6,6 cm/s (punto de lance – 3,5 de superficie).

Tabla 3.2.10-23. Promedio de dirección y rapidez media derivadores. Condición lunar de sicigia. Campaña invierno 2015.

Llenante – 16 de agosto de 2015			Vaciente – 16 de agosto de 2015		
Punto – 1					
Profundidad	superficial	5 m	Profundidad	superficial	5 m
Promedio (cm/s)	3,0	3,4	Promedio (cm/s)	9,3	7,1
Dirección Promedio	S – SO	S – SO	Dirección Promedio	NO	NO
Punto - 2					
Profundidad	superficial	5 m	Profundidad	superficial	5 m
Promedio (cm/s)	5,6	4,4	Promedio (cm/s)	7,4	5,8
Dirección Promedio	E	E	Dirección Promedio	NO	NO
Punto - 3					
Profundidad	superficial	5 m	Profundidad	superficial	5 m
Promedio (cm/s)	6,3	6,6	Promedio (cm/s)	6,3	5,3
Dirección Promedio	SE	SE	Dirección Promedio	NO – N	NO-N

Fuente: Elaboración propia

- Condición Lunar Sicigia –16 de agosto de 2015 – Vaciente

Estas mediciones se efectuaron con viento S, cuya intensidad máxima alcanzó los 2,2 m/s. La Figura 3.2.10-35 (puntos de lance 1, 2 y 3) muestra las trayectorias seguidas por los derivadores (superficie y 5 metros de superficie), en tanto que la Tabla 3.2.10-23 muestra un resumen de los lances efectuados

Los resultados de estas experiencias mostraron en ambos niveles avances al NO. En términos de magnitud promedio, durante estas experiencias se registraron magnitudes extremas de 9,3 cm/s (punto de lance – 1, superficie).

- Condición Lunar Cuadratura – 22 de agosto de 2015 – Llenante

Estas mediciones se efectuaron con viento del S, cuya intensidad máxima no supero 3,6 m/s. La Figura 3.2.10-36 (puntos de lance 1, 2 y 3) muestra las trayectorias seguidas por los derivadores (superficie y 5 metros de superficie), en tanto que la Tabla 3.2.10-24, muestra un resumen de los lances efectuados.

Tabla 3.2.10-24. Promedio de dirección y rapidez media derivadores. Condición lunar de cuadratura. Campaña invierno 2015.

Vaciente – 22 de agosto de 2015			Llenante – 29 de marzo de 2015		
Punto - 1					
Profundidad	superficial	5 m	Profundidad	superficial	5 m
Promedio (cm/s)	4,3	3,1	Promedio (cm/s)	7,8	2,9
Dirección Promedio	NE	S – SE	Dirección Promedio	NO	NO– N
Punto - 2					
Profundidad	superficial	5 m	Profundidad	superficial	5 m
Promedio (cm/s)	3,4	3,2	Promedio (cm/s)	11,5	9,3
Dirección Promedio	N	SE – S	Dirección Promedio	NE – N	NE – N
Punto - 3					
Profundidad	superficial	5 m	Profundidad	superficial	5 m
Promedio (cm/s)	6,2	2,1	Promedio (cm/s)	14,9	8,4
Dirección Promedio	NE	E	Dirección Promedio	NE – N	NE – N

Fuente: Elaboración propia

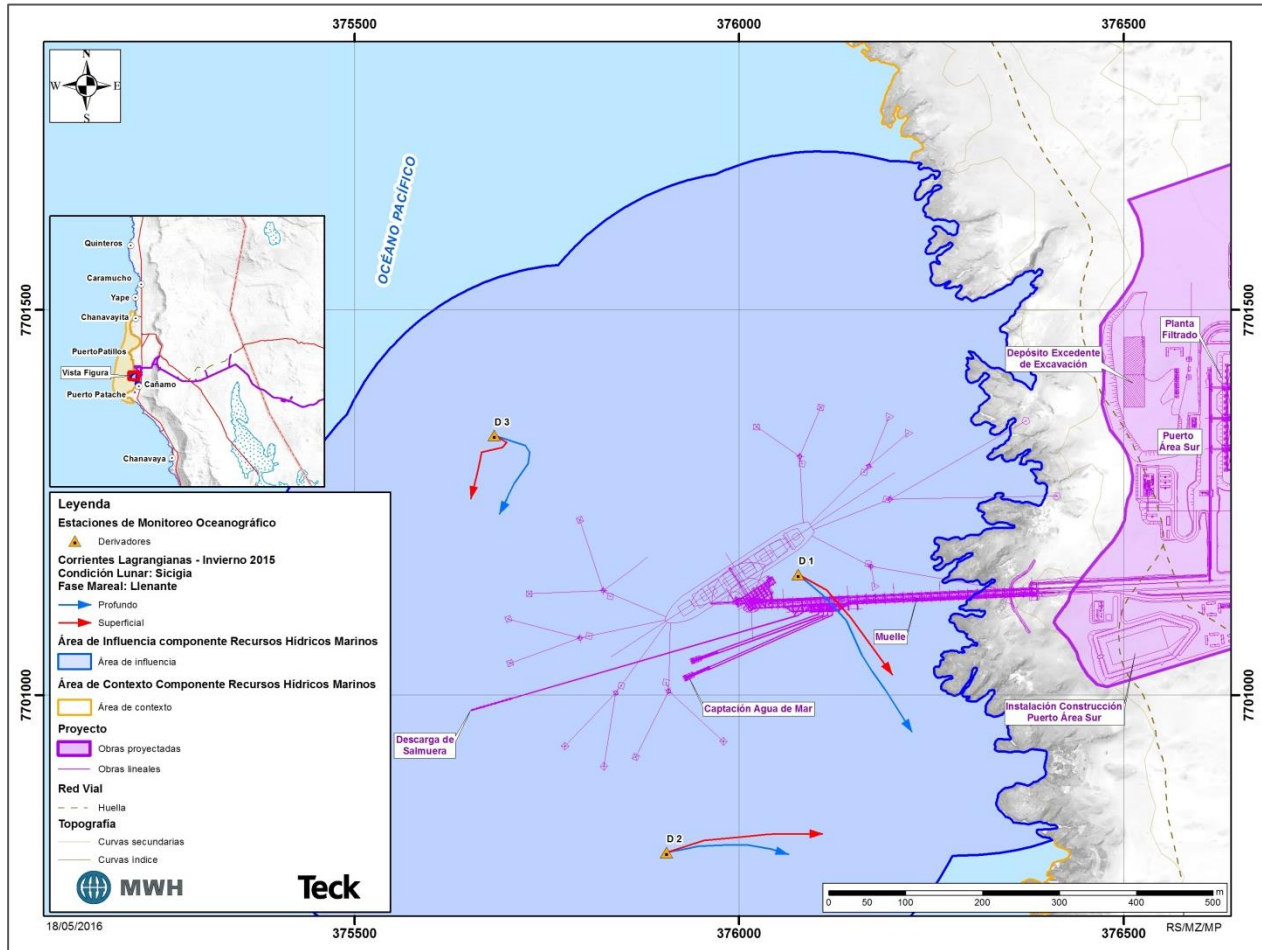
Direccionalmente, en términos generales durante esta campaña los derivadores superficiales tendieron a avanzar hacia el N – NE, mientras que los profundos avanzaron hacia el 2^{do} cuadrante, respectivamente. Respecto de las magnitudes, se alcanzaron valores máximos de 6,2 cm/s (punto de lance – 1, superficie).

- Condición Lunar Cuadratura – 22 de agosto de 2015 – Vaciente

Estas mediciones se efectuaron con viento del S, cuya intensidad máxima fue de 3,2 m/s. La Figura 3.2.10-37 (puntos de lance 1, 2 y 3) muestra las trayectorias seguidas por los derivadores (superficie y 5 metros de superficie), en tanto que la Tabla 3.2.10-24 muestra un resumen de los lances efectuados. En esta condición lunar y fase de marea, los derivadores tendieron a avanzar en torno a la dirección N (fluctuando entre el NO, N y NE). Respecto de las magnitudes, se alcanzaron valores máximos de 14,9 cm/s (punto de lance 3, superficie).

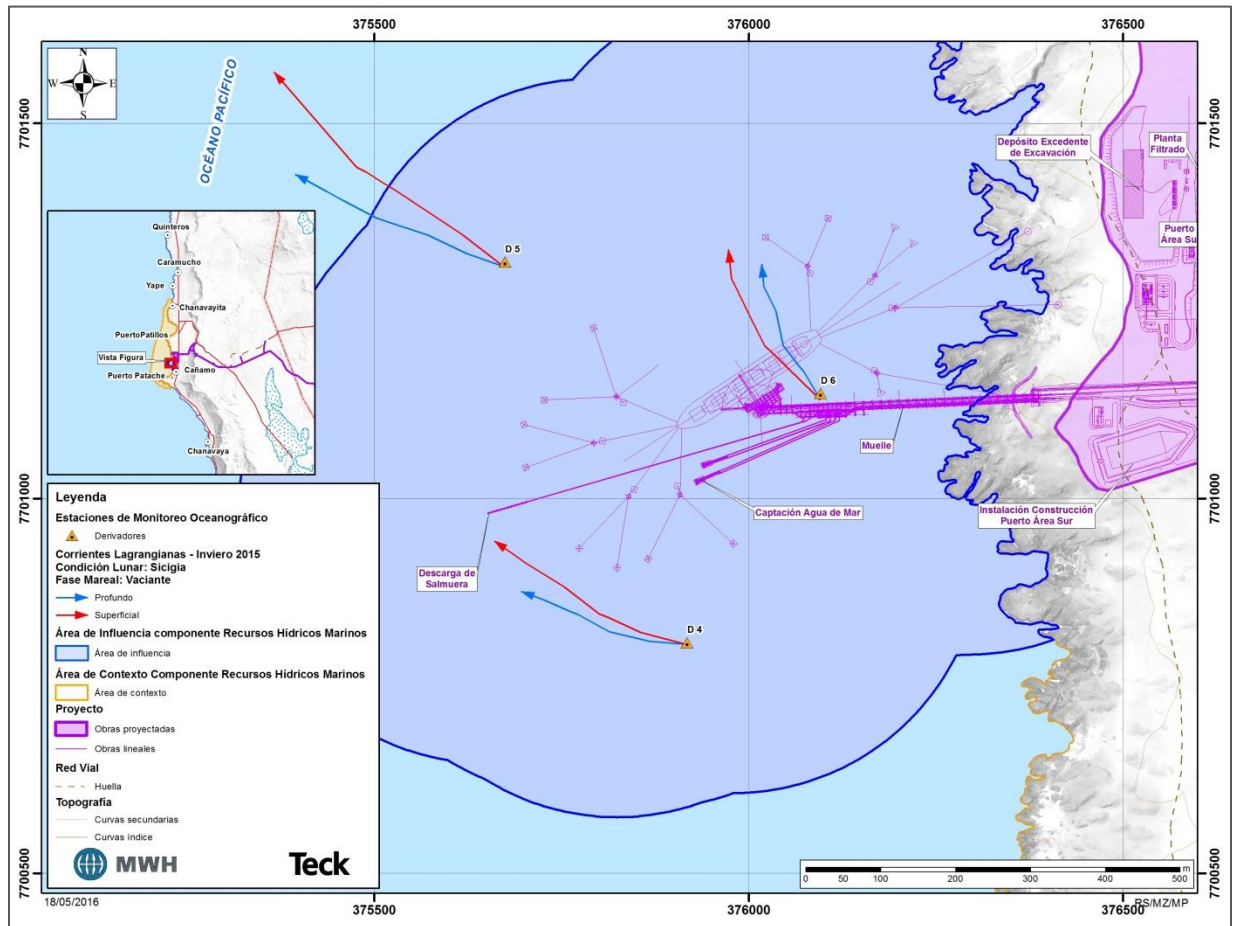
En resumen, los derivadores mostraron una baja respuesta al agente forzante marea, no detectándose diferencias entre las fases de llenante y vaciante. Los derivadores parecen responder bajo ciertas condiciones al forzante viento al momento de efectuar las mediciones, además de la configuración de la línea de la costa.

Figura 3.2.10-34. Comportamiento derivadores en área costera evaluada. Sicigia lunar, marea llenante. Campaña invierno 2015.



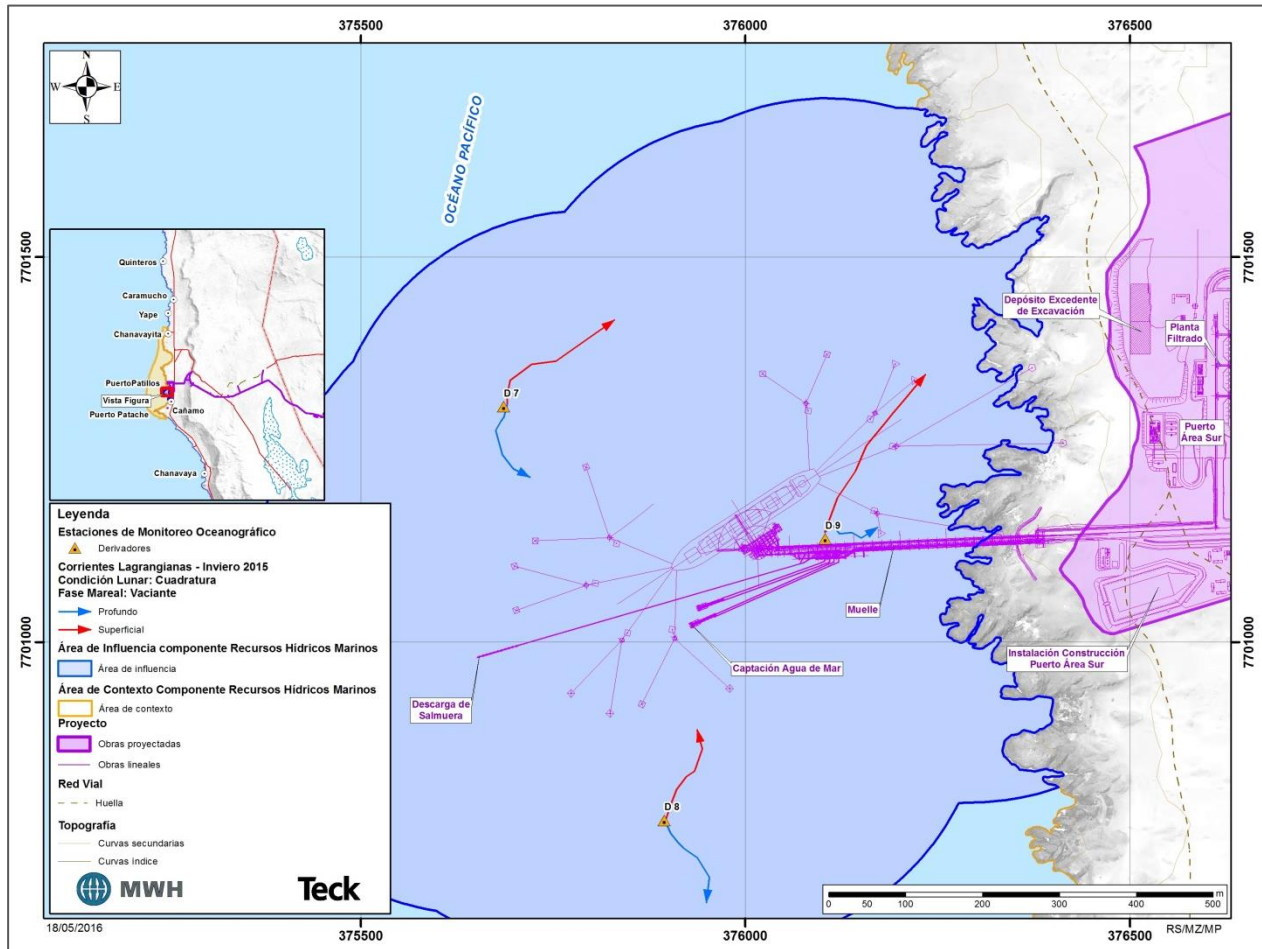
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-35. Comportamiento derivadores en área costera evaluada. Sicigia lunar, marea vaciante. Campaña invierno 2015.



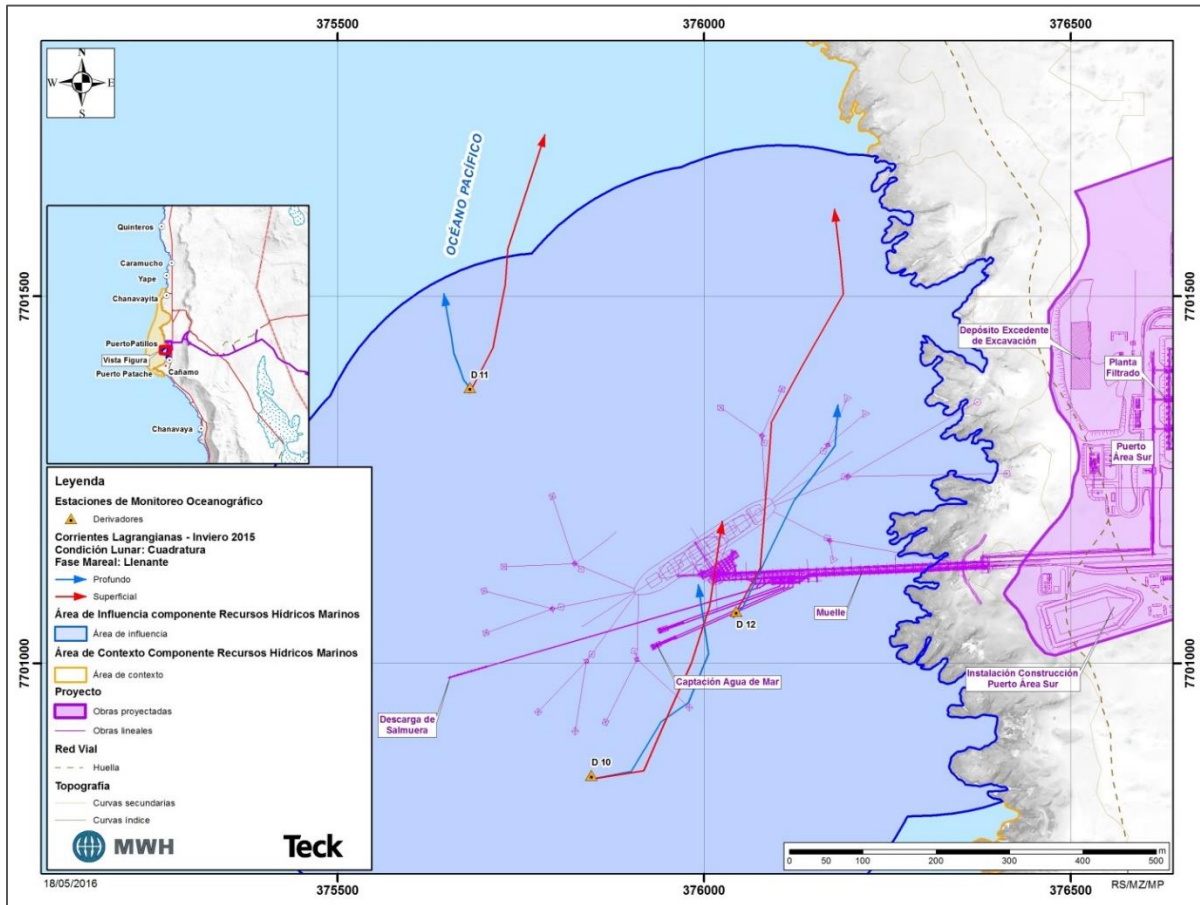
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-36. Comportamiento derivadores en área costera evaluada. Cuadratura lunar, marea vaciante. Campaña invierno 2015.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-37. Comportamiento derivadores en área costera evaluada. Cuadratura Lunar, marea llanante. Campaña invierno 2015.



Fuente: Elaboración propia

a.3) Deriva litoral

- Verano 2015

Los resultados de las experiencias de deriva litoral se presentan en las Tabla 3.2.10-25 (sicigia lunar) y Tabla 3.2.10-26 (cuadratura lunar). En el Anexo 3.2.10-1, Deriva Litoral Ver15 se entrega información más detallada de estas experiencias.

Tabla 3.2.10-25. Deriva litoral, condición lunar de sicigia. Campaña verano 2015.

Estaciones / Llenante	Magnitud (cm/s)	Dirección (°)
DL 1	6,2	N - paralelo a la costa
DL 2	8,2	NO
DL 3	5,3	NO
Estaciones / Vaciente	Magnitud (cm/s)	Dirección (°)
DL 1	5,0	N paralelo a la costa
DL 2	8,0	N paralelo a la costa
DL 3	5,7	NO - N –paralelo a la costa

Tabla 3.2.10-26. Deriva litoral, condición lunar de cuadratura. Campaña verano 2015.

Estaciones / Vaciente	Magnitud (cm/s)	Dirección (°)
DL 1	6,0	N - paralelo a la costa
DL 2	3,7	N - NE - paralelo a la costa
DL 3	1,5	NO
Estaciones / Llenante	Magnitud (cm/s)	Dirección (°)
DL 1	6,5	NO – N - paralelo a la costa
DL 2	7,4	N - paralelo a la costa
DL 3	6,5	NO - N - paralelo a la costa

Fuente: Elaboración propia

Las 3 estaciones muestran una deriva litoral con direcciones relativamente paralelas a la costa y fundamentalmente en dirección N y NO. Así también, durante la llenante (sicigia lunar) se detectó la mayor intensidad en las corrientes de deriva. En este contexto, la máxima magnitud detectada fue de 8,2 cm/s (punto de lance 2).

Las direcciones de avance se explicarían, si se considera la configuración de la línea de la costa y los vientos incidentes, cuyas direcciones fueron favorables para los desplazamientos de las botellas de deriva en las direcciones encontradas.

- Invierno 2015

Los resultados de las experiencias de deriva litoral se presentan en las Tabla 3.2.10-27(sicigia lunar) y Tabla 3.2.10-28 (cuadratura lunar). En el Anexo 3.2.10-1, Deriva Litoral Inv15 se entrega información más detallada de estas experiencias.

Tabla 3.2.10-27. Deriva litoral, condición lunar de sicigia. Campaña invierno 2015.

Estaciones / Llenante	Magnitud (cm/s)	Dirección (°)
DL 1	12,7	NO
DL 2	7,8	O – NO
DL 3	7,9	O – NO
Estaciones / Vaciente	Magnitud (cm/s)	Dirección (°)
DL 1	16,9	N paralelo a la costa
DL 2	8,5	O
DL 3	9,3	O – NO paralelo a la costa

Tabla 3.2.10-28. Deriva litoral, condición lunar de cuadratura. Campaña invierno 2015.

Estaciones / Vaciente	Magnitud (cm/s)	Dirección (°)
DL 1	11,5	N - paralelo a la costa
DL 2	4,7	NO
DL 3	5,3	NO - N
Estaciones / Llenante	Magnitud (cm/s)	Dirección (°)
DL 1	7,8	N - paralelo a la costa
DL 2	3,7	NO – N
DL 3	3,9	NO

Fuente: Elaboración propia

Las 3 estaciones muestran una deriva litoral con direcciones relativamente paralelas a la costa y fundamentalmente en dirección N y NO. Así también, durante la vaciante (sicigia lunar) se detectó la mayor intensidad en las corrientes de deriva. En este contexto, la máxima magnitud detectada fue de 16,9 cm/s (punto de lance 1).

b) Dispersión con trazadores químicos (Rodamina WT)

• Verano 2015

Las manchas reconstituidas a partir de las concentraciones de rodamina WT se muestran en la Figura 3.2.10-38 a Figura 3.2.10-41 para la fase lunar de Sicigia y entre la Figura 3.2.10-42 y la Figura 3.2.10-45 para la fase cuadratura. La experiencia durante la fase de sicigia, muestra que el desarrollo de la mancha de rodamina para la estación Roda 1 (Figura 3.2.10-38 y Figura 3.2.10-39) se desplazó en dirección al 1^{er} cuadrante (NE) durante la marea llenante (Figura 3.2.10-38), con viento predominante de ~1,5 m/s y dirección O – NO, mientras que durante la fase de marea vaciante, la mancha se desplazó hacia el E (Figura 3.2.10-39) con viento promedio de ~2,4 m/s y dirección de incidencia O – SO. Para la Estación Roda 2, en la Figura 3.2.10-40 y Figura 3.2.10-41 se muestra un desplazamiento hacia el 4^{to} cuadrante (NO) durante la marea llenante, con un viento de incidencia de ~ 2 m/s y dirección O, mientras que durante la marea vaciante la mancha se desplaza hacia el 2^{do} cuadrante (SE) con un viento predominante desde el O-SO y una magnitud de ~2,6 m/s.

Durante la experiencia en la fase lunar cuadratura (Figura 3.2.10-42 a Figura 3.2.10-45), la Estación Roda1 muestra un desplazamiento inicial en dirección Norte, rolando hacia el Este durante la marea vaciante con un viento predominante de ~4,0 m/s y dirección S – SE. Durante la marea llenante, la mancha se desplazó hacia el Norte con un viento predominante de dirección S-SE y una magnitud ~6,3 m/s. Por otro lado, en la Estación Roda 2 durante la marea vaciante, la mancha muestra un desplazamiento inicial hacia el Norte rolando al final de la experiencia hacia el Este, con un viento de magnitud ~3,4 m/s con dirección S – SE, mientras que durante la marea llenante su desplazamiento es inicialmente hacia el Norte rolando en dirección NO, con un viento predominante de ~5,8 m/s con dirección SE.

En la Figura 3.2.10-46 a Figura 3.2.10-49 (sicigia) y la Figura 3.2.10-50 y Figura 3.2.10-53 (cuadratura) se muestra la evolución temporal de los círculos de áreas equivalentes de una isolínea (i.e., 10 ppb o 5 ppb, entre otros), generados a partir del cálculo de los radios de círculo equivalente (r_c) utilizados para establecer el coeficiente de dispersión. Los coeficientes de dispersión K_a calculados de acuerdo a la metodología de Okubo (1971) se presentan en la Tabla 3.2.10-29. De acuerdo a estos valores, la capacidad de dispersión del cuerpo de agua es independiente de la fase mareal vaciante o llenante (similar magnitud). El valor observado durante la marea llenante en la estación Roda 1 (fase lunar cuadratura), es un orden de magnitud mayor al obtenido en el resto del estudio, momento también en el que se observa la máxima intensidad del viento.

Tabla 3.2.10-29. Coeficientes de dispersión K_a calculados para el área costera evaluada.

Lance	Fase Lunar	Fecha	Tiempo (s)	Concentración ppb	r_c (m)	Área (m^2)	Varianza (m^2)	K_a ($m^2 s^{-1}$)	Marea
1	Sicigia	23.03.15	1201	5	2,65	22,06	1,589	$2.14 \cdot 10^{-3}$	Llenante
				20	2,48	19,32			
				40	2,00	12,57			
				80	0,96	2,90			
				100	1,61	8,14			
				200	0,00	0,00			
2		23.03.15	655	5	1,36	5,81	1,408	$4.42 \cdot 10^{-3}$	Vaciante
				20	2,46	19,01			
				40	1,52	7,26			
				80	0,11	0,04			
				100	0,00	0,00			
				200	0,00	0,00			
3		23.03.15	812	5	1,86	1,86	1,592	$3.20 \cdot 10^{-3}$	Llenante
				20	2,64	2,17			
				40	2,12	1,66			
				80	0,42	1,69			
				100	1,00	2,64			
				200	0,00	1,40			
4		23.03.15	755	5	1,63	8,35	0,727	$2.02 \cdot 10^{-3}$	Vaciante
				20	2,00	12,57			
				40	1,31	5,39			
				80	0,27	0,23			
				100	0,53	0,88			
				200	0,44	0,61			

Lance	Fase Lunar	Fecha	Tiempo (s)	Concentración ppb	r _c (m)	Área (m ²)	Varianza (m ²)	K _a (m ² s ⁻¹)	Marea
1	Cuadratura	29.03.15	688	5	2,60	1,86	0,820	1.34*10 ⁻³	Vaciante
				20	1,93	2,17			
				40	1,35	1,66			
				80	1,04	1,69			
				100	1,57	2,64			
				200	1,01	1,40			
2		29.03.15	632	5	3,77	10,99	9,105	1.88*10 ⁻²	Llenante
				20	1,71	17,95			
				40	4,40	6,97			
				80	0,37	1,06			
				100	0,79	4,37			
				200	0,27	0,01			
3		29.03.15	892	5	1,70	44,65	1,342	1.66*10 ⁻³	Vaciante
				20	2,08	9,19			
				40	1,63	60,82			
				80	0,62	0,43			
				100	0,99	1,96			
				200	0,48	0,23			
4		29.03.15	728	5	1,87	1,86	1,205	2.78*10 ⁻³	Llenante
				20	2,39	2,17			
				40	1,49	1,66			
				80	0,58	1,69			
				100	1,18	2,64			
				200	0,06	1,40			

Nota: r_c: radio equivalente; K_a: coeficiente de difusión.

Lances 1 y 2: Estación Roda 1; Lances 3 y 4: Estación Roda 2. Fuente: Elaboración propia

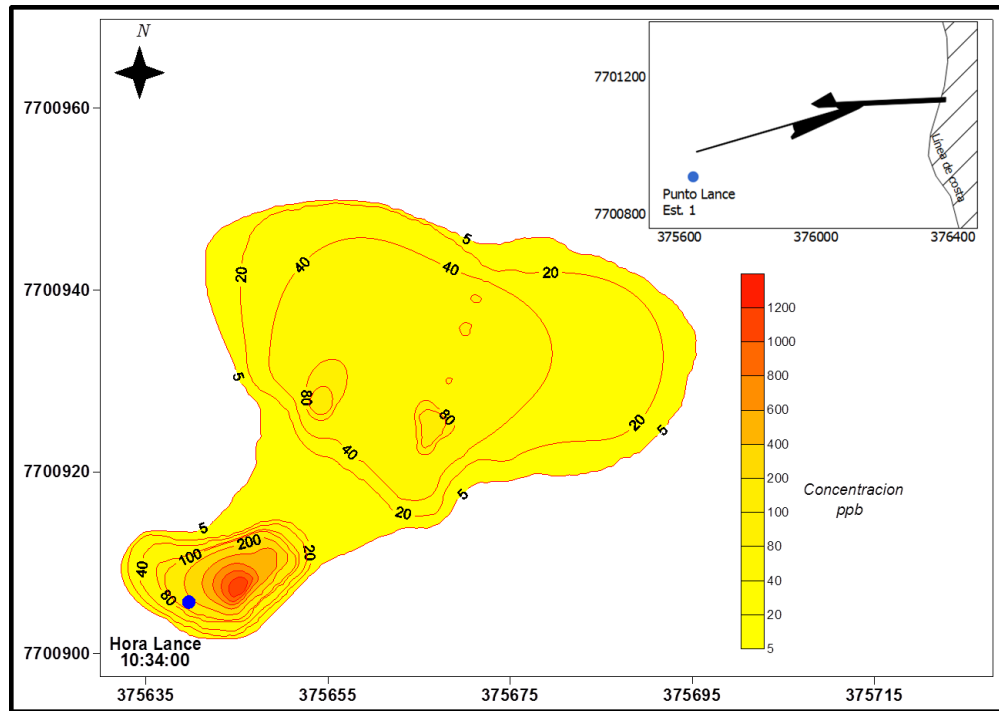
Los coeficientes de dispersión obtenidos en este estudio son similares en magnitud a los observados en la zona centro – sur (Tabla 3.2.10-30; Carrasco, 2000, donde se plantea que valores de 1,8 *10⁻³ son considerados de dispersión baja), lo que sugiere que la capacidad de dispersión del área costera evaluada es baja.

Tabla 3.2.10-30. Comparación con otros estudios de la capacidad del cuerpo de agua en el área costera evaluada

Localidad	Región	Coeficiente (m ² s ⁻¹)	CV (%)	Fuente	Método
Bahía Coliumo	Biobío	1,8*10 ⁻³	54,6	Carrasco, 2000	Okubo, 1971
Estación Roda 1 - Sicigia	Iquique	3,28*10 ⁻³	49,2	LBM Verano 2015	Okubo, 1971
Estación Roda 2 - Sicigia	Iquique	2,61*10 ⁻³	32,0	LBM Verano 2015	Okubo, 1971
Estación Roda 1 - Cuadratura	Iquique	1,00*10 ⁻²	122,0	LBM Verano 2015	Okubo, 1971
Estación Roda 2 - Cuadratura	Iquique	2,22*10 ⁻³	35,7	LBM Verano 2015	Okubo, 1971

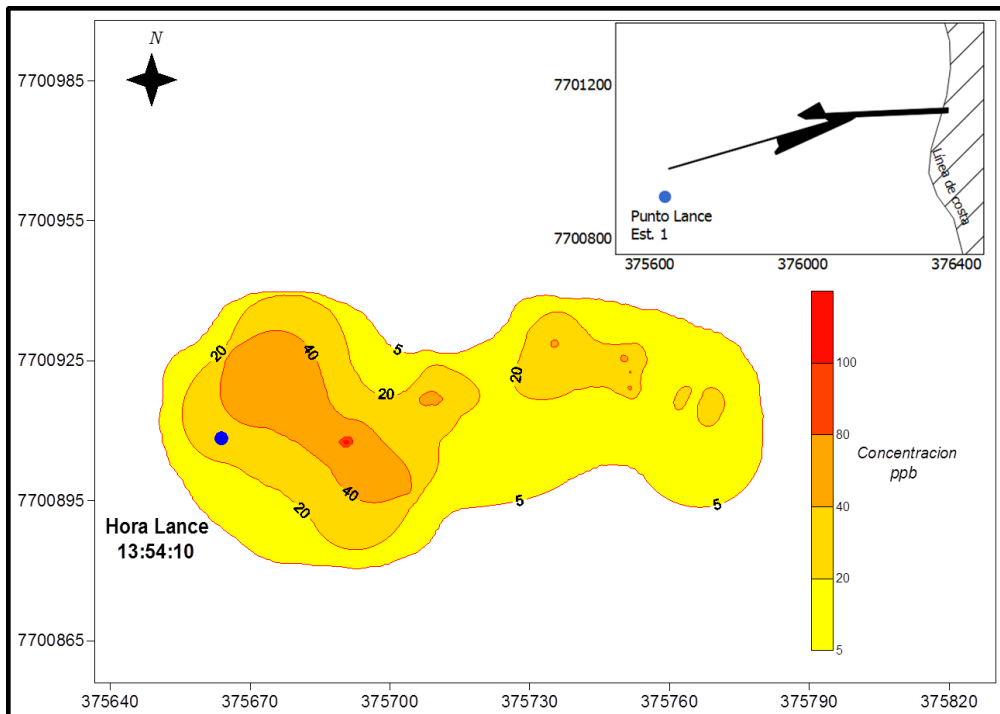
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-38. Desplazamiento y dispersión de mancha de rodamina. Sicigia lunar. Marea llenante, verano 2015. Estación Roda 1



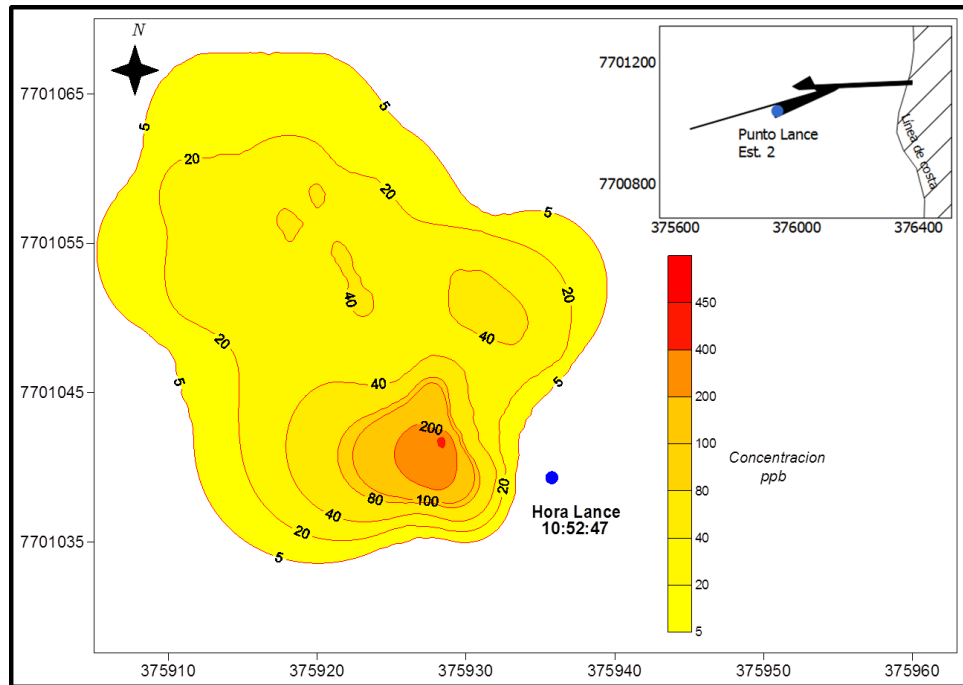
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-39. Desplazamiento y dispersión de mancha de rodamina. Sicigia lunar. Marea vaciante, verano 2015. Estación Roda 1.



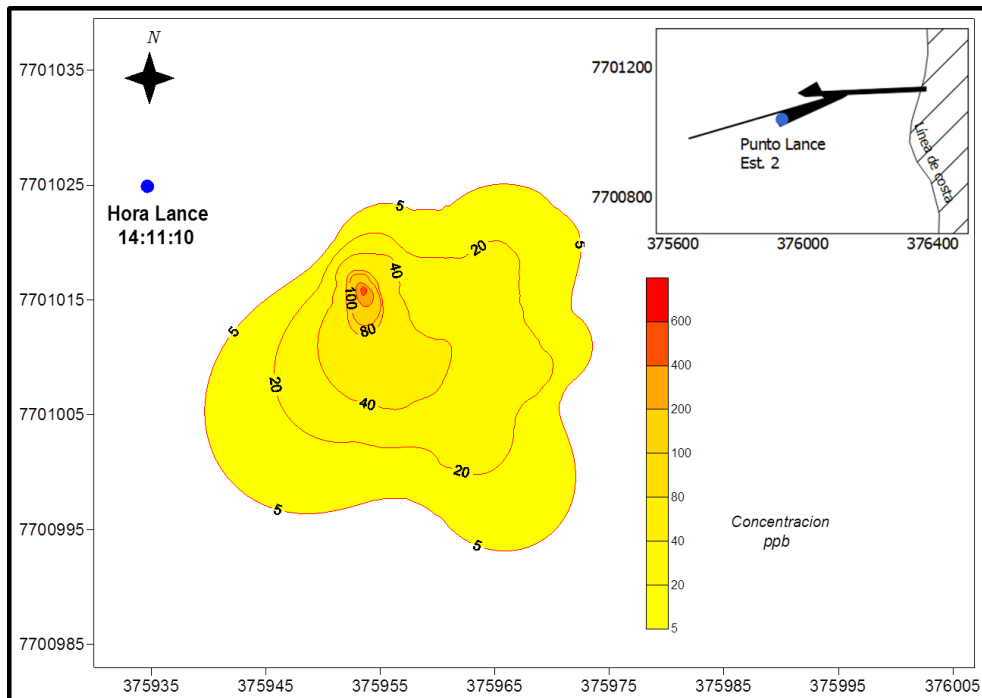
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-40. Desplazamiento y dispersión de mancha de rodamina. Sicigia lunar. Marea llanante, verano 2015. Estación Roda 2.



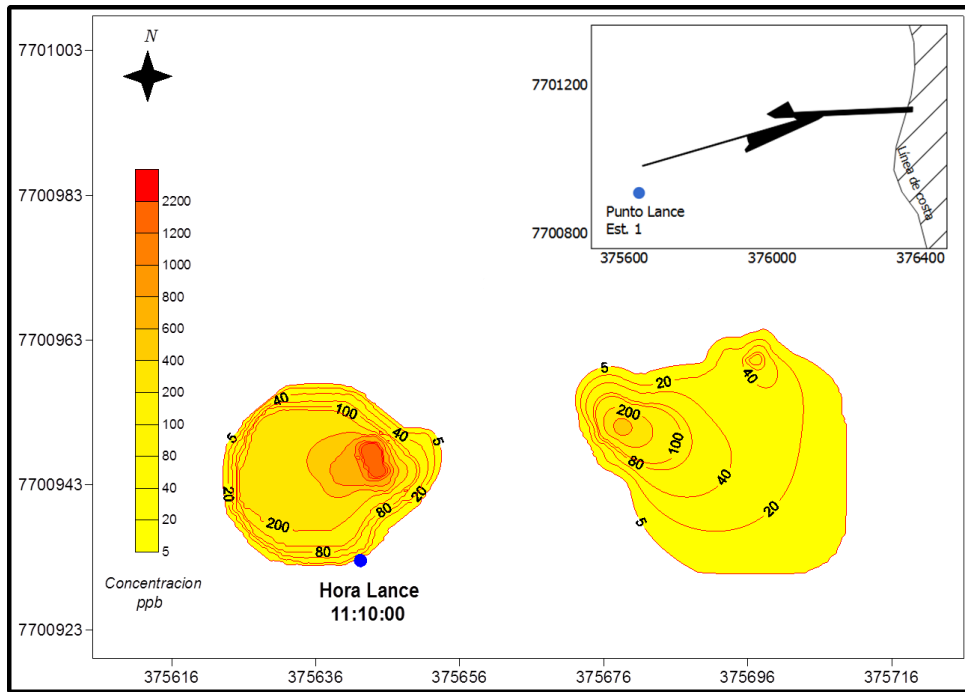
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-41. Desplazamiento y dispersión de mancha de rodamina. Sicigia lunar. Marea vaciante, verano 2015. Estación Roda 2.



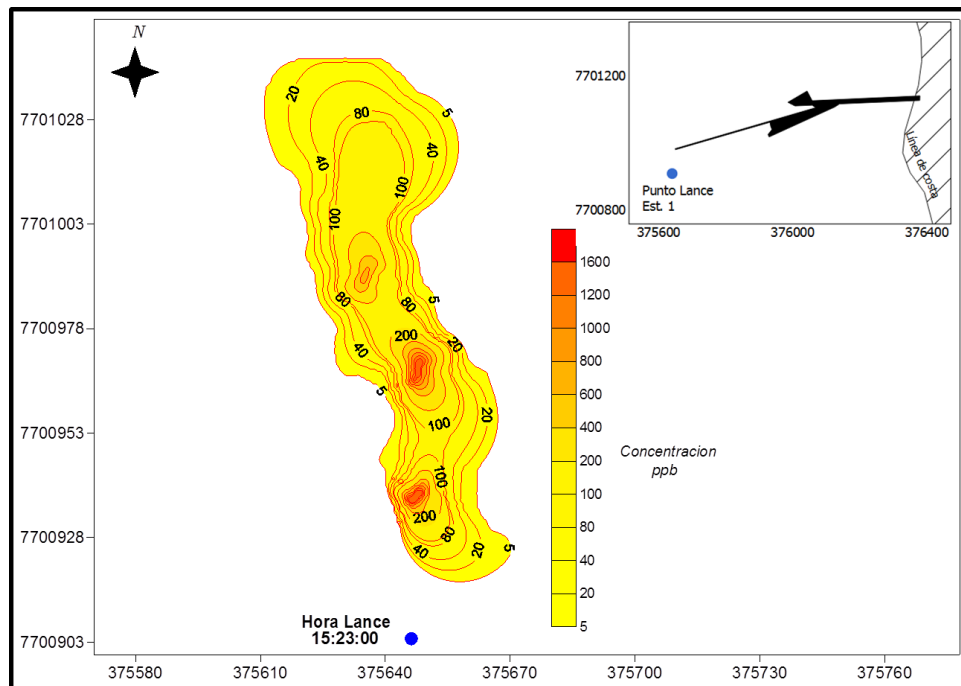
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-42. Desplazamiento y dispersión de mancha de rodamina. Cuadratura lunar. Marea vaciante, verano 2015. Estación Roda 1.



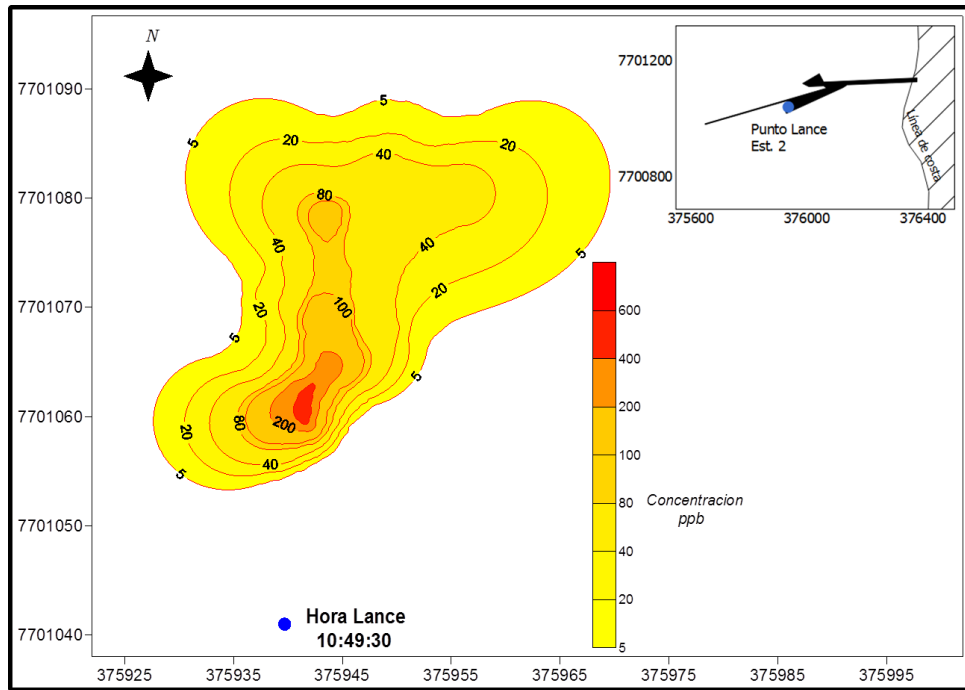
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-43. Desplazamiento y dispersión de mancha de rodamina. Cuadratura lunar. Marea llenante, verano 2015. Estación Roda 1.



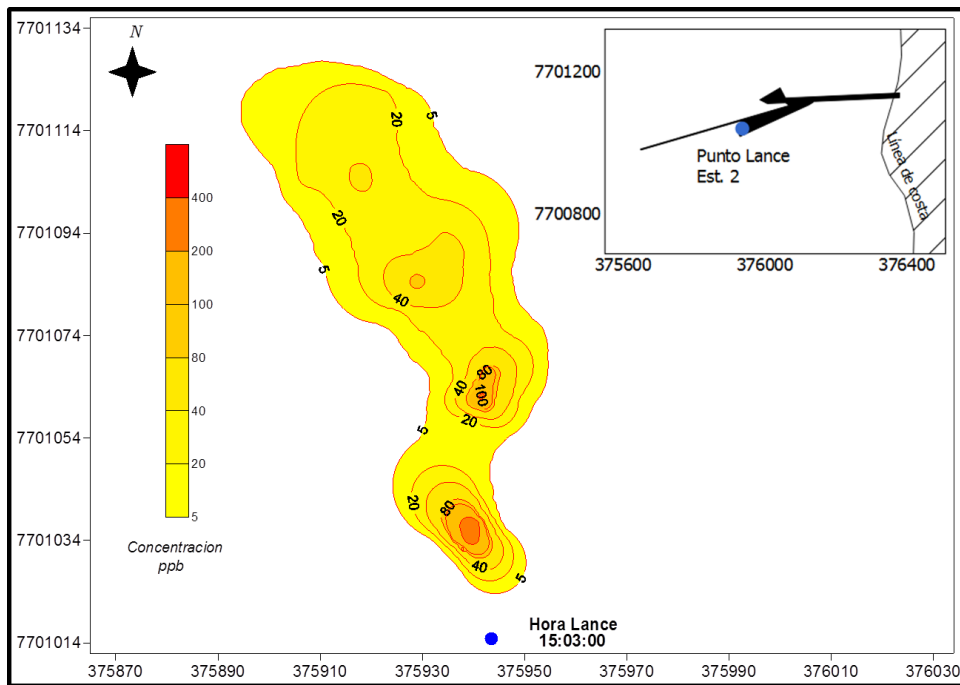
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-44. Desplazamiento y dispersión de mancha de rodamina. Cuadratura lunar. Marea vaciante, verano 2015. Estación Roda 2



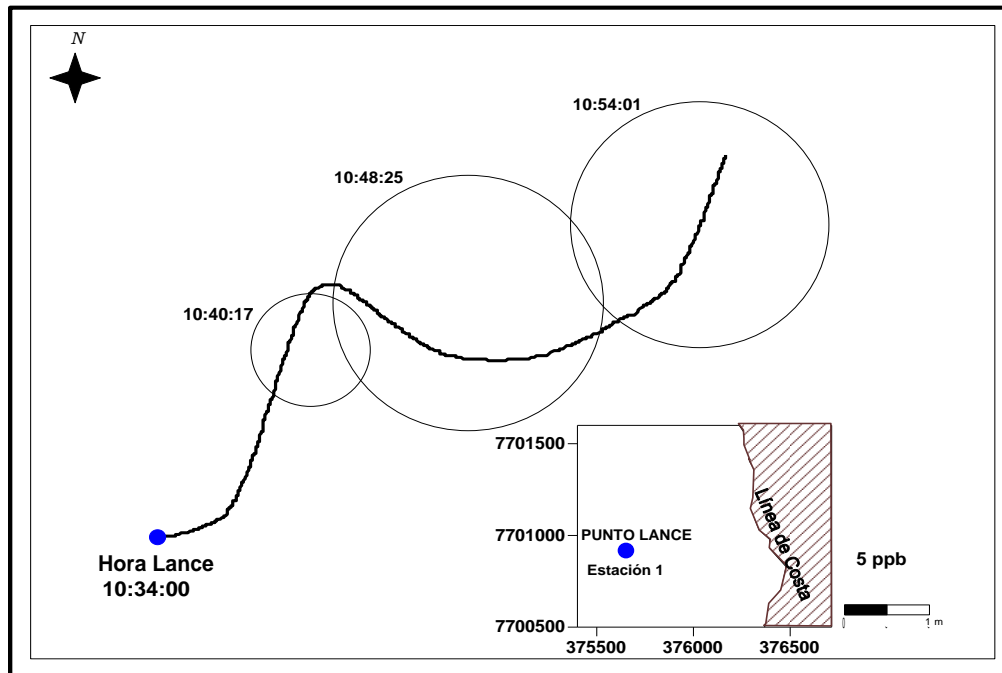
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-45. Desplazamiento y dispersión de mancha de rodamina. Cuadratura lunar. Marea llenante, verano 2015. Estación Roda 2.



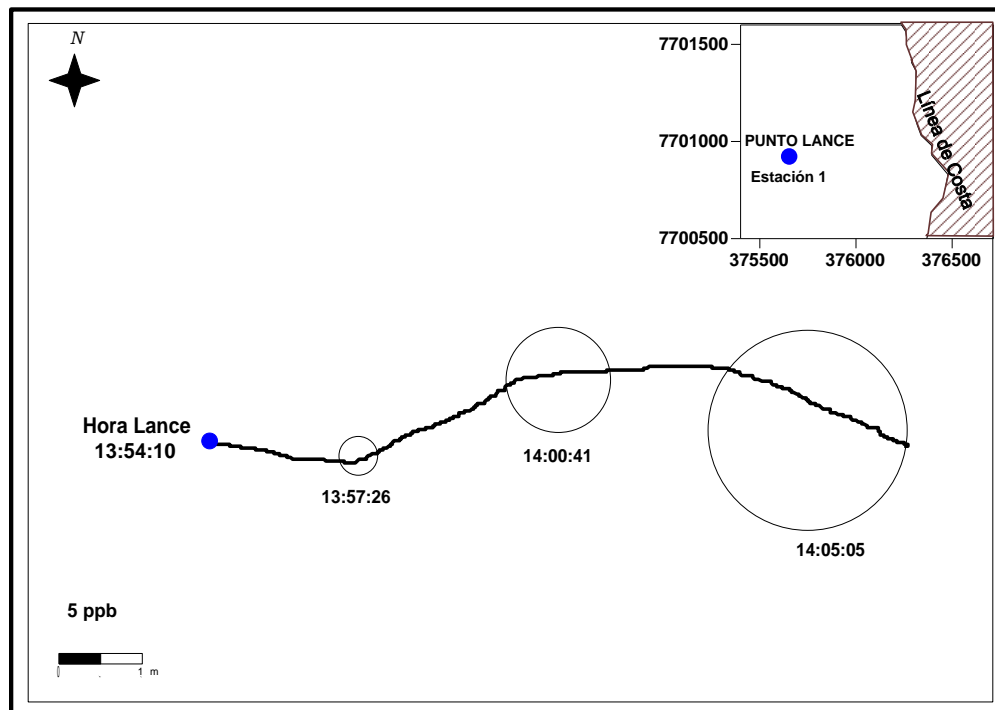
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-46. Evolución temporal de círculos de áreas equivalentes. Sicigia lunar, marea llanante, verano 2015. Estación Roda 1.



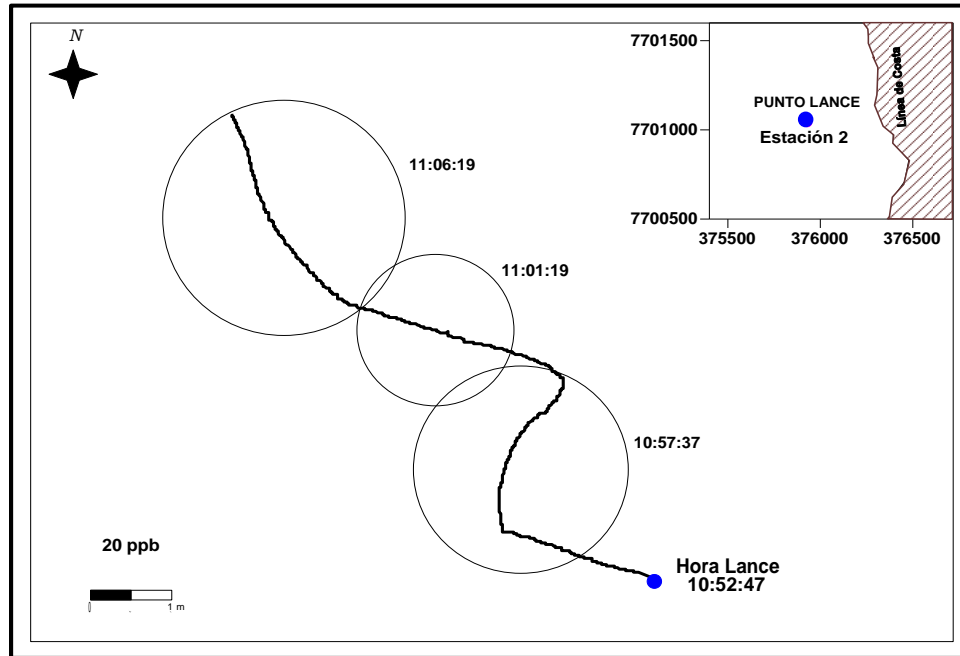
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-47. Evolución temporal de círculos de áreas equivalentes. Sicigia lunar, marea vaciante, verano 2015. Estación Roda 1.



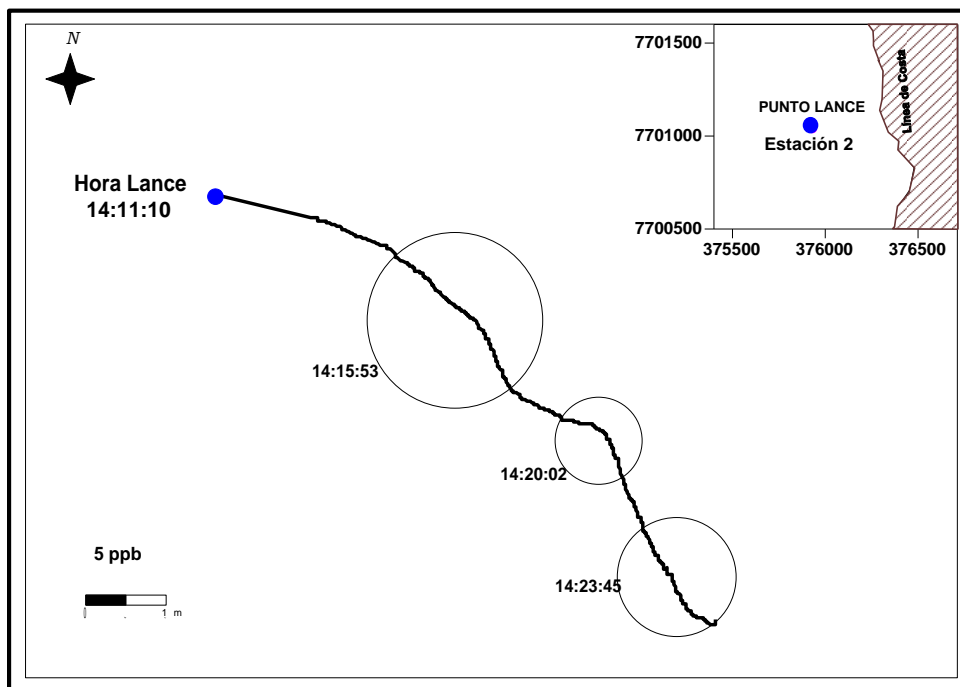
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-48. Evolución temporal de círculos de áreas equivalentes. Sicigia lunar, marea llanante, verano 2015. Estación Roda 2.



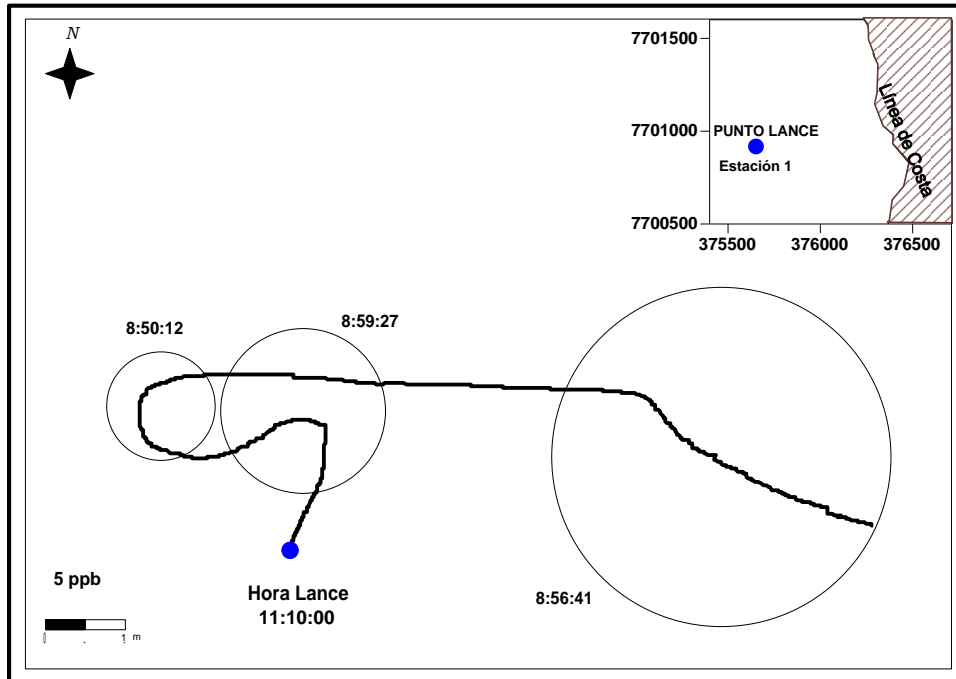
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-49. Evolución temporal de círculos de áreas equivalentes. Sicigia lunar, marea vaciante, verano 2015. Estación Roda 2.



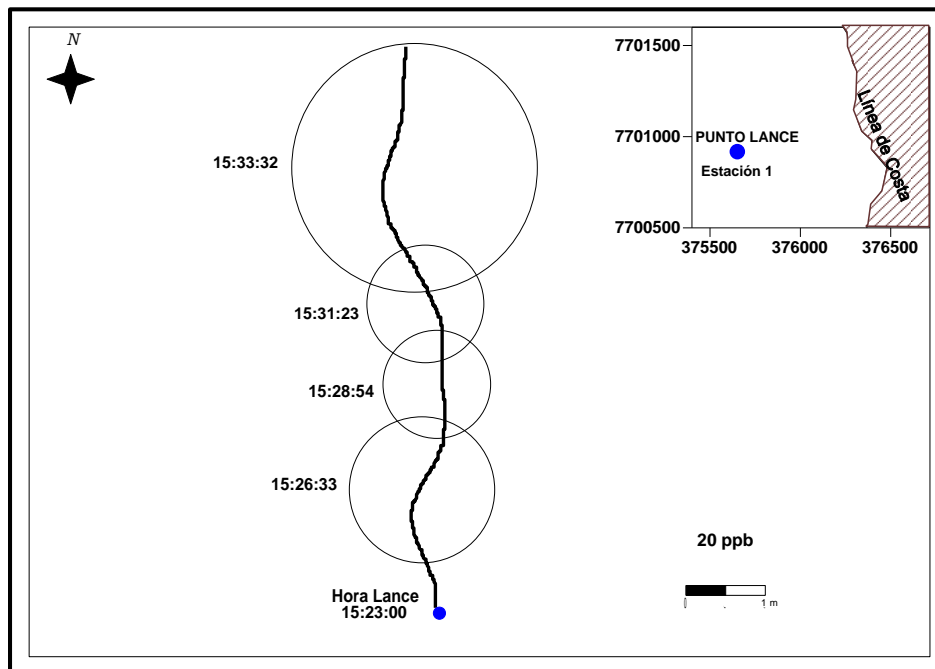
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-50. Evolución temporal de círculos de áreas equivalentes. Cuadratura lunar, marea vaciante, verano 2015. Estación Roda 1.



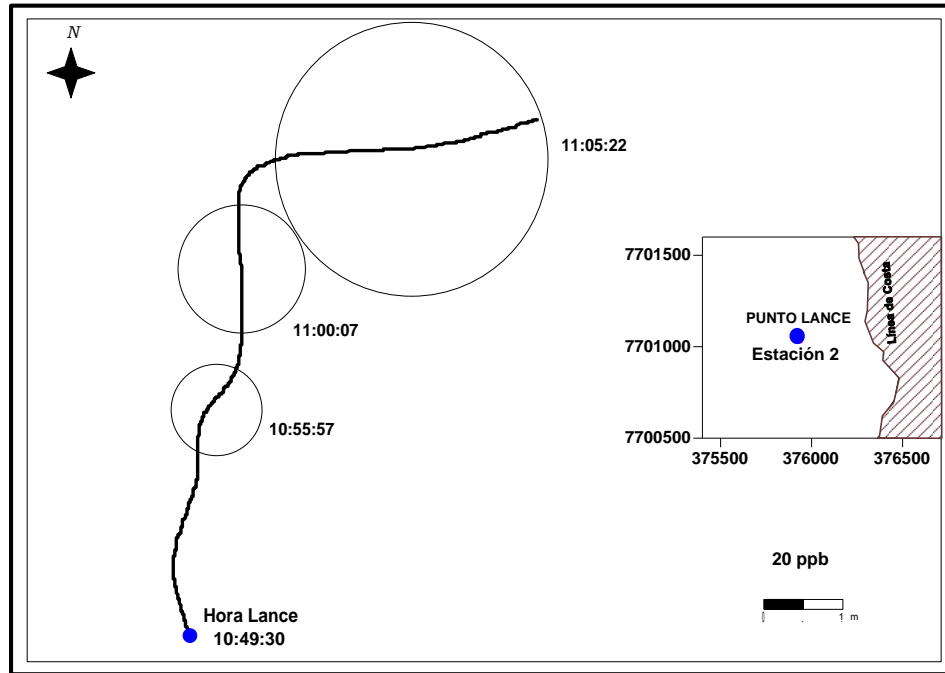
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-51. Evolución temporal de círculos de áreas equivalentes. Cuadratura lunar, marea llanante, verano 2015. Estación Roda 1.



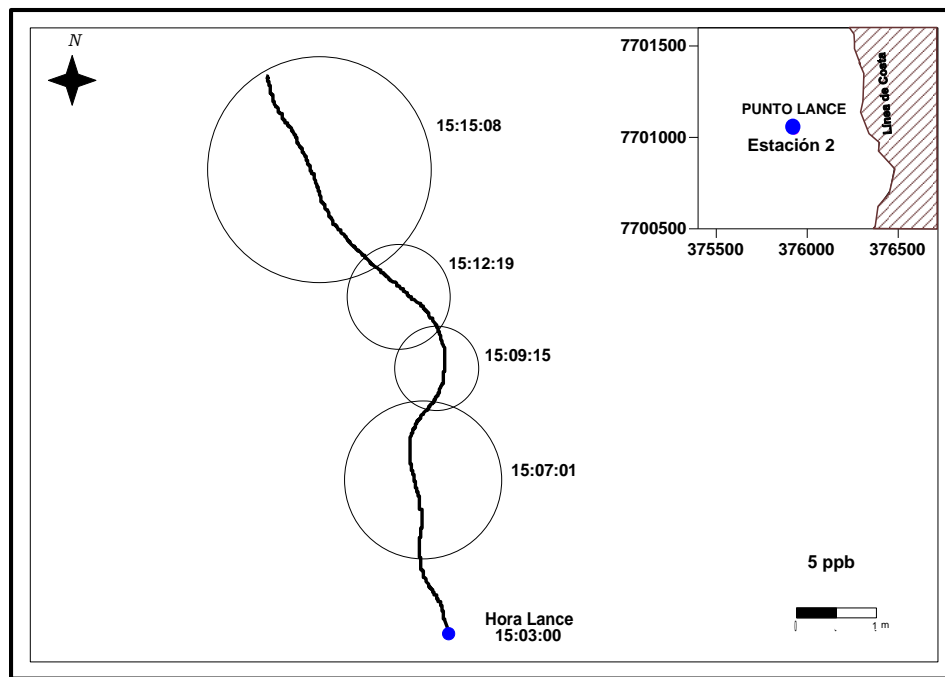
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-52. Evolución temporal de círculos de áreas equivalentes. Cuadratura lunar, marea vaciante, verano 2015. Estación Roda 2.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-53. Evolución temporal de círculos de áreas equivalentes. Cuadratura lunar, marea llanante, verano 2015. Estación Roda 2.



Fuente: Elaboración propia

- Invierno 2015

Las manchas reconstituidas a partir de las concentraciones de rodamina WT se muestran en la Figura 3.2.10-54 a Figura 3.2.10-57 para la fase lunar de sicigia y entre la Figura 3.2.10-58 y la Figura 3.2.10-61 para la fase cuadratura. La experiencia durante la fase de sicigia, muestra que el desarrollo de la mancha de rodamina para la estación Rod 1 (Figura 3.2.10-54 y Figura 3.2.10-55) se desplazó en dirección al 3^{er} cuadrante (SO) durante la marea llenante (Figura 3.2.10-54), con viento predominante de ~1,4 m/s y dirección S, mientras que durante la fase de marea vaciante, la mancha se desplazó hacia el O (Figura 3.2.10-55) con viento promedio de ~1,9 m/s y dirección de incidencia S – SE. Para la Estación Rod 2, en las Figura 3.2.10-56 y Figura 3.2.10-57 se muestra un desplazamiento hacia el 3^{er} cuadrante (SO) durante ambas fases de marea (llenante y vaciante), con un viento de incidencia de ~ 1,7 m/s y dirección S – SO.

Durante la experiencia en la fase lunar de cuadratura (Figura 3.2.10-58 a Figura 3.2.10-61), la Estación Rod 1 muestra un desplazamiento inicial en dirección NO, rolando hacia el Norte en la marea llenante con un viento predominante de ~3,0 m/s y dirección S – SO. Durante la marea vaciante, la mancha se desplazó hacia el NO, rolando hacia el Norte con un viento predominante de dirección SO y una magnitud ~2,9 m/s. Por otro lado, en la Estación Rod 2 durante la marea llenante, la mancha muestra un desplazamiento inicial hacia el SO rolando al final de la experiencia hacia el S, con un viento de magnitud ~3,4 m/s con dirección S – SO, mientras que durante la marea vaciante su desplazamiento es inicialmente hacia el SE rolando en dirección NE, con un viento predominante de ~3,2 m/s con dirección S-SO.

En las Figura 3.2.10-62 a Figura 3.2.10-65 (sicigia) y las Figura 3.2.10-66 a Figura 3.2.10-69 (cuadratura) se muestra la evolución temporal de los círculos de áreas equivalentes de una isolínea (i.e., 20 ppb o 5 ppb, entre otros), generados a partir del cálculo de los radios de círculo equivalente (r_c) utilizados para establecer el coeficiente de dispersión. Los coeficientes de dispersión K_a calculados de acuerdo a la metodología de Okubo (1971) se presentan en la Tabla 3.2.10-31 De acuerdo a estos valores, la capacidad de dispersión del cuerpo de agua es independiente de la fase mareal vaciante o llenante (similar magnitud). El valor observado durante la marea llenante en la estación Rod 1 (fase lunar sicigia), es un orden de magnitud mayor al obtenido en el resto del estudio, momento en que se reporta condiciones del mar con oleaje corto originado por el viento de dirección sur.

Tabla 3.2.10-31. Coeficientes de dispersión K_a calculados para el área costera evaluada.

Lance	Fase Lunar	Fecha	Tiempo (s)	Concentración n ppb	r_c (m)	Área (m^2)	Varianza (m^2)	K_a ($m^2 s^{-1}$)	Marea
1	Sicigia	16.08.15	744	5	1,94	11,82	4,891	$1.06 \cdot 10^{-2}$	Llenante
				20	2,98	27,90			
				40	3,23	32,78			
				80	2,02	12,82			
				100	3,41	36,53			
				200	0,00	0,00			
2		16.08.15	934	5	1,95	11,95	1,092	$1.40 \cdot 10^{-3}$	Vaciante

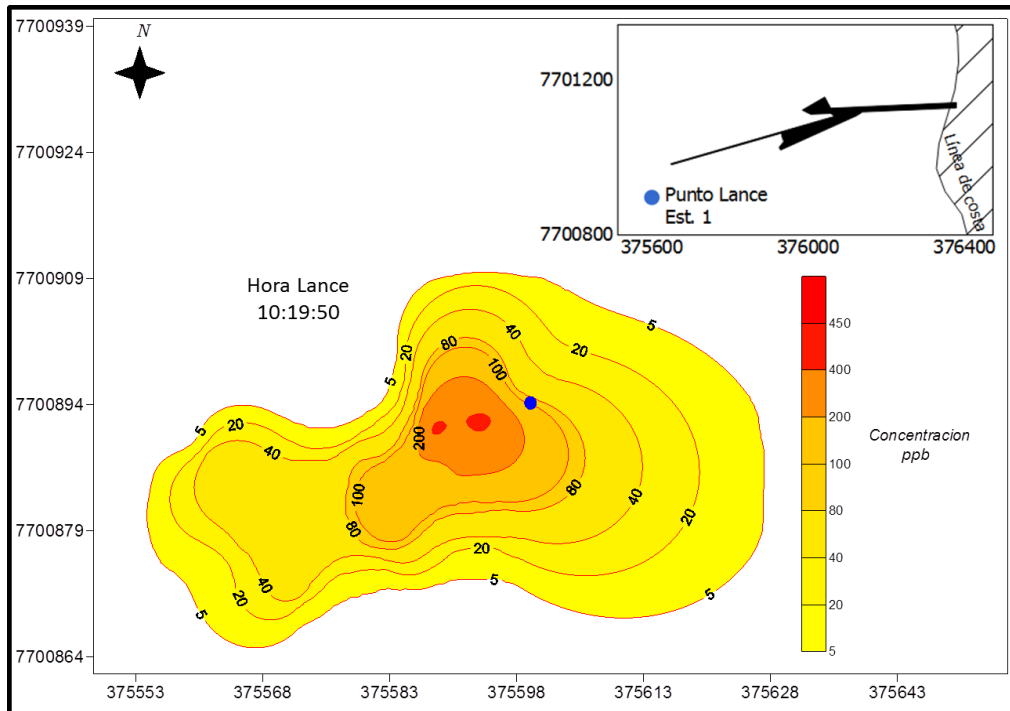
Lance	Fase Lunar	Fecha	Tiempo (s)	Concentración n ppb	r _c (m)	Área (m ²)	Varianza (m ²)	K _a (m ² s ⁻¹)	Marea
				20	2,43	18,55			
				40	2,48	19,32			
				80	1,15	4,15			
				100	2,02	12,82			
				200	0,85	2,27			
3		16.08.15	806	5	1,95	1,86	1,384	3.01*10 ⁻³	Llenante
				20	2,73	2,17			
				40	1,78	1,66			
				80	0,39	1,69			
				100	0,63	2,64			
4		16.08.15	675	200	0,37	1,40	1,348	3.43*10 ⁻³	Vaciente
				5	1,76	9,73			
				20	2,57	20,75			
				40	2,42	18,40			
				80	1,89	11,22			
1		22.08.15	840	100	2,25	15,90	1,551	3.15*10 ⁻³	Llenante
				200	0,78	1,91			
				5	3,09	30,00			
				20	2,27	16,19			
				40	1,21	4,60			
2	Cuadratura	22.08.15	646	80	0,39	0,48	0,996	2.32*10 ⁻³	Vaciente
				100	0,53	0,88			
				5	2,84	13,85			
				20	1,52	11,34			
				40	1,23	9,95			
3		22.08.15	821	80	0,89	2,66	1,568	2.97*10 ⁻³	Llenante
				100	1,17	10,64			
				200	0,12	3,33			
				5	2,58	25,34			
				20	2,76	7,26			
4		22.08.15	822	40	1,52	4,75	0,857	1.28*10 ⁻³	Vaciente
				80	0,46	2,49			
				100	0,44	4,30			
				200	0,00	0,05			
				5	2,10	1,86			
				20	1,90	2,17			
				40	1,78	1,66			
				80	0,92	1,69			
				100	1,84	2,64			
				200	1,03	1,40			

Nota: r_c: radio equivalente; K_a: coeficiente de difusión.

Lances 1 y 2: Estación Roda 1; Lances 3 y 4: Estación Roda 2. Fuente: Elaboración propia

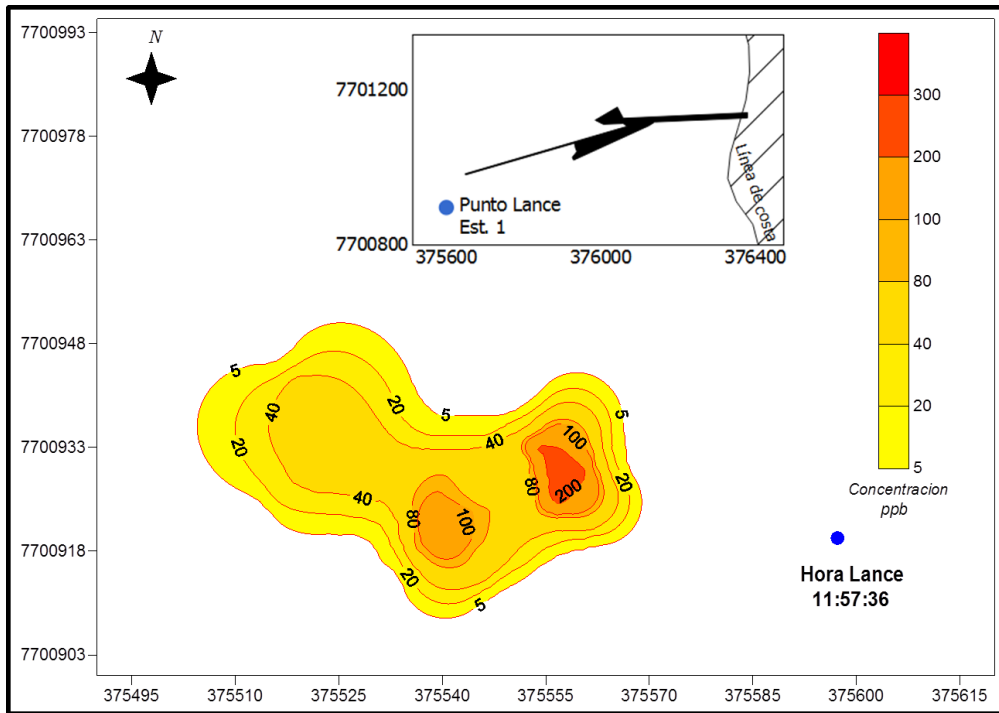
Los coeficientes de dispersión obtenidos en este estudio son similares en magnitud a los observados en la zona centro – sur (Tabla 3.2.10-30; Carrasco, 2000, donde se plantea que valores de $1,8 \cdot 10^{-3}$ son considerados de dispersión baja), lo que sugiere que la capacidad de dispersión del área costera evaluada es baja.

Figura 3.2.10-54. Desplazamiento y dispersión de mancha de rodamina. Sicigia lunar. Marea llanante, invierno 2015. Estación Roda 1.



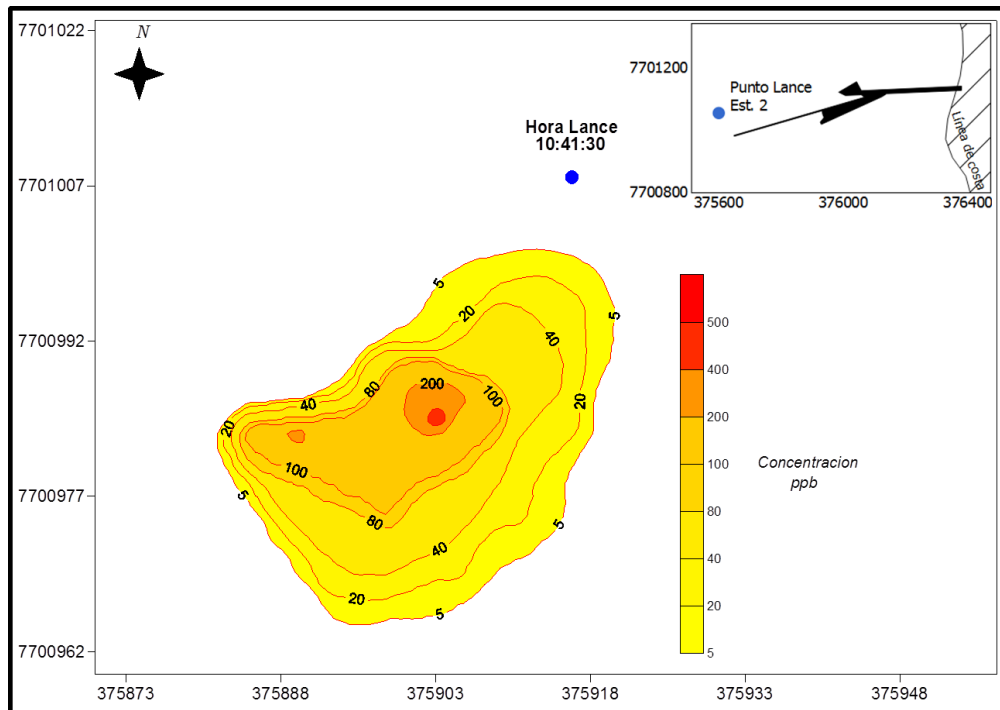
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-55. Desplazamiento y dispersión de mancha de rodamina. Sicigia lunar. Marea vaciante invierno 2015. Estación Roda 1.



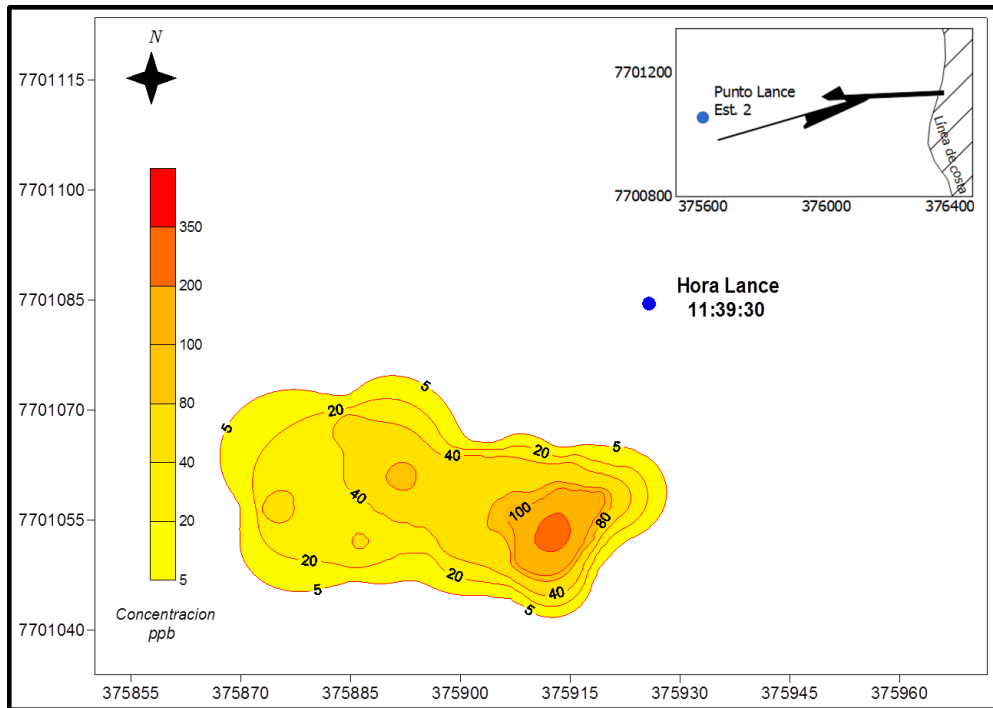
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-56. Desplazamiento y dispersión de mancha de rodamina. Sicigia lunar. Marea llenante, invierno 2015. Estación Roda 2.



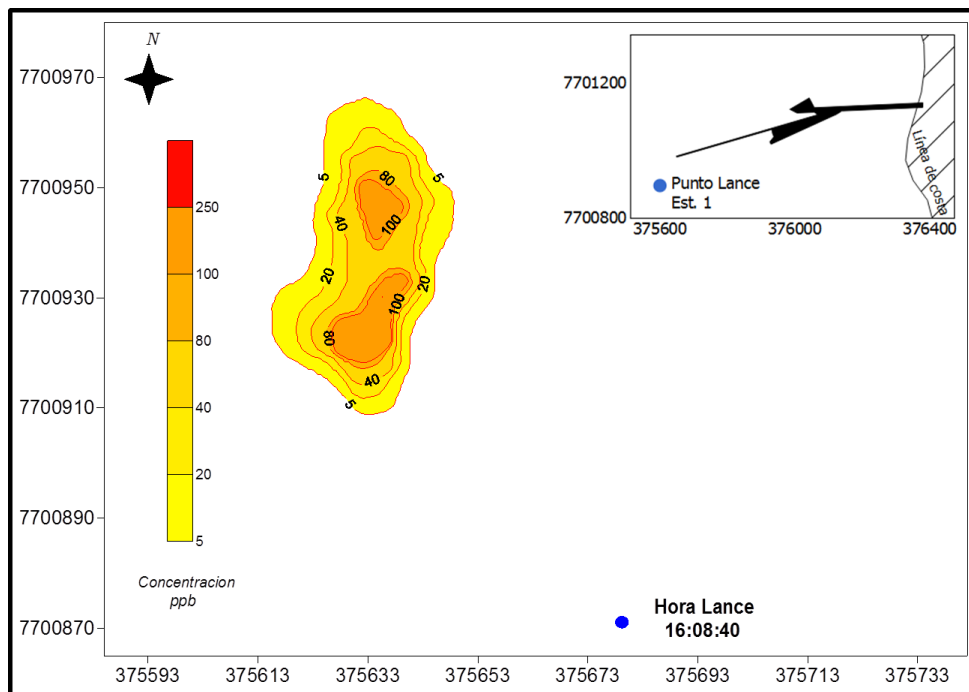
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-57. Desplazamiento y dispersión de mancha de rodamina. Sicigia lunar. Marea vaciante, invierno 2015. Estación Roda 2.



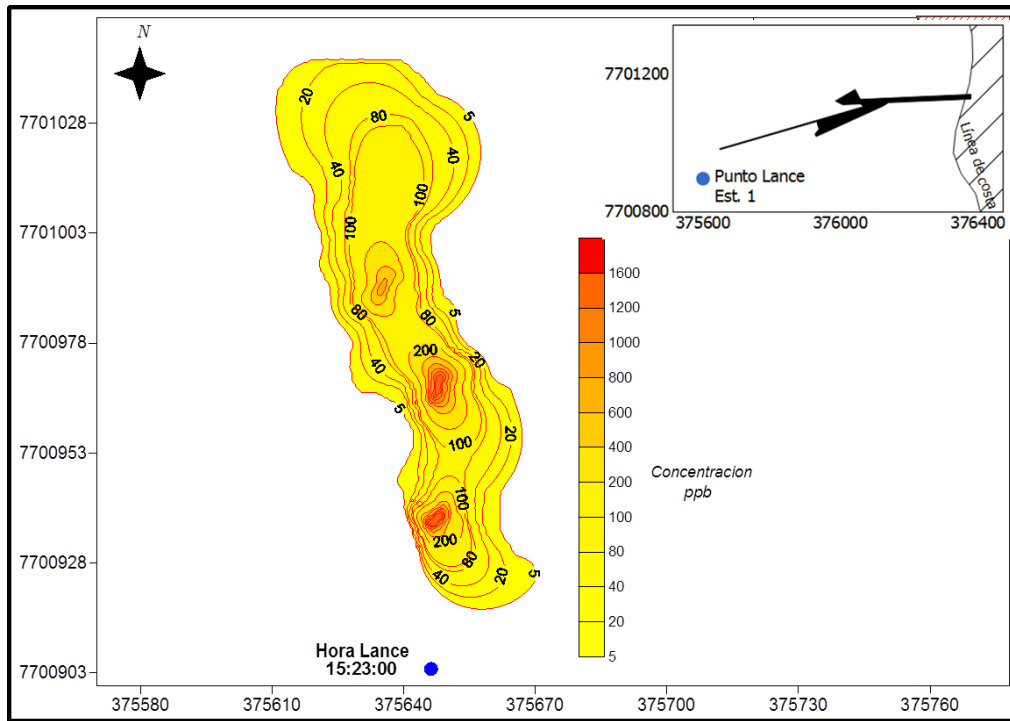
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-58. Desplazamiento y dispersión de mancha de rodamina. Cuadratura lunar. Marea vaciante, invierno 2015. Estación Roda 1.



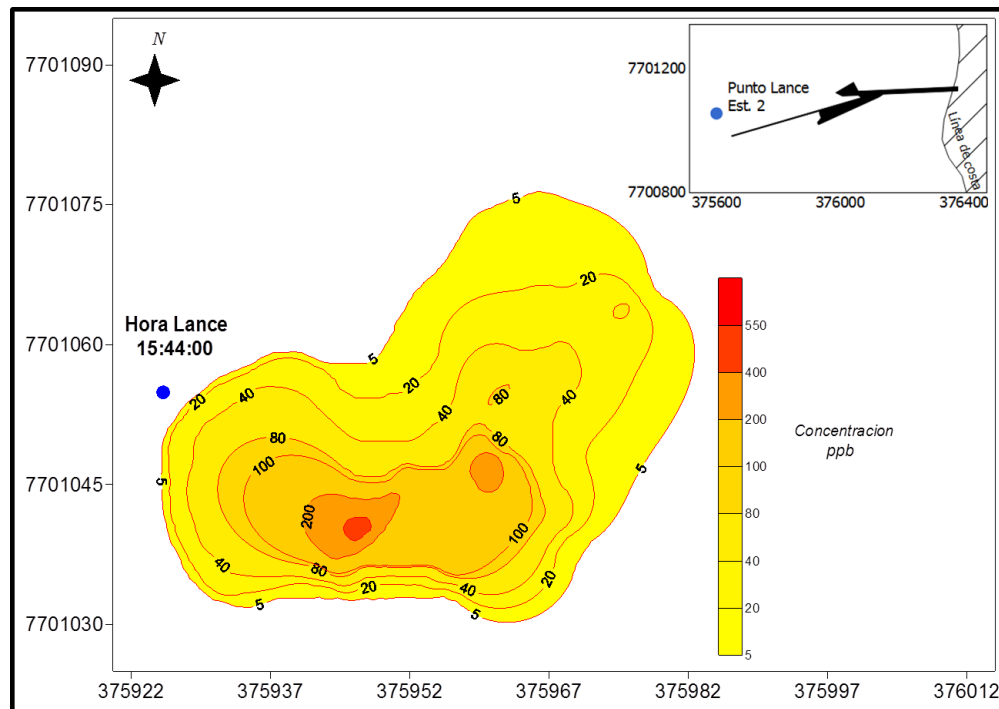
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-59. Desplazamiento y dispersión de mancha de rodamina. Cuadratura lunar. Marea llanante, invierno 2015. Estación Roda 1.



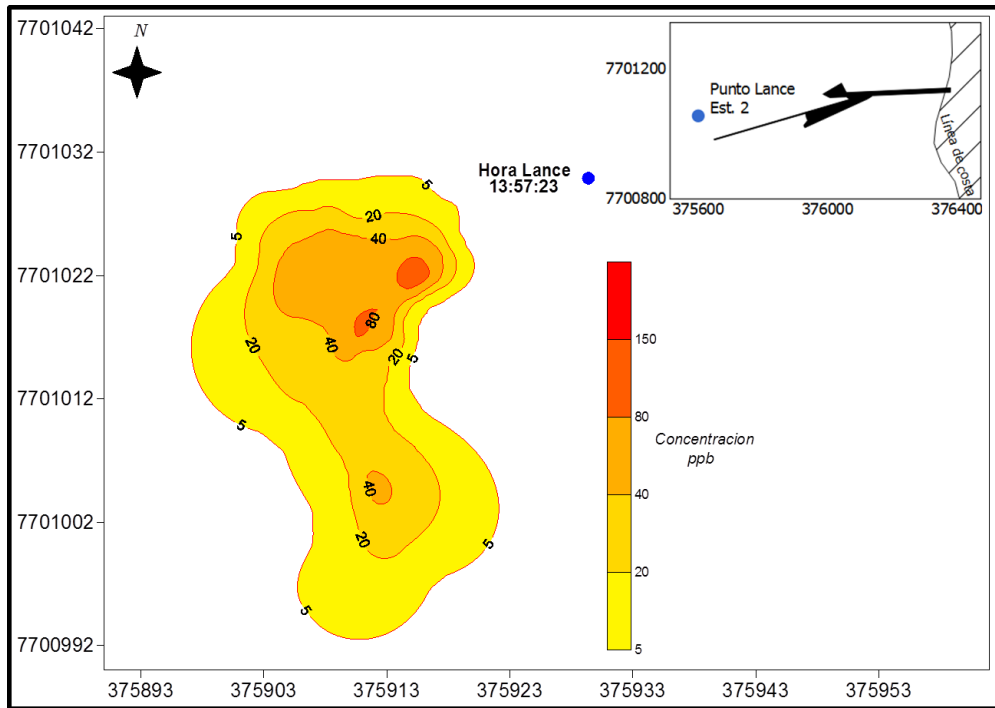
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-60. Desplazamiento y dispersión de mancha de rodamina. Cuadratura lunar. Marea vaciante, invierno 2015. Estación Roda 2.



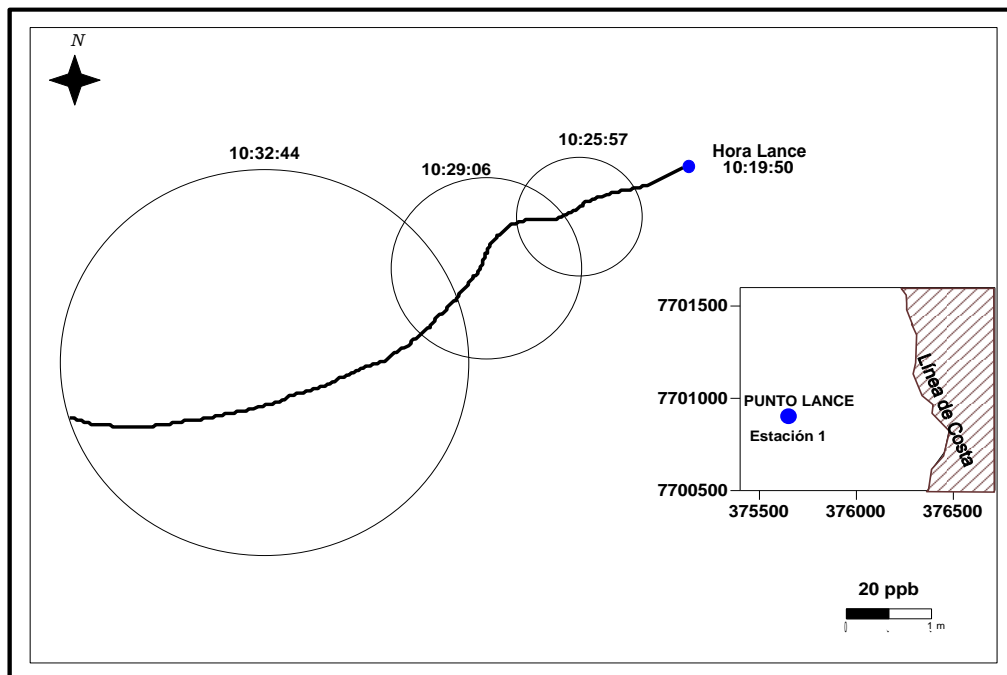
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-61. Desplazamiento y dispersión de mancha de rodamina. Cuadratura lunar, Marea llenante, invierno 2015. Estación Roda 2.



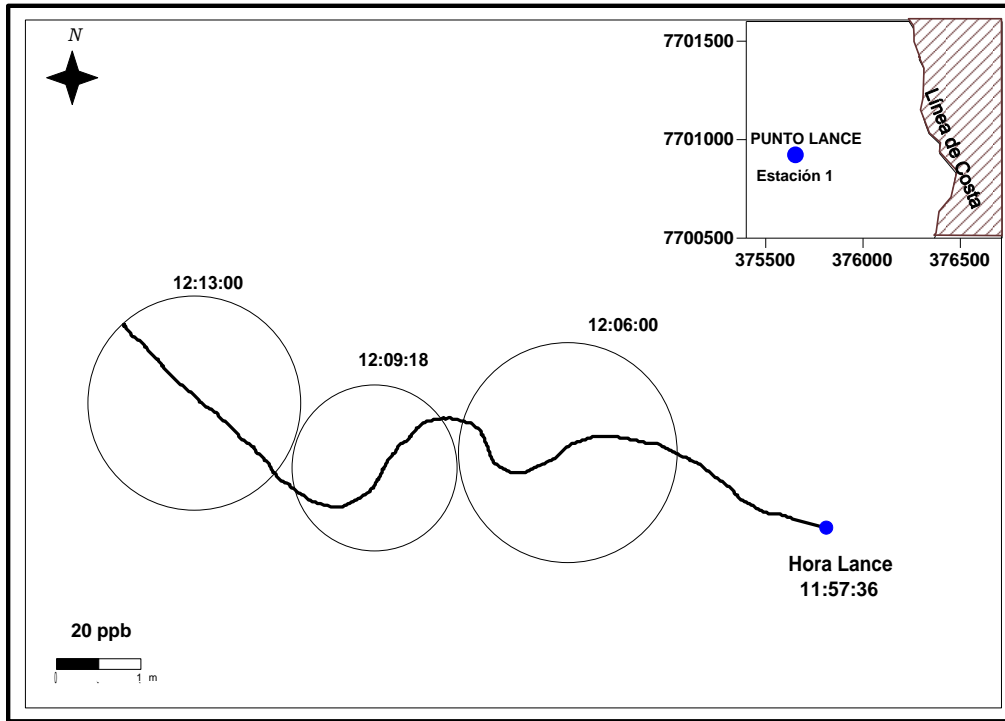
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-62. Evolución temporal de círculos de áreas equivalentes. Sicigia lunar, marea llenante, invierno 2015. Estación Roda 1.



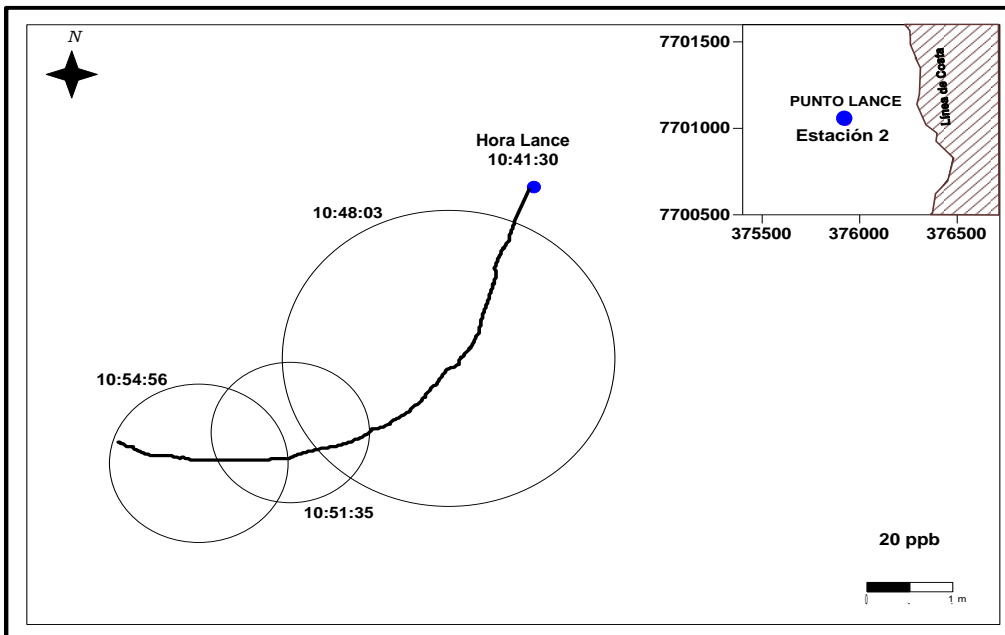
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-63. Evolución temporal de círculos de áreas equivalentes. Sicigia lunar, marea vaciante, invierno 2015. Estación Roda 1.



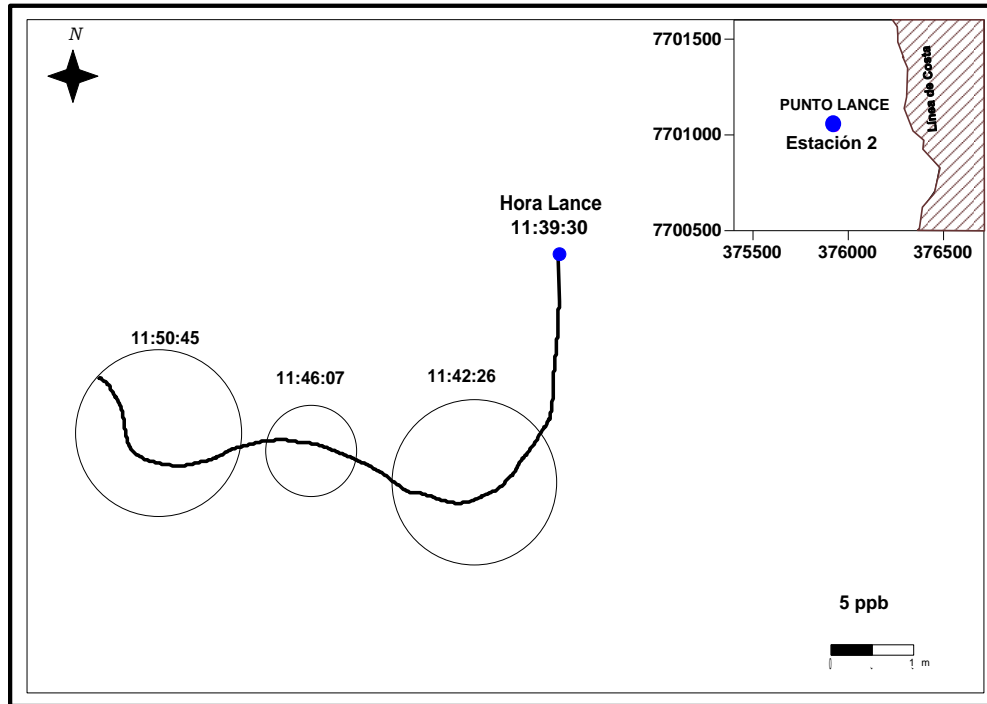
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-64. Evolución temporal de círculos de áreas equivalentes. Sicigia lunar, marea llanante, invierno 2015. Estación Roda 2.



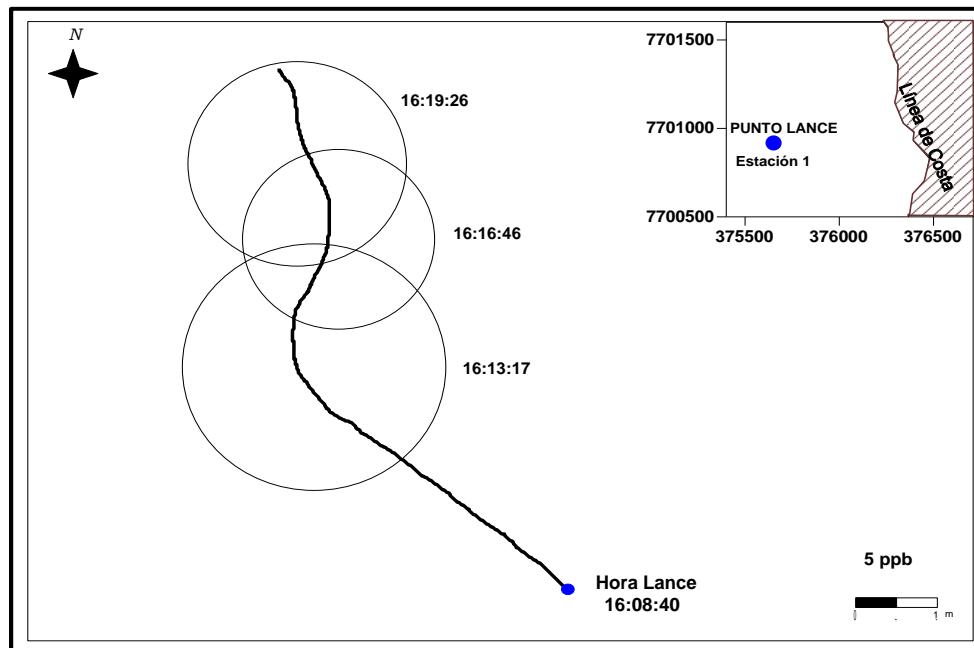
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-65. Evolución temporal de círculos de áreas equivalentes. Sicigia lunar, marea vaciante, invierno 2015. Estación Roda 2.



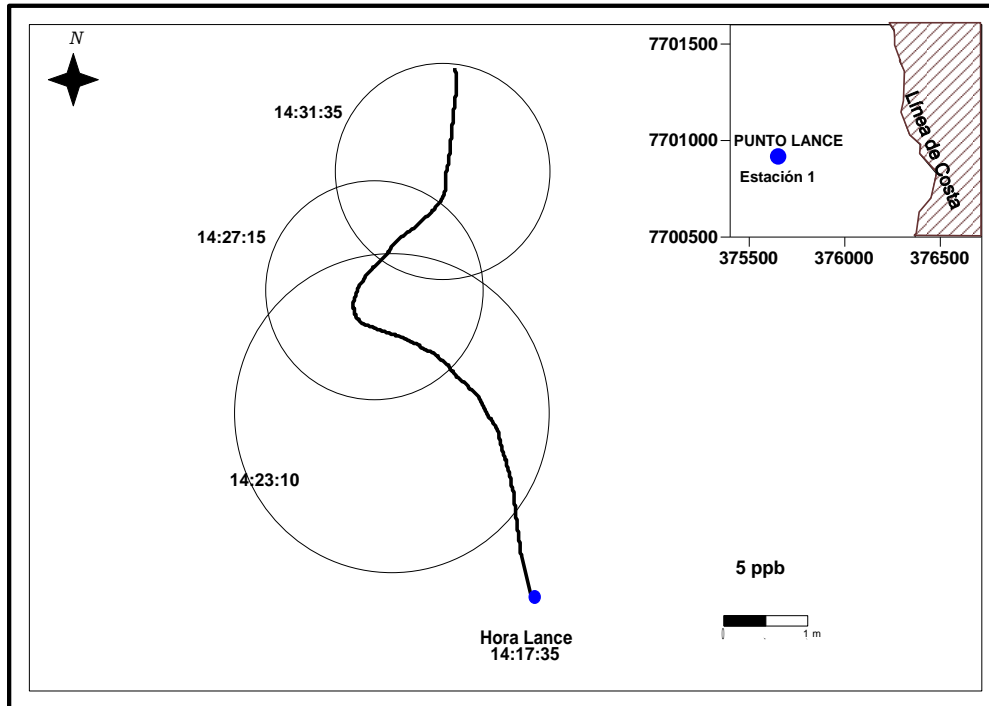
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-66. Evolución temporal de círculos de áreas equivalentes. Cuadratura lunar, marea vaciante, invierno 2015. Estación Roda 1.



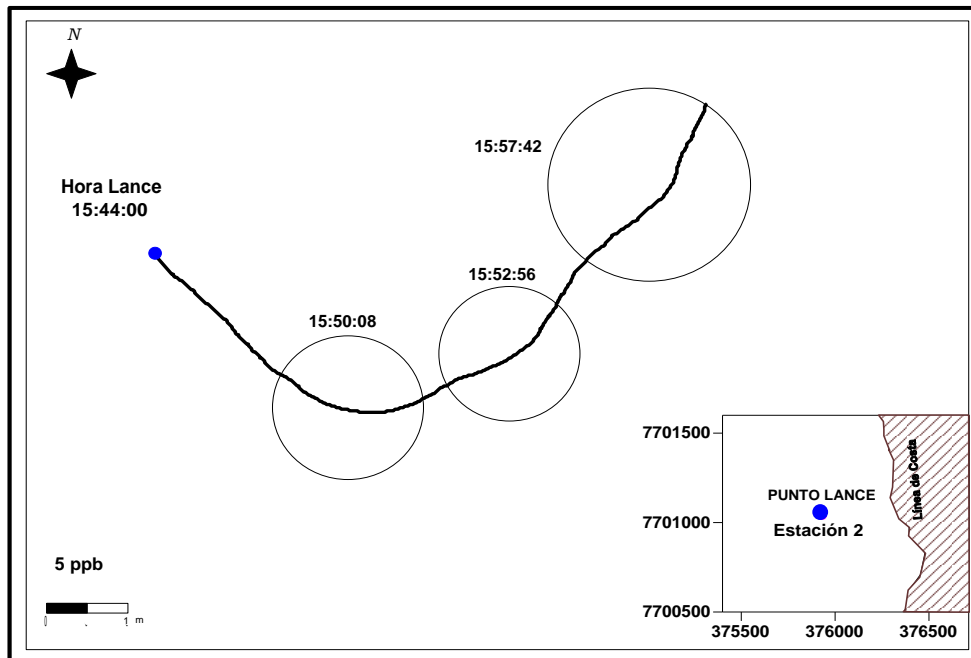
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-67. Evolución temporal de círculos de áreas equivalentes. Cuadratura lunar, marea llenante, invierno 2015. Estación Roda 1.



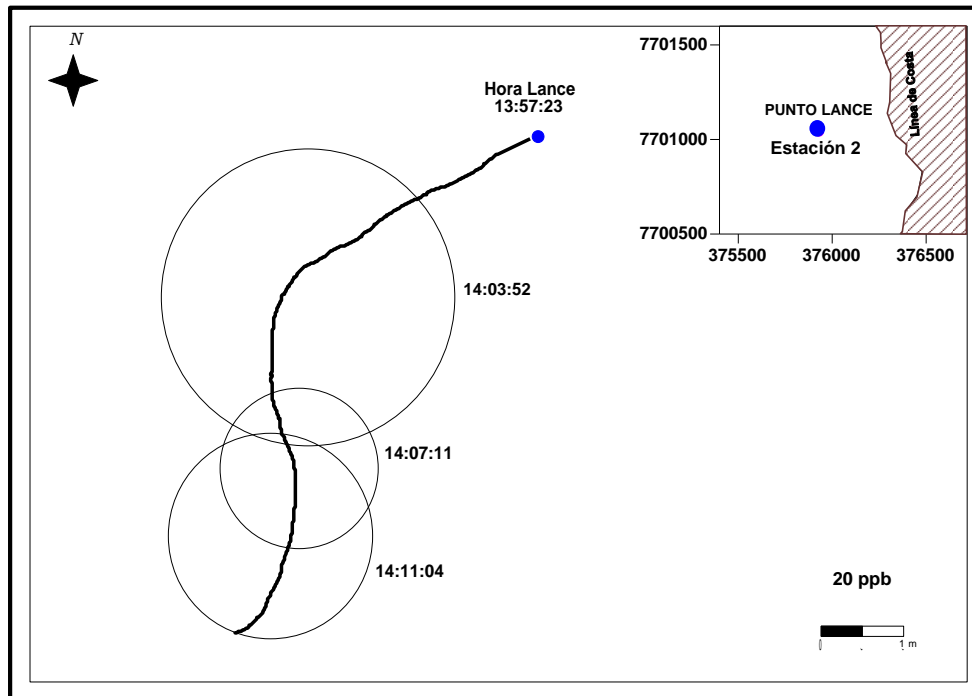
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-68. Evolución temporal de círculos de áreas equivalentes. Cuadratura lunar, marea vaciante, invierno 2015. Estación Roda 2.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-69. Evolución temporal de círculos de áreas equivalentes. Cuadratura lunar, marea llanante, invierno 2015. Estación Roda 2.



Fuente: Elaboración propia

c) Vientos

- Verano 2015

En términos de frecuencia de incidencia, los vientos observados presentaron un predominio de las direcciones asociadas al 2^{do} cuadrante. De esta manera, las mayores ocurrencias de incidencia se registran desde el S y SE (44,7% y 33,2%). El resto de las direcciones se agrupó entre 0,1% (dirección N) y 1,9% (dirección O). La Figura 3.2.10-70 y Tabla 3.2.10-32 resumen esta información.

La mayor ocurrencia de magnitud se registró en el rango de 5,1 a 7,0 m/s, con un porcentaje de incidencia de 26,8%, seguida del rango 3,1 a 5,0 m/s (25,8% de las mediciones). El rango de 1,1 a 3,0 m/s agrupó un 23,6% de las mediciones (Figura 3.2.10-70). El máximo de magnitud fue de 10,7 m/s (dirección SE).

Los vientos registrados durante este período de mediciones se mostraron de mediana intensidad, encontrándose un 0,5% de la información sobre 9,0 m/s (Tabla 3.2.10-32, excedencia). Por último, un 16,2% de las mediciones se ubicó en la categoría calma (Tabla 3.2.10-32, incidencia).

Para determinar el comportamiento del viento en el dominio de la frecuencia, se implementó y aplicó un análisis estadístico de tipo espectral estándar (12 grados de libertad y 95% de confianza)

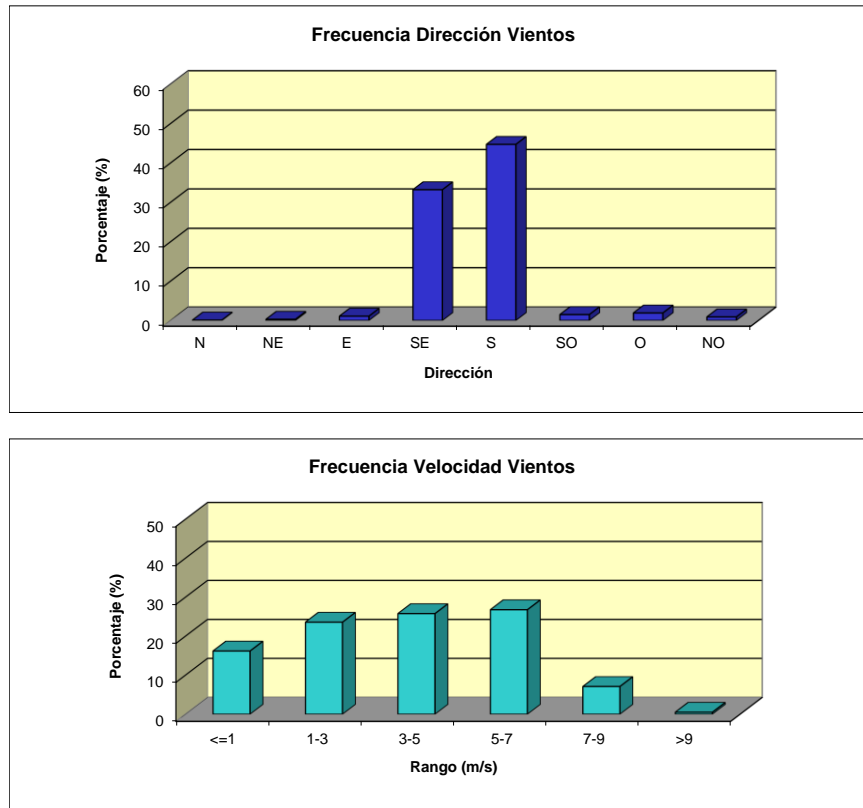
utilizando el software de libre acceso llamado Scilab (www.scilab.org). El análisis espectral de las componentes ortogonales de los vientos (Figura 3.2.10-71) mostró alto contenido de energía en la banda diurna, indicativo de un posible ciclo diario del viento.

Tabla 3.2.10-32. Frecuencia de incidencia y excedencia de viento. Campaña verano 2015.

Velocidad	Frecuencia de Incidencia de Vientos								
	Direcciones								TOTAL
(m/s)	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	
<= 1,0	1,0	1,0	2,7	4,4	1,4	1,5	2,4	1,9	16,2
1,1 - 3,0	0,1	0,2	1,0	6,7	11,5	1,3	1,8	0,9	23,6
3,1 - 5,0	0,0	0,2	0,1	10,2	15,1	0,2	0,1	0,0	25,8
5,1 - 7,0	0,0	0,0	0,0	11,7	15,2	0,0	0,0	0,0	26,8
7,1 - 9,0	0,0	0,0	0,0	4,3	2,8	0,0	0,0	0,0	7,1
> 9,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,5
Total Efectivo	0,1	0,3	1,1	33,2	44,7	1,5	1,9	0,9	83,8
Máximo (m/s)	2,7	4,5	4,8	10,7	9,9	3,6	4,4	2,9	10,7
Promedio (m/s)	1,8	2,8	1,8	4,9	4,5	2,1	1,8	1,6	4,5
Velocidad	Frecuencia de Excedencia de Vientos								
	Direcciones								TOTAL
(m/s)	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	
> 9,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,5
> 7,0	0,0	0,0	0,0	4,7	2,9	0,0	0,0	0,0	7,6
> 5,0	0,0	0,0	0,0	16,3	18,1	0,0	0,0	0,0	34,4
> 3,0	0,0	0,2	0,1	26,5	33,2	0,2	0,1	0,0	60,2
> 1,0	0,1	0,3	1,1	33,2	44,7	1,5	1,9	0,9	83,8

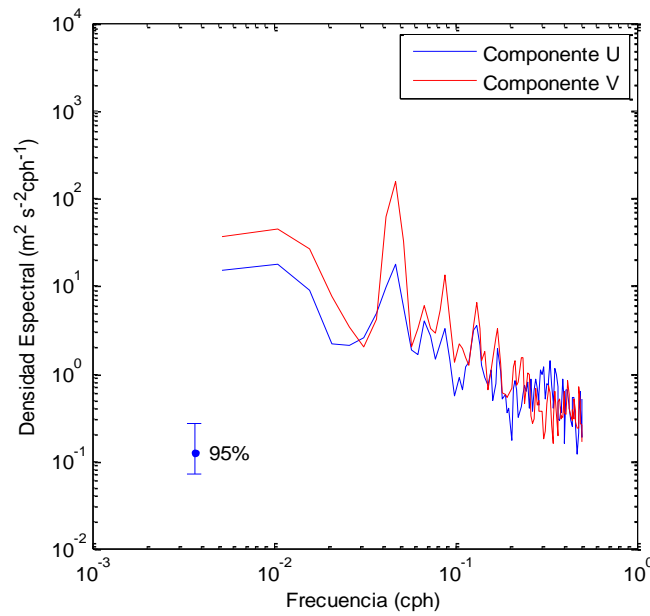
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-70. Histograma de frecuencia de dirección y velocidad del viento. Campaña verano 2015.



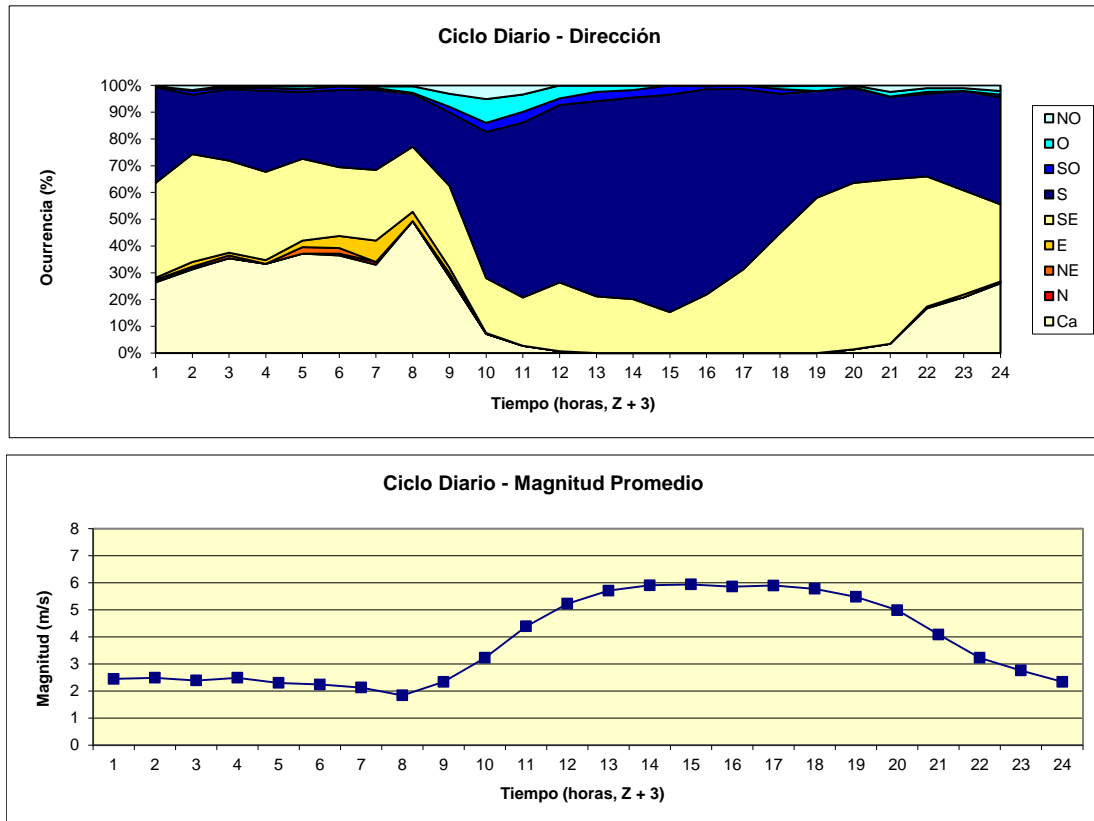
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-71. Autoespectros del viento. Campaña verano 2015.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-72. Ciclo diario del viento, dirección y magnitud promedio. Campaña verano 2015.



Fuente: Elaboración propia

Al respecto, en la Figura 3.2.10-72 se observa que en el área costera evaluada existe un ciclo diario del viento en términos direccionales y de magnitud. Durante el día, los vientos muestran una clara dominancia de la dirección S, es decir, provenientes del sur (Figura 3.2.10-72). Durante la noche y madrugada, existe mayor cantidad de calmas, no obstante también existe viento proveniente desde el S y SE. En términos de magnitud, se observa decaimiento en horas de la noche hasta las 09:00 horas. Durante el día se aprecia un máximo promedio de 5,94 m/s (15:00 horas, Z + 3).

- Invierno 2015

En términos de frecuencia de incidencia, los vientos observados presentaron un predominio desde la dirección S (47,3%). El resto de las direcciones se agrupó entre 2,0% (dirección E) y 8,0% (dirección NO). La Figura 3.2.10-73 y la Tabla 3.2.10-33, resumen esta información.

La mayor ocurrencia de magnitud se registró en el rango de 1,1 a 3,0 m/s, con un porcentaje de incidencia de 60,8%, seguida del rango 3,1 a 5,0 m/s (22,5% de las mediciones). El rango de 5,1 a 7,0 m/s agrupó un 2,6% de las mediciones (Figura 3.2.10-73). El máximo de magnitud fue de 9,0 m/s (dirección NO).

Los vientos registrados durante este período de mediciones se mostraron de mediana a baja intensidad, encontrándose un 2,6% de la información sobre 5,0 m/s (Tabla 3.2.10-33, excedencia). Por último, un 14,1% de las mediciones se ubicó en la categoría calma (≤ 1 m/s; Tabla 3.2.10-33, incidencia).

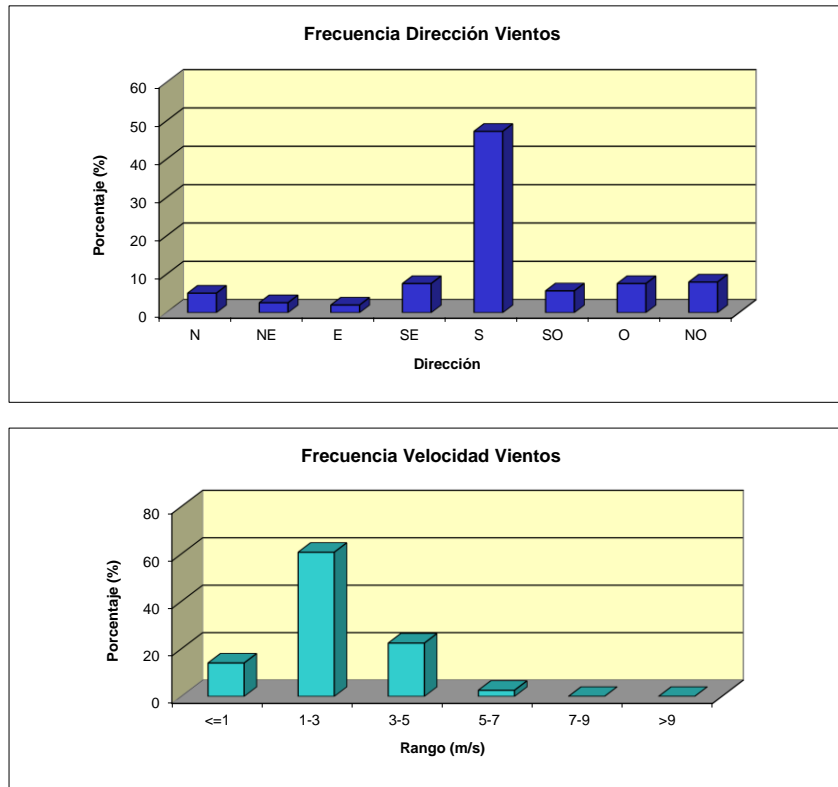
Para determinar el comportamiento del viento en el dominio de la frecuencia, se implementó y aplicó un análisis estadístico de tipo espectral estándar (12 grados de libertad y 95% de confianza) utilizando el software de libre acceso llamado Scilab (www.scilab.org). El análisis espectral de las componentes ortogonales de los vientos (Figura 3.2.10-74) mostró contenido de energía en la banda diurna (componentes U y V), indicativo de un posible ciclo diario del viento.

Tabla 3.2.10-33. Frecuencia de incidencia y excedencia de viento. Campaña invierno 2015.

Velocidad	Frecuencia de Incidencia de Vientos								
	Direcciones								TOTAL
(m/s)	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	
$\leq 1,0$	1,2	0,8	1,3	2,2	3,8	1,8	1,6	1,5	14,1
1,1 - 3,0	3,7	1,9	1,1	6,5	29,7	4,9	7,5	5,5	60,8
3,1 - 5,0	1,3	0,5	0,8	1,0	15,6	0,8	0,1	2,4	22,5
5,1 - 7,0	0,2	0,1	0,1	0,1	2,0	0,0	0,0	0,1	2,6
7,1 - 9,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$> 9,0$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total Efectivo	5,1	2,6	2,0	7,6	47,3	5,7	7,6	8,0	85,9
Máximo (m/s)	6,7	7,2	5,5	6,4	7,0	4,1	3,2	9,0	9,0
Promedio (m/s)	2,6	2,5	2,9	2,1	2,8	2,2	2,0	2,7	2,6
Velocidad	Frecuencia de Excedencia de Vientos								
	Direcciones								TOTAL
(m/s)	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	
$> 9,0$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$> 7,0$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$> 5,0$	0,2	0,1	0,1	0,1	2,0	0,0	0,0	0,2	2,6
$> 3,0$	1,4	0,6	0,9	1,1	17,6	0,8	0,1	2,5	25,1
$> 1,0$	5,1	2,6	2,0	7,6	47,3	5,7	7,6	8,0	85,9

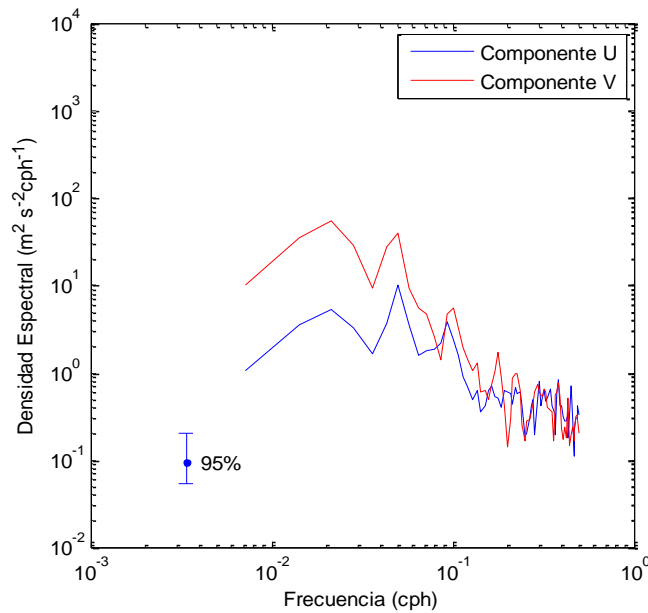
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-73. Histograma de frecuencia de dirección y velocidad del viento. Campaña invierno 2015.



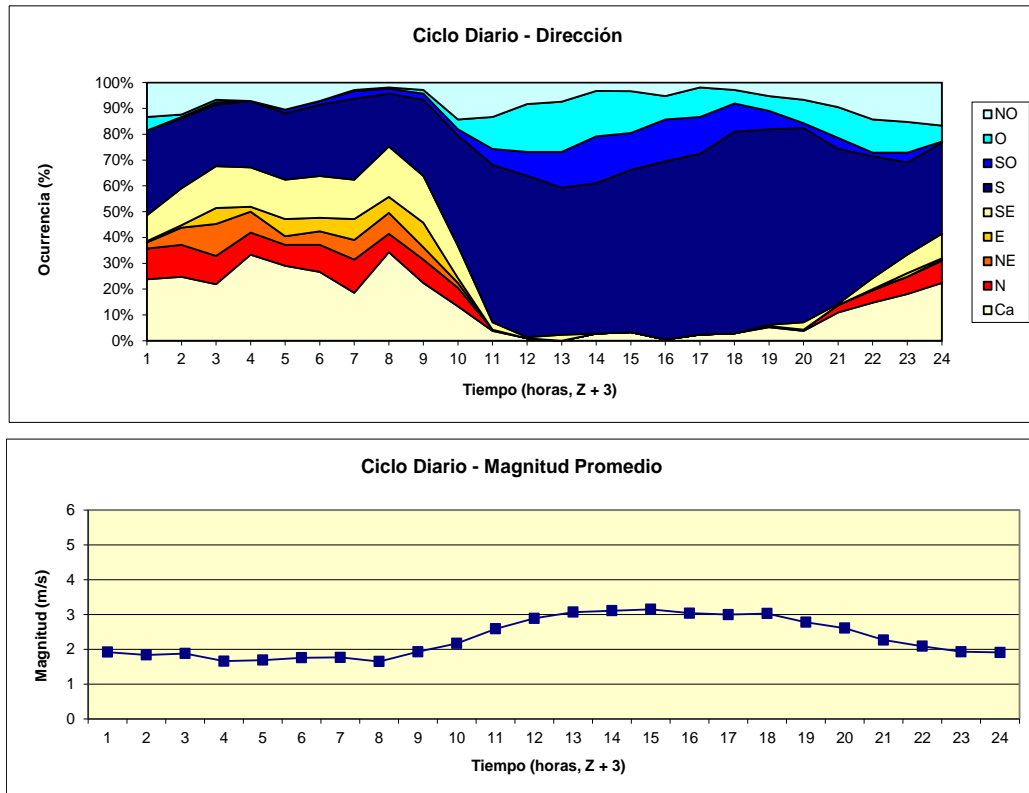
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-74. Autoespectros del viento. Campaña invierno 2015.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-75. Ciclo diario del viento, dirección y magnitud promedio. Campaña invierno 2015.



Fuente: Elaboración propia

Al respecto, en la Figura 3.2.10-75 se observa que en el área costera evaluada existe un ciclo diario del viento en términos direccionales y de magnitud. Durante el día, los vientos muestran una clara dominancia desde la dirección S (Figura 3.2.10-75). Durante la noche y madrugada, existe mayor cantidad de calmas, no obstante también existe viento desde la dirección S y SE. En términos de magnitud, se observa decaimiento en horas de la noche hasta las 09:00 horas. Durante el día se aprecia un máximo promedio de 3,15 m/s (15:00 horas, Z + 3).

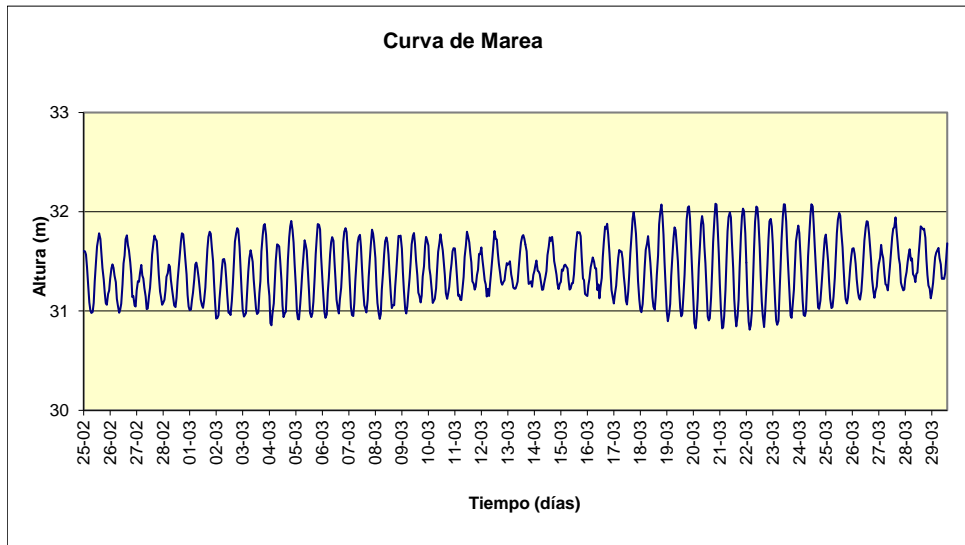
d) Marea

- Verano 2015

La Figura 3.2.10-76 muestra la curva de marea registrada. En ella, se observa el efecto de las sicigias del 05 y 20 de marzo de 2015, con mayores amplitudes y un retardo inercial de 1 a 2 días. Así también, se observa las mínimas amplitudes producto de las cuadraturas del 25 de febrero y 13 de marzo de 2015.

De la inspección de la Figura 3.2.10-76, se deduce que la marea en el área costera evaluada es de tipo mixto predominantemente semidiurna, es decir, en un día se presenta la ocurrencia de dos pleamares y dos bajamares, con diferencia de alturas entre ellas.

Figura 3.2.10-76. Curva de marea observada. Campaña verano 2015.



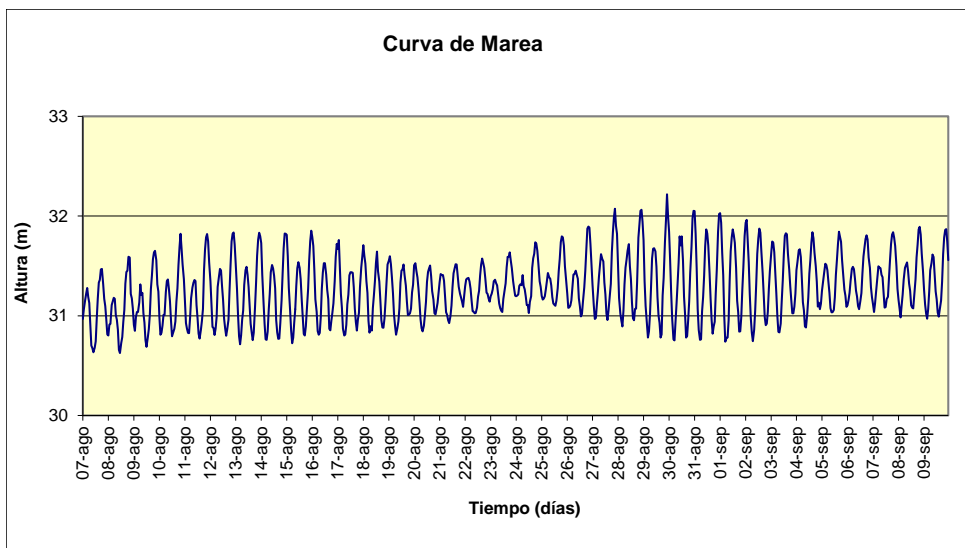
Fuente: Elaboración propia

- Invierno 2015

La Figura 3.2.10-77 muestra la curva de marea registrada. En ella, se observa el efecto de las sicigias del 14 y 29 de agosto de 2015, con mayores amplitudes y un retardo inercial de 1 a 2 días. Así también, se observa las mínimas amplitudes producto de las cuadraturas del 22 de agosto y 5 de septiembre de 2015.

De la inspección de la Figura 3.2.10-77, se deduce que la marea en el área costera evaluada es de tipo mixto predominantemente semi-diurna, es decir, en un día se presenta la ocurrencia de dos pleamares y dos bajamares, con diferencia de alturas entre ellas.

Figura 3.2.10-77. Curva de marea observada. Campaña invierno 2015.



Fuente: Elaboración propia

e) Mediciones locales de olas

• Verano 2015

En el Anexo 3.2.10-1 (Olas TECK Ver15), se entregan los parámetros de olas locales, esto es, altura significativa (H_s), período promedio (T_{pro}) y dirección espectral. En tanto, la Tabla 3.2.10-35 muestra la distribución conjunta de los parámetros de olas H_s versus T_{pro} .

La Figura 3.2.10-81 muestra la distribución direccional de las olas medidas (rosa de 8 direcciones). En ella se observa que las olas inciden en el área costera evaluada mayoritariamente de las direcciones O y SO, con porcentajes de incidencia de 53,1% y 45,5%, respectivamente. El resto de las direcciones prácticamente no tienen incidencia.

La Figura 3.2.10-82 muestra la distribución de las alturas significativas (H_s) respecto del tiempo y su distribución porcentual respecto de diferentes rangos de altura. Al respecto, se aprecia que las alturas significativas se agrupan mayoritariamente entre 0,50 y 1,00 metros (64,1%) y entre 1,01 a 1,50 (29,3%). La máxima altura significativa muestreada fue de 2,0 metros (Anexo 3.2.10-1).

Respecto del período T_{pro} , la Figura 3.2.10-83 muestra su comportamiento a través del tiempo y su distribución porcentual respecto de diferentes rangos de período. En general, se aprecia que los períodos se agrupan mayoritariamente entre los rangos 10 a 11 y 9 a 10 segundos, con valores porcentuales de 24,1% y 21,4%, respectivamente (Tabla 3.2.10-35). El mínimo período espectral detectado fue de 6,7 segundos, mientras que el máximo detectado fue de 17,9 segundos (Anexo 3.2.10-1).

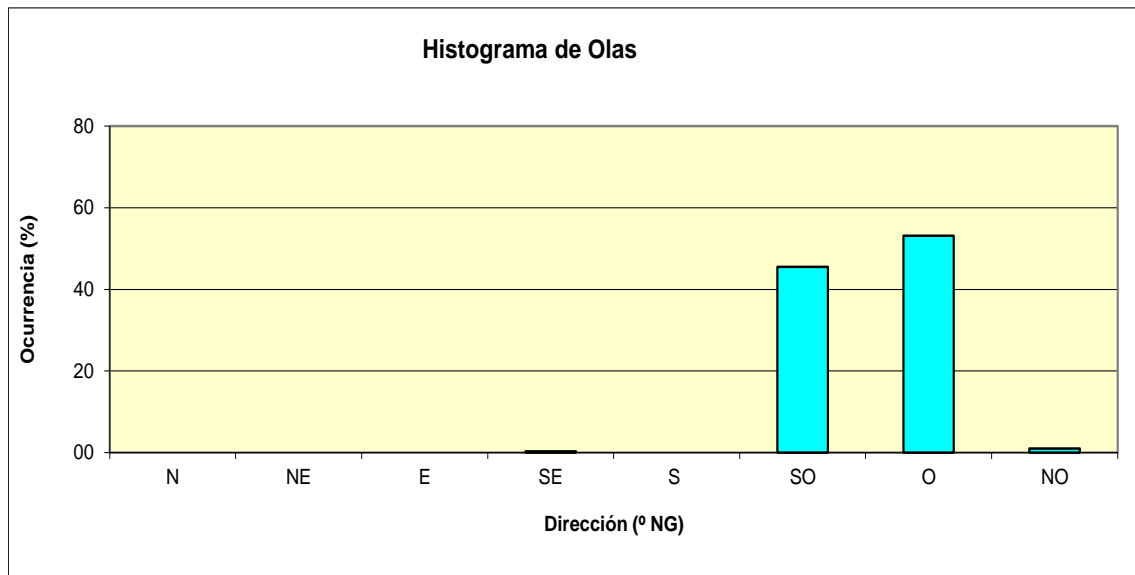
**Tabla 3.2.10-34. Distribución conjunta altura significativa (H_s) v/s período (T_{pro}).
Campaña verano 2015.**

Período (Seg.)	Altura (m)					Total	Total (%)
	0,00 - 0,50	0,501 - 1,00	1,01 - 1,50	1,501 - 2,00	2,01 - 2,50		
0 - 1	0	0	0	0	0	0	0,0
1 - 2	0	0	0	0	0	0	0,0
2 - 3	0	0	0	0	0	0	0,0
3 - 4	0	0	0	0	0	0	0,0
4 - 5	0	0	0	0	0	0	0,0
5 - 6	0	0	0	0	0	0	0,0
6 - 7	0	1	1	0	0	2	0,7
7 - 8	0	5	0	0	0	5	1,7
8 - 9	0	26	0	0	0	26	9,0
9 - 10	0	62	0	0	0	62	21,4
10 - 11	0	45	25	0	0	70	24,1
11 - 12	0	25	19	4	0	48	16,6
12 - 13	0	15	24	2	0	41	14,1
13 - 14	0	6	9	4	0	19	6,6
14 - 15	0	1	5	2	0	8	2,8

Período (Seg.)	Altura (m)					Total	Total (%)
	0,00 - 0,50	0,501 - 1,00	1,01 - 1,50	1,501 - 2,00	2,01 - 2,50		
15 - 16	0	0	0	1	0	1	0,3
16 - 17	0	0	1	4	0	5	1,7
17 - 18	0	0	1	2	0	3	1,0
18 - 19	0	0	0	0	0	0	0,0
Total	0	186	85	19	0	290	100
Total (%)	0,0	64,1	29,3	6,6	0,0	100	

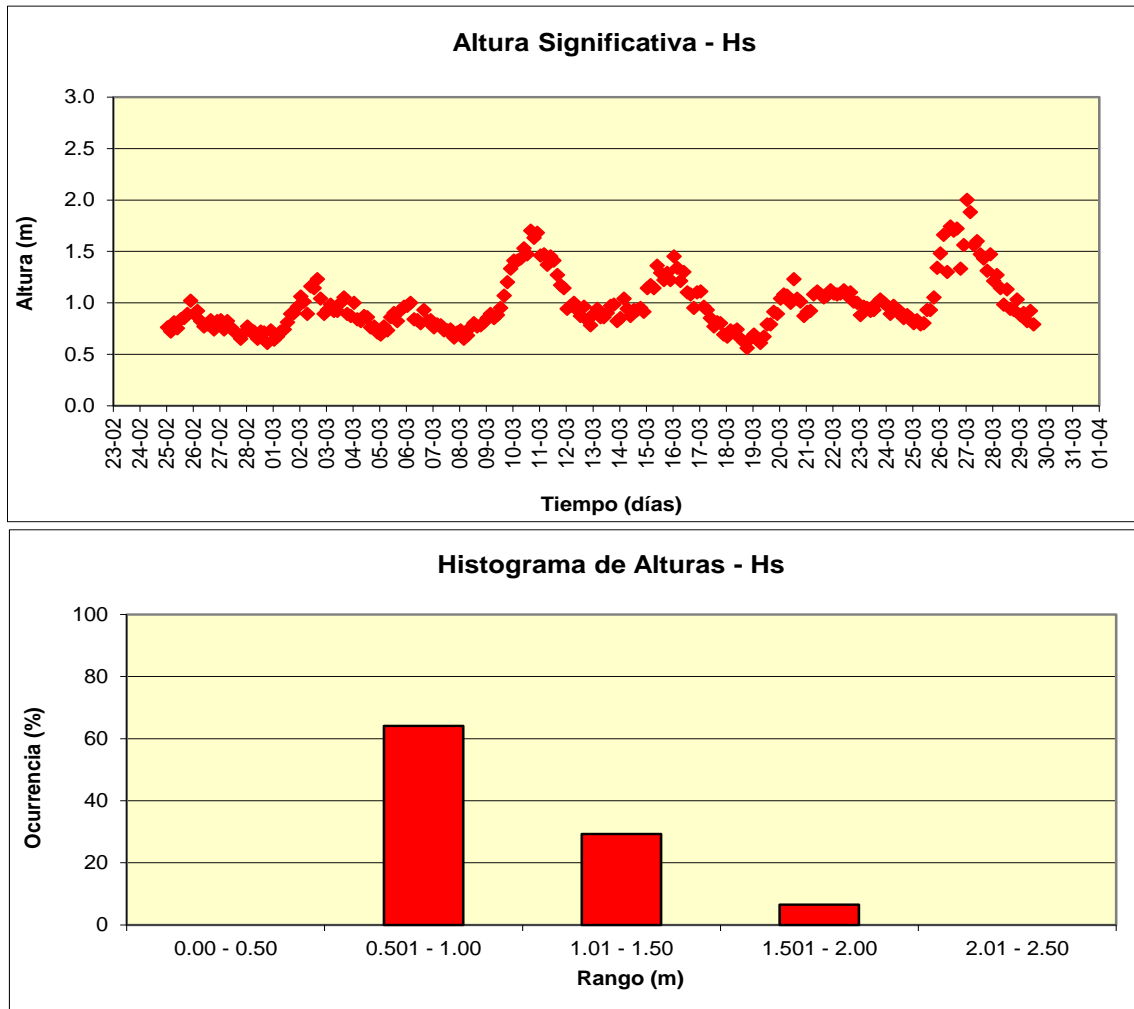
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-78. Histograma de incidencia del oleaje medido en el área costera evaluada. Campaña verano 2015.



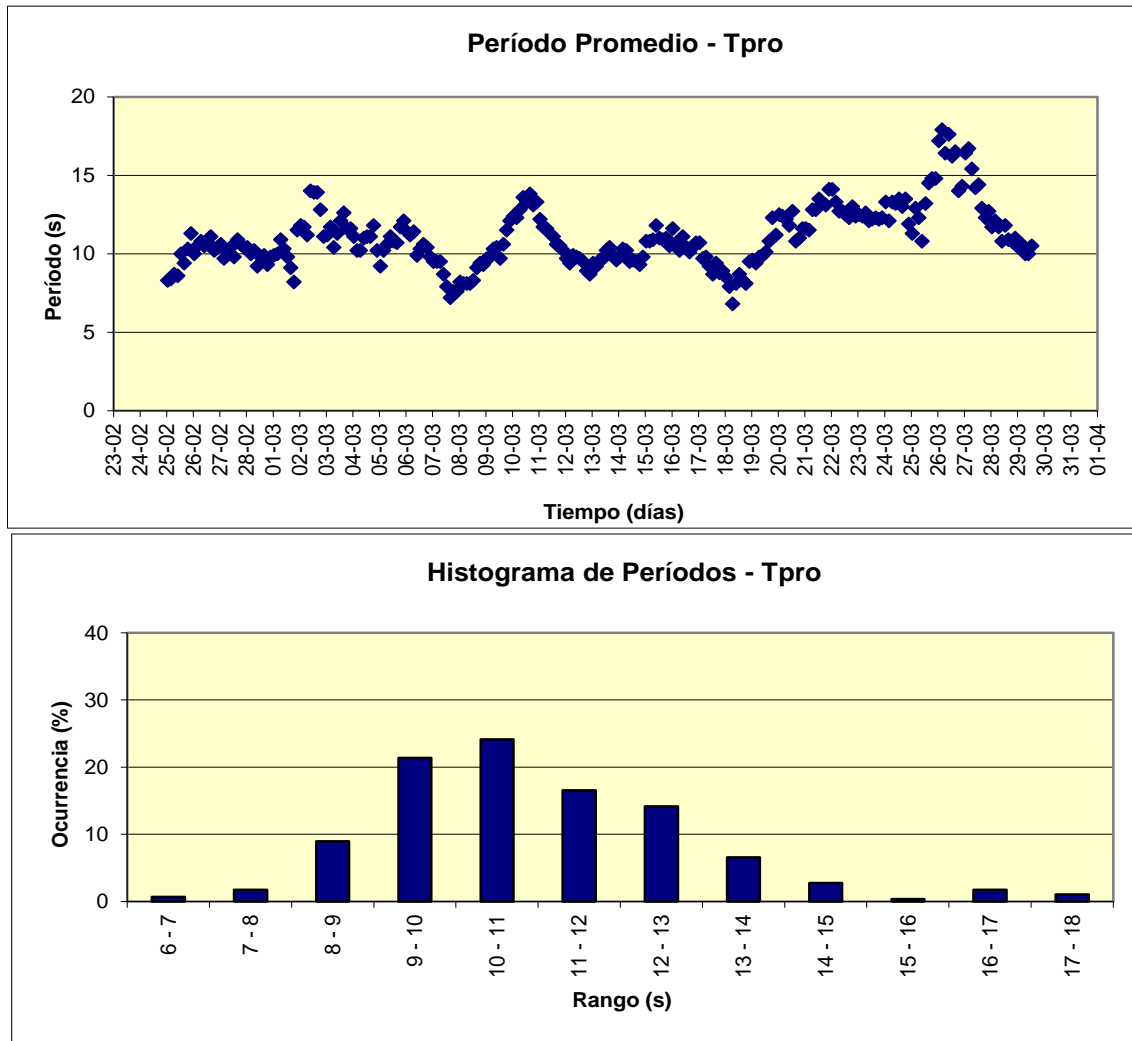
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-79. Altura significativa oleaje. Campaña verano 2015.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-80. Período T_{pro} oleaje. Campaña verano 2015.



Fuente: Elaboración propia

- Invierno 2015

En el Anexo 3.2.10-1 (Olas TECK Inv15), se entregan los parámetros de olas locales, esto es, altura significativa (H_s), período promedio (T_{pro}) y dirección espectral. En tanto, la Tabla 3.2.10-35 muestra la distribución conjunta de los parámetros de olas H_s versus T_{pro} .

La Figura 3.2.10-81 muestra la distribución direccional de las olas medidas (rosa de 8 direcciones). En ella se observa que las olas inciden en el área costera evaluada mayoritariamente de las direcciones O y SO, con porcentajes de incidencia de 66,2% y 31,6%, respectivamente. El resto de las direcciones prácticamente no tienen incidencia.

La Figura 3.2.10-82 muestra la distribución de las alturas significativas (H_s) respecto del tiempo y su distribución porcentual respecto de diferentes rangos de altura. Al respecto, se aprecia que las

alturas significativas se agrupan mayoritariamente entre 1,01 y 1,50 metros (48,5%) y entre 0,50 a 1,00 (40,1%). La máxima altura significativa muestreada fue de 2,85 metros (Anexo 3.2.10-1).

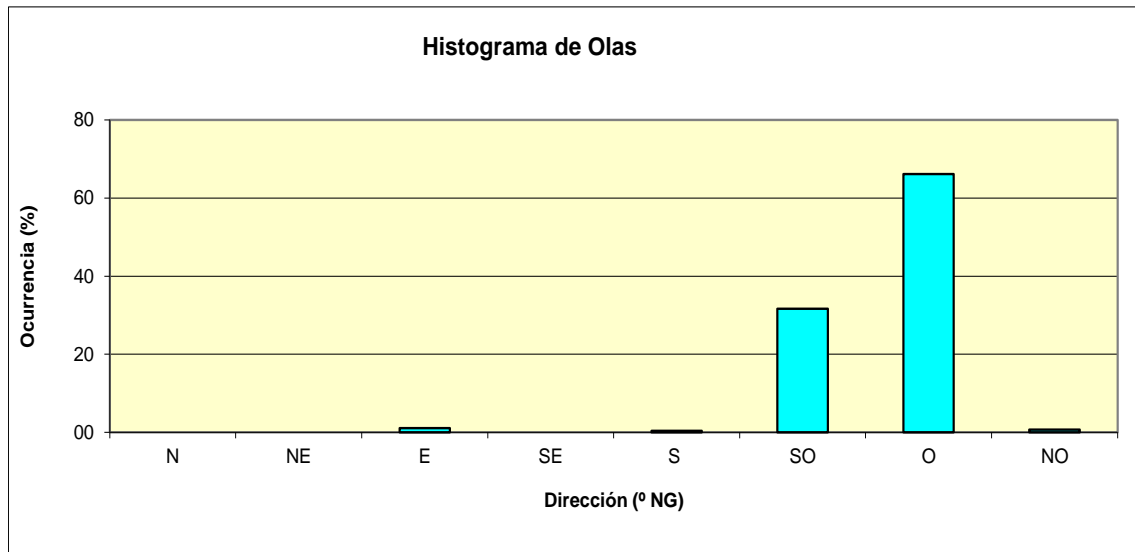
Respecto del periodo T_{pro} , la Figura 3.2.10-83 muestra su comportamiento a través del tiempo y su distribución porcentual respecto de diferentes rangos de periodo. En general, se aprecia que los periodos se agrupan mayoritariamente entre los rangos 10 a 11 y 8 a 9 segundos, con valores porcentuales de 24,6% y 19,9%, respectivamente (Tabla 3.2.10-35). El mínimo período espectral detectado fue de 6,6 segundos, mientras que el máximo detectado fue de 16,2 segundos (Anexo 3.2.10-1).

Tabla 3.2.10-35. Distribución conjunta altura significativa (Hs) v/s periodo (T_{pro}). Campaña invierno 2015.

Período (Seg.)	Altura (m)						Total	Total (%)
	0,00 - 0,50	0,501 - 1,00	1,01 - 1,50	1,501 - 2,00	2,01 - 2,50	>2,50		
0 - 1	0	0	0	0	0	0	0	0,0
1 - 2	0	0	0	0	0	0	0	0,0
2 - 3	0	0	0	0	0	0	0	0,0
3 - 4	0	0	0	0	0	0	0	0,0
4 - 5	0	0	0	0	0	0	0	0,0
5 - 6	0	0	0	0	0	0	0	0,0
6 - 7	0	3	1	0	0	0	4	1,5
7 - 8	0	17	13	2	0	0	32	11,8
8 - 9	0	32	19	3	0	0	54	19,9
9 - 10	0	20	19	5	0	0	44	16,2
10 - 11	0	22	39	3	2	1	67	24,6
11 - 12	0	6	21	2	3	1	33	12,1
12 - 13	0	8	9	3	2	0	22	8,1
13 - 14	0	1	8	1	0	0	10	3,7
14 - 15	0	0	3	0	1	0	4	1,5
15 - 16	0	0	0	0	0	1	1	0,4
16 - 17	0	0	0	1	0	0	1	0,4
17 - 18	0	0	0	0	0	0	0	0,0
18 - 19	0	0	0	0	0	0	0	0,0
Total	0	109	132	20	8	3	272	100
Total (%)	0,0	40,1	48,5	7,4	2,9	1,1	100	

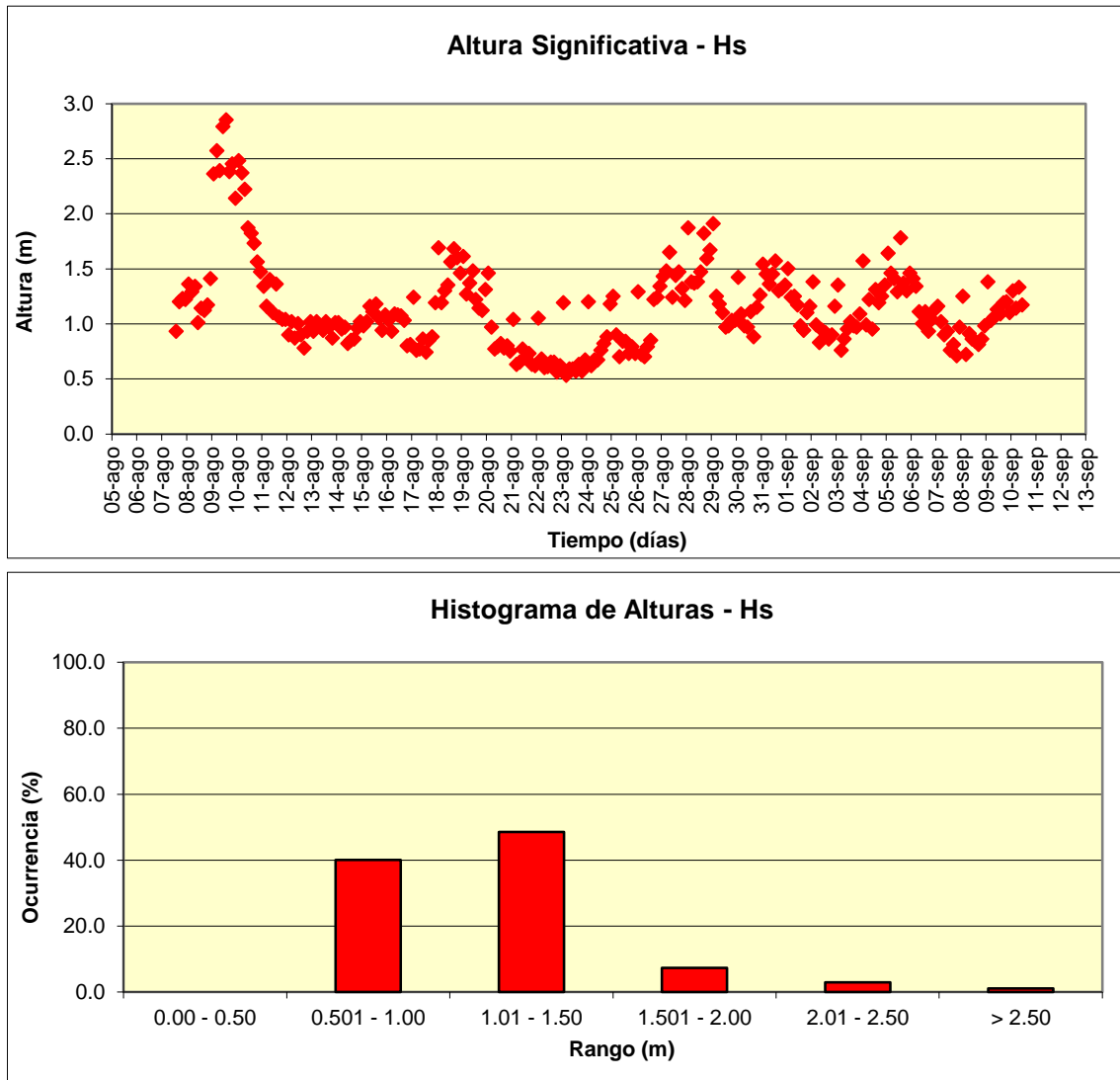
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-81. Histograma de incidencia del oleaje medido en el área costera evaluada. Campaña invierno 2015.



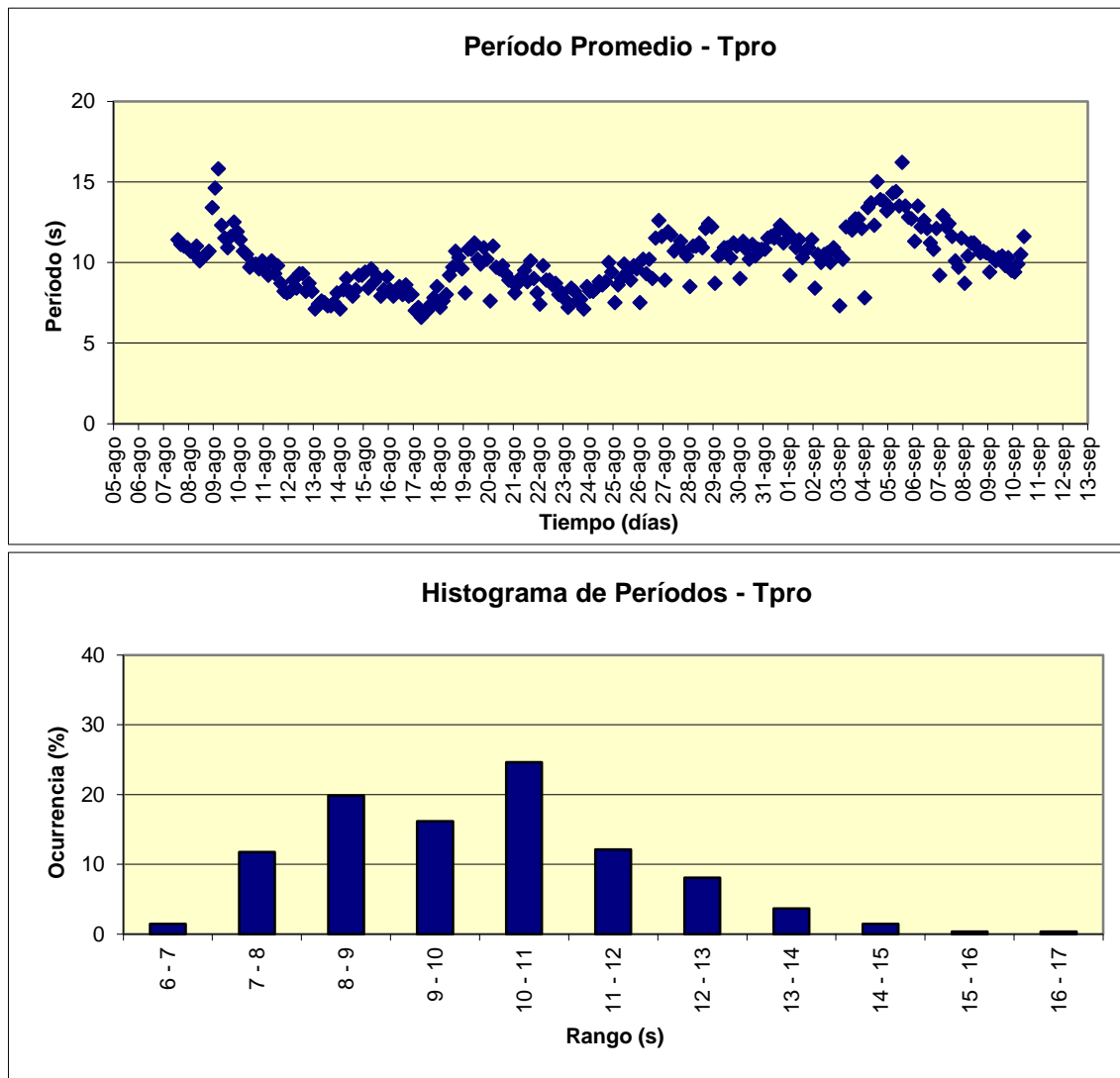
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-82. Altura significativa oleaje. Campaña invierno 2015.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-83. Período T_{pro} oleaje. Campaña invierno 2015.



Fuente: Elaboración propia

f) Análisis de correlación cruzada

- Verano 2015

Los resultados de este análisis son presentados en la Tabla 3.2.10-36 y Tabla 3.2.10-37. De la inspección de la Tabla 3.2.10-36 se aprecia que el efecto del viento sobre las corrientes es importante (fundamentalmente a nivel superficial), con coeficientes de correlación máximos de 0,65 (máximo igual a 1). Este máximo se registró en el par “componente V de la corriente capa superficial v/s componente V del viento”. A niveles inferiores, los coeficientes de correlación son menores

Por su parte, el efecto de la marea sobre las corrientes (Tabla 3.2.10-37) se apreció inferior respecto del forzante viento. Los valores máximos alcanzados se ubicaron en torno a 0,29 (máximo igual a 1). Este máximo se registró en el par “componente V de la corriente capa superficial v/s marea”. A niveles inferiores, los coeficientes de correlación son menores.

Estos resultados evidencian el importante efecto del viento y en menor grado la marea sobre las corrientes Eulerianas, fundamentalmente en las capas superficiales.

Tabla 3.2.10-36. Correlación cruzada Viento – Corriente. Campaña verano 2015.

Desfase	U Superficie	U Intermedio	U Fondo	V Superficie	V Intermedio	V Fondo
Horas	U viento	U viento	U viento	V viento	V viento	V viento
0	-0,09	0,01	-0,05	-0,65	0,04	0,02
1	-0,02	-0,04	-0,01	-0,56	0,04	0,00
2	0,00	-0,02	0,00	-0,46	0,02	-0,02
3	-0,01	-0,01	-0,01	-0,35	0,00	-0,02
4	0,01	-0,06	0,05	-0,26	-0,01	-0,04
5	0,03	-0,05	0,08	-0,17	-0,01	-0,03
6	0,00	-0,07	0,03	-0,08	-0,02	-0,05
7	0,04	-0,05	0,04	-0,04	-0,03	-0,05
8	0,08	-0,01	0,05	0,01	-0,07	-0,04
9	0,05	0,03	0,04	0,03	-0,11	-0,05
10	-0,01	0,06	0,10	0,07	-0,12	-0,05
11	-0,02	0,06	0,09	0,06	-0,16	-0,08
12	-0,03	0,05	0,04	0,05	-0,17	-0,10
13	-0,01	0,07	0,02	0,03	-0,19	-0,09
14	0,01	0,05	0,02	0,00	-0,20	-0,10
15	0,00	0,03	-0,01	-0,04	-0,19	-0,09
16	-0,03	0,06	0,04	-0,10	-0,17	-0,09
17	0,00	0,07	0,01	-0,14	-0,14	-0,09
18	-0,04	0,04	0,02	-0,19	-0,10	-0,08
19	-0,05	0,04	0,01	-0,24	-0,05	-0,08
20	-0,04	0,08	0,04	-0,31	-0,02	-0,05
21	-0,04	0,00	0,02	-0,38	-0,02	-0,05
22	-0,04	-0,01	-0,01	-0,43	-0,01	-0,04
23	-0,01	-0,01	0,02	-0,46	-0,01	-0,03
24	0,02	-0,02	0,02	-0,44	0,01	-0,03
25	0,01	-0,06	0,06	-0,40	0,01	-0,04
26	0,01	-0,02	0,06	-0,32	0,03	-0,03
27	0,05	-0,05	0,07	-0,23	0,04	-0,02
28	0,00	-0,08	0,10	-0,16	0,05	-0,02
29	0,03	-0,08	0,09	-0,08	0,05	-0,04
30	0,03	-0,07	0,02	0,01	0,03	-0,05
31	0,02	-0,06	0,01	0,08	0,01	-0,05
32	0,04	-0,03	0,03	0,11	-0,01	-0,04

Desfase	U Superficie	U Intermedio	U Fondo	V Superficie	V Intermedio	V Fondo
Horas	U viento	U viento	U viento	V viento	V viento	V viento
33	-0,04	0,01	0,04	0,13	-0,03	-0,02
34	-0,04	0,03	0,05	0,15	-0,07	-0,04
35	-0,03	0,01	0,04	0,16	-0,11	-0,06
36	-0,06	-0,01	-0,01	0,16	-0,14	-0,06
37	-0,08	-0,06	-0,02	0,14	-0,15	-0,08
38	-0,04	-0,03	-0,05	0,10	-0,16	-0,09
39	0,02	-0,02	-0,04	0,05	-0,14	-0,09
40	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,14	-0,09
41	0,00	0,03	0,05	-0,04	-0,09	-0,09
42	-0,06	0,03	0,03	-0,11	-0,04	-0,08
43	-0,04	-0,01	0,04	-0,14	0,00	-0,08
44	-0,03	0,08	0,03	-0,20	0,03	-0,05
45	-0,03	0,05	-0,01	-0,25	0,05	0,00
46	-0,04	0,01	0,00	-0,30	0,06	0,03
47	-0,03	0,03	0,01	-0,32	0,06	0,05
48	-0,01	-0,02	-0,03	-0,32	0,08	0,04

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2.10-37. Correlación cruzada Marea – Corriente. Campaña verano 2015.

Desfase	U Superficie	V Superficie	U Intermedio	V Intermedio	U Fondo	V Fondo
Horas	Marea	Marea	Marea	Marea	Marea	Marea
0	0,09	-0,08	0,08	-0,15	0,03	-0,12
1	0,08	-0,08	0,01	-0,18	-0,04	-0,14
2	0,08	-0,03	-0,02	-0,15	-0,07	-0,12
3	0,06	0,05	-0,05	-0,10	-0,09	-0,06
4	0,02	0,13	-0,07	-0,02	-0,08	0,00
5	-0,03	0,18	-0,09	0,04	-0,04	0,07
6	-0,06	0,20	-0,08	0,09	0,00	0,12
7	-0,09	0,16	-0,06	0,12	0,05	0,15
8	-0,09	0,08	-0,03	0,10	0,08	0,13
9	-0,07	-0,02	0,01	0,06	0,11	0,09
10	-0,03	-0,13	0,04	0,01	0,10	0,03
11	0,02	-0,22	0,06	-0,05	0,08	-0,03
12	0,06	-0,27	0,07	-0,09	0,03	-0,08
13	0,09	-0,26	0,07	-0,10	-0,02	-0,10
14	0,09	-0,21	0,06	-0,07	-0,06	-0,09
15	0,07	-0,11	0,04	-0,03	-0,09	-0,05
16	0,03	0,00	0,01	0,04	-0,09	0,01
17	-0,01	0,11	0,00	0,11	-0,07	0,07
18	-0,06	0,18	-0,01	0,15	-0,04	0,13
19	-0,09	0,21	-0,01	0,17	0,00	0,15
20	-0,11	0,19	0,01	0,16	0,04	0,15

Desfase	U Superficie	V Superficie	U Intermedio	V Intermedio	U Fondo	V Fondo
Horas	Marea	Marea	Marea	Marea	Marea	Marea
21	-0,10	0,12	0,03	0,10	0,07	0,10
22	-0,07	0,04	0,05	0,03	0,08	0,04
23	-0,03	-0,04	0,07	-0,05	0,07	-0,02
24	0,01	-0,10	0,07	-0,13	0,04	-0,08
25	0,06	-0,12	0,05	-0,17	-0,01	-0,12
26	0,08	-0,08	0,03	-0,17	-0,05	-0,13
27	0,07	-0,02	-0,02	-0,14	-0,08	-0,11
28	0,05	0,06	-0,05	-0,08	-0,10	-0,06
29	0,01	0,13	-0,08	-0,01	-0,08	0,01
30	-0,04	0,17	-0,10	0,05	-0,04	0,07
31	-0,07	0,17	-0,09	0,10	0,01	0,12
32	-0,10	0,11	-0,08	0,12	0,06	0,15
33	-0,10	0,02	-0,03	0,10	0,10	0,14
34	-0,08	-0,09	0,02	0,05	0,12	0,10
35	-0,05	-0,19	0,05	0,00	0,11	0,05
36	0,01	-0,27	0,09	-0,05	0,07	-0,01
37	0,05	-0,29	0,10	-0,08	0,03	-0,06
38	0,09	-0,25	0,10	-0,09	-0,03	-0,08
39	0,10	-0,17	0,08	-0,06	-0,07	-0,08
40	0,08	-0,05	0,05	-0,01	-0,11	-0,05
41	0,04	0,06	0,02	0,05	-0,10	0,00
42	0,00	0,15	-0,01	0,10	-0,08	0,06
43	-0,04	0,21	-0,03	0,14	-0,04	0,11
44	-0,08	0,21	-0,03	0,15	0,01	0,14
45	-0,10	0,17	-0,01	0,12	0,06	0,13
46	-0,10	0,09	0,02	0,06	0,09	0,09
47	-0,07	0,00	0,05	-0,01	0,09	0,04
48	-0,03	-0,08	0,07	-0,08	0,07	-0,03

Fuente: Elaboración propia

- Invierno 2015

Los resultados de este análisis son presentados en la Tabla 3.2.10-38 y Tabla 3.2.10-39. De la inspección de la Tabla 3.2.10-38 se aprecia que el efecto del viento sobre las corrientes es importante (fundamentalmente a nivel superficial), con coeficientes de correlación máximos de 0,41 (máximo igual a 1). Este máximo se registró en el par “componente V de la corriente capa superficial v/s componente V del viento”. A niveles inferiores, los coeficientes de correlación son menores.

Por su parte, el efecto de la marea sobre las corrientes (Tabla 3.2.10-39) se apreció inferior respecto del forzante viento. Los valores máximos alcanzados se ubicaron en torno a 0,31

(máximo igual a 1). Este máximo se registró en el par “componente V de la corriente capa superficial v/s marea”. A niveles inferiores, los coeficientes de correlación son menores.

Estos resultados evidencian el importante efecto del viento y en menor grado la marea sobre las corrientes Eulerianas, fundamentalmente en las capas superficiales.

Tabla 3.2.10-38. Correlación cruzada Viento – Corriente. Campaña invierno 2015.

Desfase	U Superficie	U Intermedio	U Fondo	V Superficie	V Intermedio	V Fondo
Horas	U viento	U viento	U viento	V viento	V viento	V viento
0	-0,13	-0,04	-0,07	-0,41	0,12	0,08
1	-0,14	-0,05	0,00	-0,38	0,09	0,05
2	-0,09	-0,02	0,03	-0,33	0,09	0,04
3	-0,03	0,03	-0,02	-0,28	0,08	0,06
4	-0,02	0,03	-0,02	-0,26	0,06	0,06
5	0,00	0,06	0,02	-0,21	0,08	0,05
6	-0,02	0,08	0,02	-0,16	0,09	0,04
7	-0,03	0,06	0,00	-0,13	0,07	0,07
8	-0,02	0,08	0,00	-0,10	0,08	0,09
9	0,00	0,03	0,01	-0,07	0,09	0,12
10	0,00	0,03	0,01	-0,05	0,11	0,13
11	0,04	-0,02	0,00	-0,05	0,12	0,13
12	0,03	-0,07	-0,04	-0,04	0,12	0,12
13	0,06	-0,08	-0,01	-0,04	0,11	0,12
14	0,05	-0,14	-0,02	-0,05	0,09	0,13
15	0,08	-0,06	-0,04	-0,06	0,07	0,12
16	0,09	-0,04	-0,02	-0,08	0,06	0,11
17	0,05	-0,09	-0,05	-0,07	0,07	0,12
18	0,08	-0,04	-0,05	-0,07	0,07	0,10
19	0,04	-0,03	-0,02	-0,07	0,05	0,08
20	0,03	-0,02	-0,01	-0,07	0,05	0,07
21	0,00	-0,04	-0,02	-0,10	0,04	0,06
22	-0,04	-0,03	-0,02	-0,13	0,03	0,02
23	-0,06	-0,08	-0,04	-0,13	0,01	-0,02
24	-0,04	-0,04	-0,06	-0,13	-0,01	-0,02
25	-0,01	-0,03	-0,03	-0,13	-0,03	-0,03
26	0,00	0,01	0,00	-0,09	-0,03	-0,04
27	0,01	0,05	0,01	-0,03	-0,02	-0,06
28	0,04	0,06	0,03	0,01	-0,04	-0,07
29	0,03	0,10	0,03	0,03	-0,03	-0,08
30	0,01	0,04	0,00	0,06	-0,03	-0,07
31	0,01	0,04	0,04	0,07	-0,03	-0,03
32	0,03	0,05	0,01	0,07	-0,01	-0,02
33	0,05	0,08	0,04	0,09	0,00	-0,03
34	0,09	0,07	0,00	0,10	-0,01	-0,02

Desfase	U Superficie	U Intermedio	U Fondo	V Superficie	V Intermedio	V Fondo
Horas	U viento	U viento	U viento	V viento	V viento	V viento
35	0,08	-0,01	-0,04	0,09	0,00	-0,01
36	0,08	-0,01	-0,05	0,09	-0,01	0,01
37	0,09	-0,02	-0,07	0,09	-0,02	0,02
38	0,06	-0,04	-0,05	0,07	0,00	0,02
39	0,08	0,01	-0,03	0,05	-0,01	0,00
40	0,12	0,02	0,00	0,03	0,00	-0,01
41	0,06	0,01	-0,03	-0,01	-0,03	-0,02
42	0,06	0,00	-0,02	-0,03	-0,05	-0,02
43	0,05	0,00	0,01	-0,06	-0,03	-0,03
44	0,05	-0,01	0,04	-0,11	-0,02	-0,06
45	0,02	-0,01	0,01	-0,14	-0,02	-0,05
46	0,00	0,00	-0,05	-0,15	-0,01	-0,04
47	0,01	-0,03	-0,07	-0,15	-0,01	-0,04
48	-0,02	-0,05	-0,06	-0,14	-0,02	-0,04

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2.10-39. Correlación cruzada Marea – Corriente. Campaña invierno 2015.

Desfase	U Superficie	V Superficie	U Intermedio	V Intermedio	U Fondo	V Fondo
Horas	Marea	Marea	Marea	Marea	Marea	Marea
0	-0,19	-0,30	-0,01	-0,10	0,01	-0,03
1	-0,18	-0,31	-0,06	-0,15	-0,06	-0,10
2	-0,09	-0,25	-0,06	-0,14	-0,10	-0,13
3	0,02	-0,16	-0,03	-0,11	-0,09	-0,14
4	0,10	-0,04	0,00	-0,05	-0,07	-0,12
5	0,14	0,07	0,03	0,03	-0,04	-0,08
6	0,14	0,14	0,07	0,09	0,02	-0,02
7	0,09	0,16	0,08	0,13	0,07	0,02
8	-0,01	0,13	0,08	0,12	0,10	0,05
9	-0,11	0,05	0,08	0,09	0,12	0,06
10	-0,18	-0,04	0,05	0,03	0,11	0,05
11	-0,23	-0,12	0,03	-0,04	0,09	0,01
12	-0,22	-0,17	0,01	-0,10	0,04	-0,03
13	-0,16	-0,17	-0,01	-0,15	0,00	-0,06
14	-0,06	-0,12	-0,02	-0,14	-0,04	-0,08
15	0,05	-0,04	-0,02	-0,12	-0,06	-0,08
16	0,15	0,06	0,00	-0,05	-0,06	-0,05
17	0,22	0,15	0,02	0,04	-0,03	0,00
18	0,23	0,21	0,03	0,11	0,01	0,05
19	0,19	0,21	0,03	0,16	0,05	0,11
20	0,10	0,16	0,03	0,18	0,08	0,15
21	-0,01	0,06	0,02	0,16	0,09	0,16
22	-0,12	-0,06	0,00	0,10	0,09	0,15

Desfase	U Superficie	V Superficie	U Intermedio	V Intermedio	U Fondo	V Fondo
Horas	Marea	Marea	Marea	Marea	Marea	Marea
23	-0,20	-0,19	-0,02	0,01	0,06	0,10
24	-0,24	-0,28	-0,05	-0,07	0,02	0,03
25	-0,22	-0,31	-0,06	-0,13	-0,03	-0,04
26	-0,17	-0,30	-0,06	-0,17	-0,07	-0,10
27	-0,07	-0,22	-0,05	-0,17	-0,10	-0,14
28	0,03	-0,11	-0,02	-0,11	-0,10	-0,14
29	0,11	0,01	0,01	-0,04	-0,07	-0,11
30	0,13	0,11	0,03	0,03	-0,03	-0,06
31	0,12	0,16	0,06	0,10	0,02	-0,01
32	0,06	0,16	0,07	0,13	0,07	0,03
33	-0,03	0,11	0,09	0,12	0,11	0,06
34	-0,11	0,03	0,08	0,08	0,13	0,07
35	-0,18	-0,06	0,06	0,01	0,12	0,05
36	-0,21	-0,12	0,04	-0,07	0,08	0,01
37	-0,19	-0,16	0,00	-0,13	0,03	-0,02
38	-0,13	-0,15	-0,02	-0,17	-0,02	-0,07
39	-0,04	-0,11	-0,03	-0,17	-0,06	-0,08
40	0,06	-0,01	-0,03	-0,13	-0,08	-0,09
41	0,15	0,09	-0,01	-0,05	-0,07	-0,06
42	0,21	0,17	0,01	0,03	-0,05	-0,01
43	0,20	0,20	0,02	0,10	0,00	0,04
44	0,16	0,18	0,03	0,15	0,05	0,10
45	0,06	0,11	0,04	0,17	0,09	0,13
46	-0,05	0,00	0,01	0,13	0,11	0,13
47	-0,15	-0,12	0,00	0,06	0,10	0,10
48	-0,21	-0,22	-0,02	-0,03	0,06	0,06

Fuente: Elaboración propia

g) Estudio del patrón de circulación

g.1) *Bottom Track*

- Verano 2015
 - Marea llenante

En condición de marea llenante, las corrientes superficiales (~4 m de profundidad) mostraron la presencia de un flujo general que ingresaría por el sector norte de la costa y tendería a fluir hacia el sur siguiendo la configuración de la costa (Figura 3.2.10-84A). Situación similar pudo ser observada en la capa de 10 m de profundidad, donde el flujo de agua ingresaría por el sector norte y tendería a fluir hacia el sur. (Figura 3.2.10-84B). En la capa de 14 m de profundidad se detectó que la dirección del flujo es similar a las capas superficiales, observándose un flujo predominante hacia el sur. En la capa de fondo (20 m de profundidad) el patrón de circulación

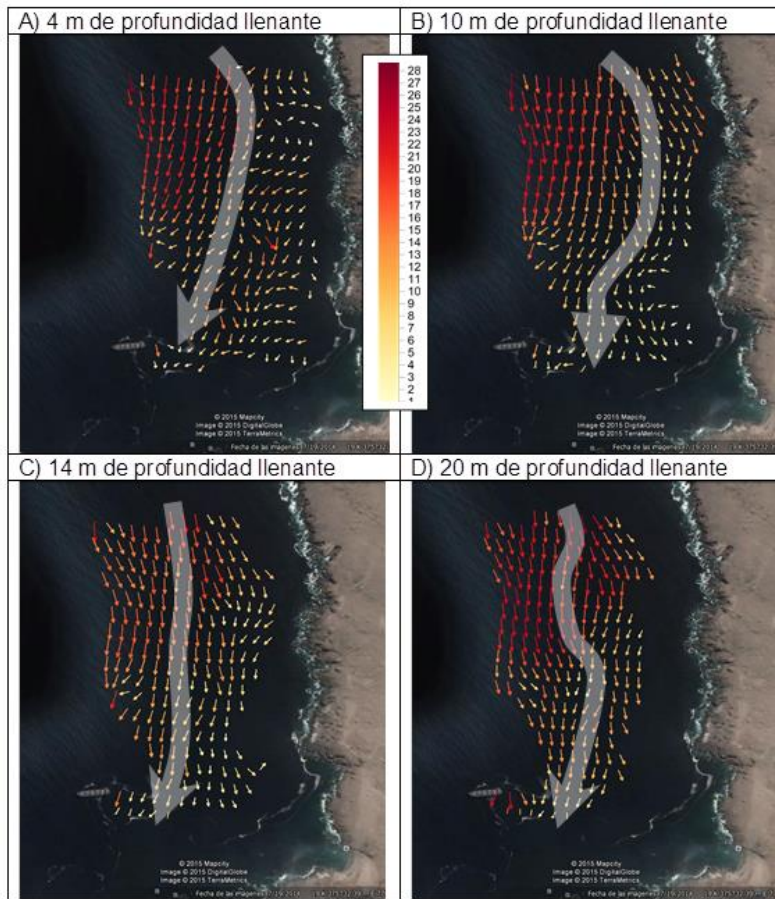
mantiene un similar comportamiento respecto de las capas superficiales, observándose la predominancia de un flujo hacia el S con velocidades levemente inferiores con respecto a las capas superficiales (Figura 3.2.10-84D).

En términos de magnitud, en la capa superficial (~4 m de profundidad) se observaron valores de magnitud mínimos de 0,82 cm/s y máximos de 21,0 cm/s (Figura 3.2.10-84A). En el caso de la capa sub-superficial (~10 m de profundidad), se observó una magnitud mínima de 0,76 cm/s, una magnitud máxima de 28,7 cm/s y una velocidad promedio del orden de 11,40 cm/s (Figura 3.2.10-84B). A 14 m de profundidad, se observaron magnitudes mínimas de 3,11 cm/s y máximas de 26,79 cm/s, con una velocidad promedio de 11,60 cm/s (Figura 3.2.10-84C); y en la capa de fondo a 20 m de profundidad se observaron magnitudes mínimas de 2,04 cm/s y máximas de 20,02 cm/s (Figura 3.2.10-84D). Como información adicional se entrega la Tabla 3.2.10-40, con la estadística básica, detallada por componentes.

- Marea vaciante

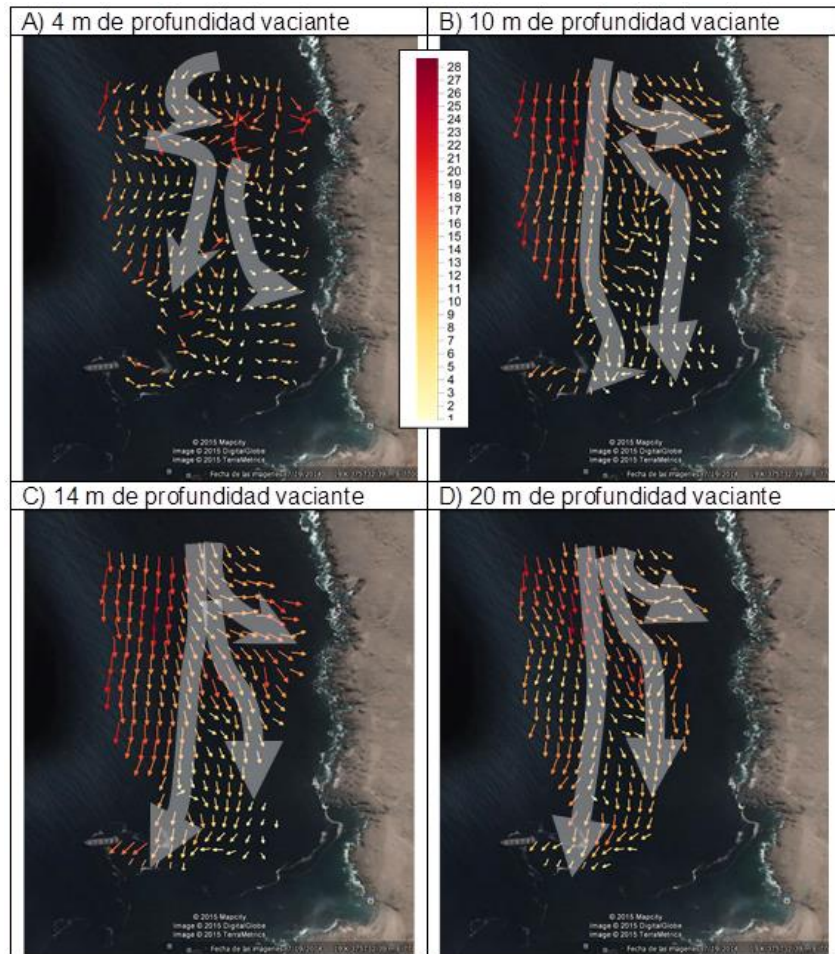
En marea vaciante, las corrientes superficiales (~4 m de profundidad) mostraron un patrón de circulación más variable con la presencia de pequeños giros hacia la costa, predominando la circulación hacia el sur, que ingresaría por el sector norte de la costa (Figura 3.2.10-85A). Similar comportamiento fue el observado en la capa de 10 m de profundidad (Figura 3.2.10-85B). Las capas de 14 y 20 m de profundidad, mostraron una estructura similar a la superficial manteniendo el sentido del flujo de agua, que ingresaría desde el sector norte de la costa avanzando hacia el S, siguiendo el sentido de la línea de costa (Figura 3.2.10-85C y Figura 3.2.10-85D). En términos de magnitud, a nivel superficial se observaron valores mínimos de 0,91 cm/s, máximos de 21,21 cm/s y una velocidad promedio de 7,65 cm/s. Un comportamiento similar fue observado en las capas de 10, 14 y 20 m de profundidad, en donde se observaron valores mínimos que fluctuaron entre 0,51 cm/s y 1,57 cm/s, con una velocidad promedio que varío entre 10,11 a 12,19 cm/s. Como información adicional se entrega la Tabla 3.2.10-41, con la estadística básica, detallada por componentes.

Figura 3.2.10-84. Medición de corrientes marinas (escala gráfica en (cm/s)) utilizando ADCP, A) ~5 m de profundidad, B) ~10 m de profundidad, C) ~15 m de profundidad y D) ~20 m de profundidad. Marea llenante, 23 de marzo de 2015.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-85. Medición de corrientes marinas (escala gráfica en (cm/s)) utilizando ADCP, A) ~5 m de profundidad, B) ~10 m de profundidad, C) ~15 m de profundidad y D) ~20 m de profundidad. Marea vaciante, 24 de marzo de 2015.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2.10-40. Estadística básica de corrientes marinas observadas en condiciones de marea llenante, verano 2015.

Prof. ~ 4 m	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	DESV.EST
U (cm/s)	-10,1	10,9	-0,93	4,5
V (cm/s)	-20,6	4,5	-6,48	5,9
MAGNITUD (cm/s)	0,82	21,0	8,53	5,0
Prof. ~10 m	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	DESV.EST
U (cm/s)	-12,4	12,8	1,55	4,3
V (cm/s)	-28,6	5,9	-10,14	7,1
MAGNITUD (cm/s)	0,76	28,7	11,4	6,6
Prof. ~14 m	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	DESV.EST
U (cm/s)	-11,4	11,5	1,57	4,3
V (cm/s)	-26,6	5,0	-10,42	5,6
MAGNITUD (cm/s)	3,11	26,79	11,60	5,2
Prof. ~ 20 m	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	DESV.EST
U (cm/s)	-6,7	11,0	2,0	3,9
V (cm/s)	-19,0	-0,4	-10,46	4,4
MAGNITUD (cm/s)	2,04	20,02	11,40	4,2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2.10-41. Estadística básica de corrientes marinas observadas en condiciones de marea vaciante, verano 2015.

Prof. ~ 4 m	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	DESV.EST
U (cm/s)	-12,0	9,5	-0,28	4,9
V (cm/s)	-19,1	21,2	-0,41	7,6
MAGNITUD (cm/s)	0,91	21,21	7,65	4,8
Prof. ~10 m	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	DESV.EST
U (cm/s)	-10,8	15,7	0,55	4,7
V (cm/s)	-28,9	11,9	-8,38	8,3
MAGNITUD (cm/s)	1,24	29,14	11,07	6,2
Prof. ~14 m	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	DESV.EST
U (cm/s)	-12,6	13,5	1,30	5,0
V (cm/s)	-28,1	9,9	-9,80	7,9
MAGNITUD (cm/s)	1,57	28,16	12,19	5,9
Prof. ~ 20 m	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	DESV.EST
U (cm/s)	-10,0	10,9	0,94	4,2
V (cm/s)	-23,3	12,0	-8,10	6,3
MAGNITUD (cm/s)	0,51	23,68	10,11	4,6

Fuente: Elaboración propia.

- Otoño 2015
 - Marea llenante

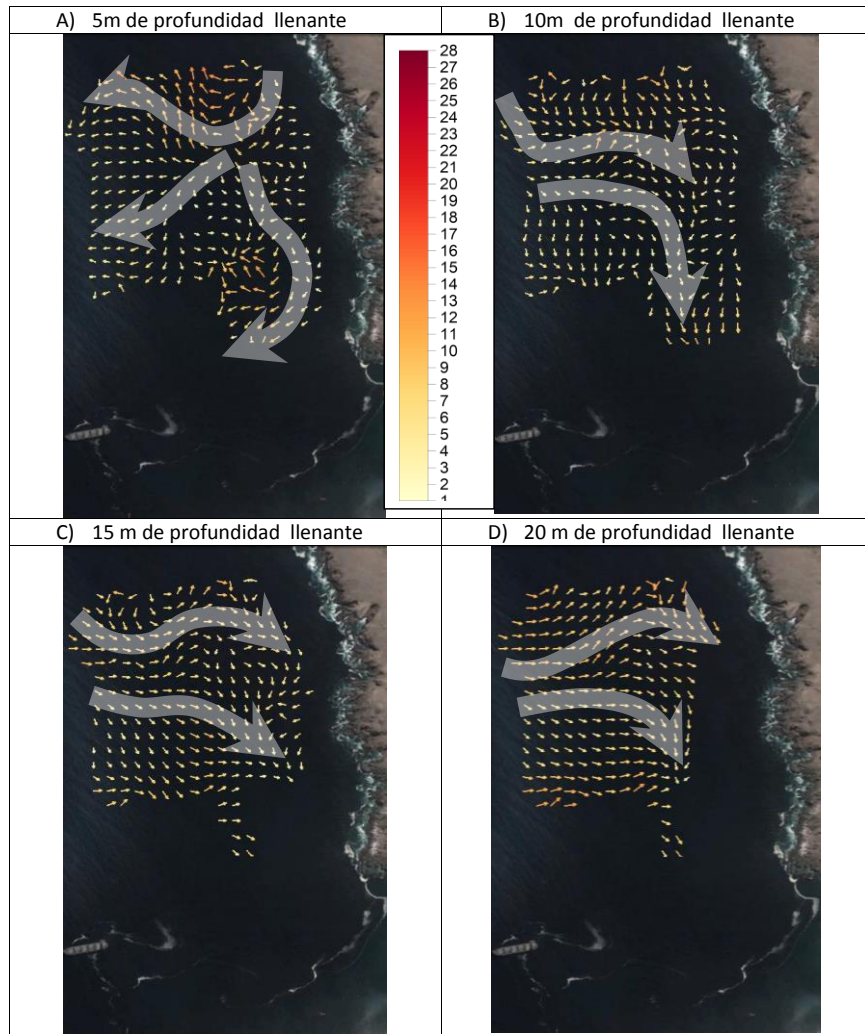
En condición de marea llenante, las corrientes superficiales (~5 m de profundidad) mostraron la presencia de un flujo general que ingresaría por el sector norte de la costa y tendería a fluir hacia el S y SO siguiendo la configuración de la costa (Figura 3.2.10-86a). Caso diferente al observado en la capa de 10 m de profundidad, donde el flujo de agua ingresaría hacia la costa desde el oeste (Figura 3.2.10-86b). Similar comportamiento se detectó en las capas de 15 y 20 m de profundidad, donde la dirección del flujo tendería a fluir hacia la costa de forma similar a las capas superficiales, observándose un flujo predominante hacia el costa (Figura 3.2.10-86d).

En términos de magnitud, en la capa superficial (~5 m de profundidad) se observaron valores de magnitud mínimos de 0,22 cm/s y máximos de 15,0 cm/s (Figura 3.2.10-86a). En el caso de la capa sub-superficial (~10 m de profundidad), se observó una magnitud mínima de 1,61 cm/s, una magnitud máxima de 13,25 cm/s y una velocidad promedio del orden de 6,31 cm/s (Figura 3.2.10-86b). A 15 m de profundidad, se observaron magnitudes mínimas de 1,98 cm/s y máximas de 11,07 cm/s, con una velocidad promedio de 6,77 cm/s (Figura 3.2.10-86c); y en la capa de fondo a 20 m de profundidad se observaron magnitudes mínimas de 2,65 cm/s y máximas de 13,75 cm/s (Figura 3.2.10-86d). Como información adicional se entrega la Tabla 3.2.10-42, con la estadística básica, detallada por componentes.

- Marea vaciante

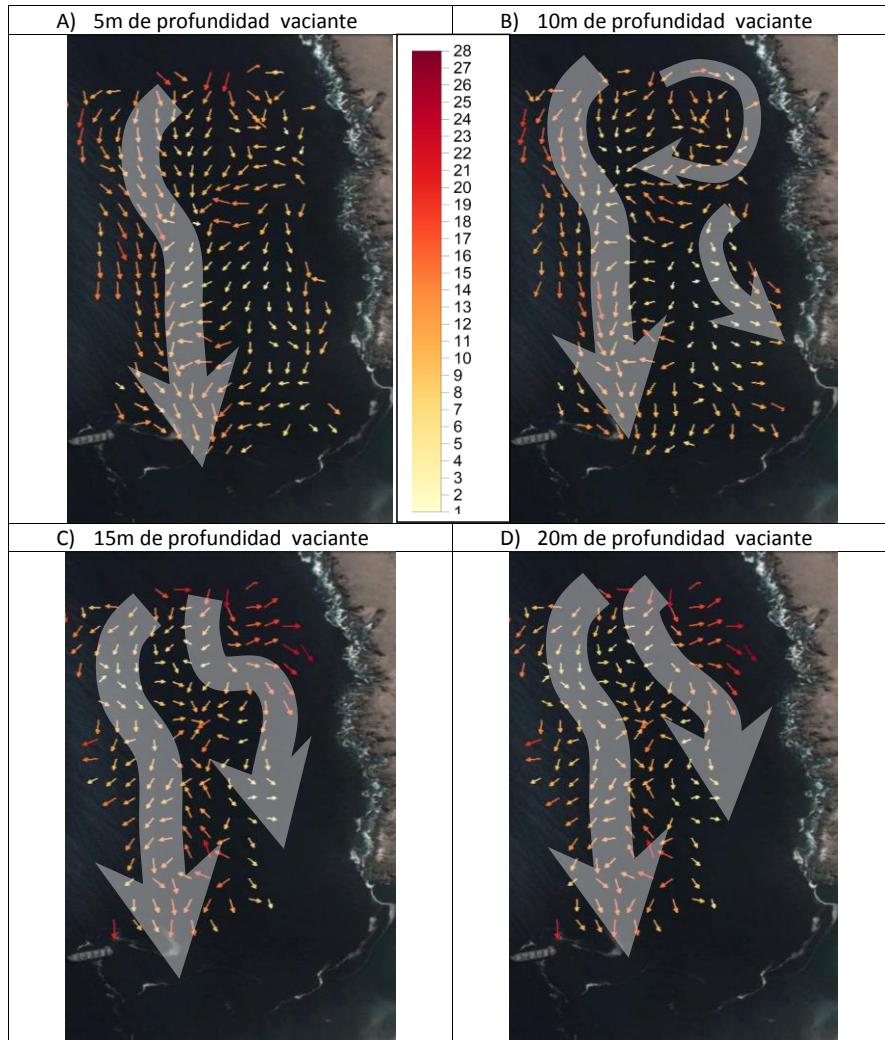
En marea vaciante, las corrientes superficiales (~5 m de profundidad) mostraron un patrón de circulación predominante hacia el sur (Figura 3.2.10-87a). Similar comportamiento fue el observado en la capa de 10 m de profundidad (Figura 3.2.10-87b). Las capas de 15 y 20 m de profundidad, mostraron una estructura similar a la superficial manteniendo el sentido del flujo de agua, que ingresaría desde el sector norte de la costa avanzando hacia el S, siguiendo el sentido de la línea de costa (Figura 3.2.10-87c y Figura 3.2.10-87d). En términos de magnitud, a nivel superficial se observaron valores mínimos de 0,40 cm/s, máximos de 24,31 cm/s y una velocidad promedio de 9,34 cm/s. Un comportamiento similar fue observado en las capas de 10, 14 y 20 m de profundidad, en donde se observaron valores mínimos que fluctuaron entre 0,32 cm/s y 1,43 cm/s, con una velocidad promedio que vario entre 8,45 a 8,7 cm/s Como información adicional se entrega la Tabla 3.2.10-43, con la estadística básica, detallada por componentes.

Figura 3.2.10-86. Medición de corrientes marinas (escala gráfica en (cm/s)) utilizando ADCP, a) ~5 m de profundidad, b) ~10 m de profundidad, c) ~15 m de profundidad y d) ~20 m de profundidad. Marea llenante, 19 de junio de 2015.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-87. Medición de corrientes marinas (escala gráfica en (cm/s)) utilizando ADCP, a) ~5 m de profundidad, b) ~10 m de profundidad, c) ~15 m de profundidad y d) ~20 m de profundidad. Marea vaciante, 19 de junio de 2015.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2.10-42. Estadística básica de corrientes marinas observadas en condiciones de marea llenante, otoño 2015.

Prof. ~ 5 m	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	DESV,EST
U (cm/s)	-9,50	3,40	-1,99	3,07
V (cm/s)	-7,30	15,00	1,32	5,64
MAGNITUD (cm/s)	0,22	15,00	5,68	3,77
Prof. ~10 m	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	DESV,EST
U (cm/s)	-7,20	9,10	2,12	3,38
V (cm/s)	-13,20	12,10	-0,78	5,73
MAGNITUD (cm/s)	1,61	13,25	6,31	2,99
Prof. ~14 m	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	DESV,EST
U (cm/s)	-5,60	10,20	3,43	3,66
V (cm/s)	-9,60	10,50	-0,90	5,24
MAGNITUD (cm/s)	1,98	11,07	6,77	2,60
Prof. ~ 20 m	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	DESV,EST
U (cm/s)	-6,50	11,00	4,90	3,94
V (cm/s)	-13,60	10,50	-0,58	5,89
MAGNITUD (cm/s)	2,65	13,75	8,05	2,97

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2.10-43. Estadística básica de corrientes marinas observadas en condiciones de marea vaciante, otoño 2015.

Prof. ~ 5 m	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	DESV,EST
U (cm/s)	-14,20	11,60	-0,15	6,28
V (cm/s)	-22,70	11,90	-3,61	7,36
MAGNITUD (cm/s)	0,40	24,31	9,34	4,31
Prof. ~10 m	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	DESV,EST
U (cm/s)	-14,50	11,10	0,03	5,91
V (cm/s)	-17,00	15,60	-1,74	6,83
MAGNITUD (cm/s)	0,36	22,34	8,18	4,12
Prof. ~14 m	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	DESV,EST
U (cm/s)	-17,90	11,20	-0,02	6,13
V (cm/s)	-16,30	13,40	-1,83	6,71
MAGNITUD (cm/s)	0,32	20,36	8,47	3,67
Prof. ~ 20 m	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	DESV,EST
U (cm/s)	-15,8	13,4	-0,57	6,0
V (cm/s)	-15,2	14,4	-0,80	7,3
MAGNITUD (cm/s)	1,43	19,42	8,45	4,3

Fuente: Elaboración propia

- Invierno 2015
 - Marea llenante

En llenante, las corrientes superficiales (~5 m de profundidad) mostraron la presencia de un flujo general que tendería a fluir hacia fuera de la costa, se observó además la presencia de pequeños giros. En términos de circulación el agua ingresaría por el sector norte de la costa y tendería a fluir hacia el S y SO siguiendo la configuración de la costa (Figura 3.2.10-88a). La capa de 10 m de profundidad, mostró una tendencia a circular preferencialmente hacia el sur donde el flujo de agua ingresaría por el sector norte (Figura 3.2.10-88b). En la capa de 15 m de profundidad, se detectó que la dirección del flujo es principalmente hacia el Sur y SE (Figura 3.2.10-88c), observándose un flujo predominante hacia el sur. En la capa de fondo (20 m de profundidad) el patrón de circulación mantiene un similar comportamiento respecto de las capas superficiales, observándose la predominancia de un flujo hacia el S con velocidades levemente inferiores con respecto a las capas superficiales Figura 3.2.10-88d).

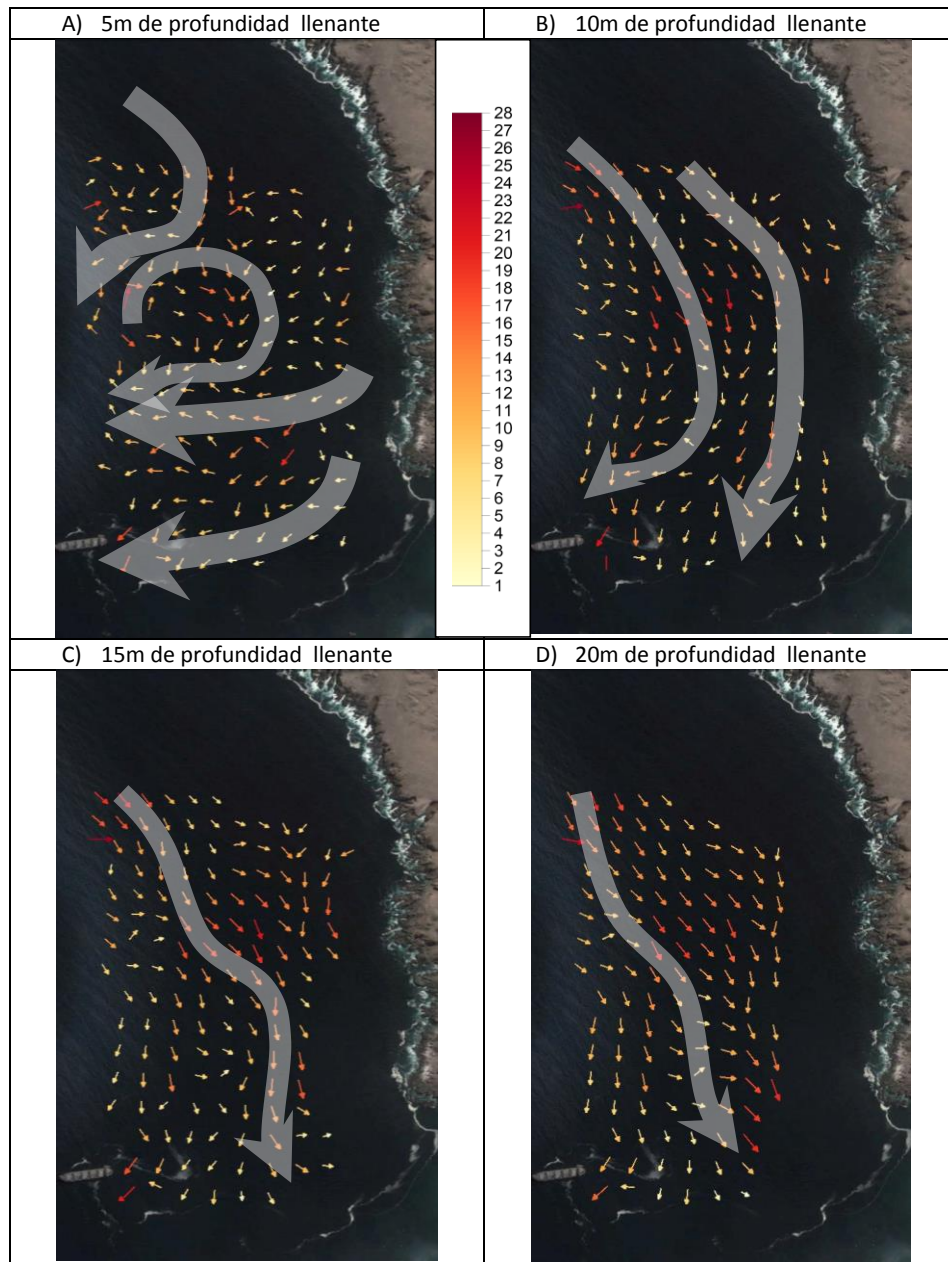
En términos de magnitud, en la capa superficial (~5 m de profundidad) se observaron valores de magnitud mínimos de 0,50 cm/s y máximos de 20,25 cm/s (Figura 3.2.10-88a). En el caso de la capa sub-superficial (~10 m de profundidad), se observó una magnitud mínima de 0,89 cm/s, una magnitud máxima de 18,47 cm/s y una velocidad promedio del orden de 7,53 cm/s (Figura 3.2.10-88b). A 15 m de profundidad, se observaron magnitudes mínimas de 1,33 cm/s y máximas de 20,32 cm/s, con una velocidad promedio de 8,08 cm/s (Figura 3.2.10-88c); y en la capa de fondo a 20 m de profundidad se observaron magnitudes mínimas de 1,12 cm/s y máximas de 22,42 cm/s (Figura 3.2.10-88d). Como información adicional se entrega la Tabla 3.2.10-44, con la estadística básica, detallada por componentes.

- Marea vaciante

En marea vaciante, las corrientes superficiales (~5 m de profundidad) mostraron un patrón de circulación definido similar al patrón en llenante. Con la predominancia de un flujo hacia el sur (Figura 3.2.10-89a). Bajo los 10m de profundidad se observó la presencia de pequeños giros hacia fuera de la costa, predominando la circulación hacia el sur (Figura 3.2.10-89b). Las capas de 15 y 20 m de profundidad, mostraron una estructura similar a la superficial manteniendo el sentido del flujo de agua, que ingresaría desde el sector norte de la costa avanzando hacia el S, siguiendo el sentido de la línea de costa (Figura 3.2.10-89c y Figura 3.2.10-89d).

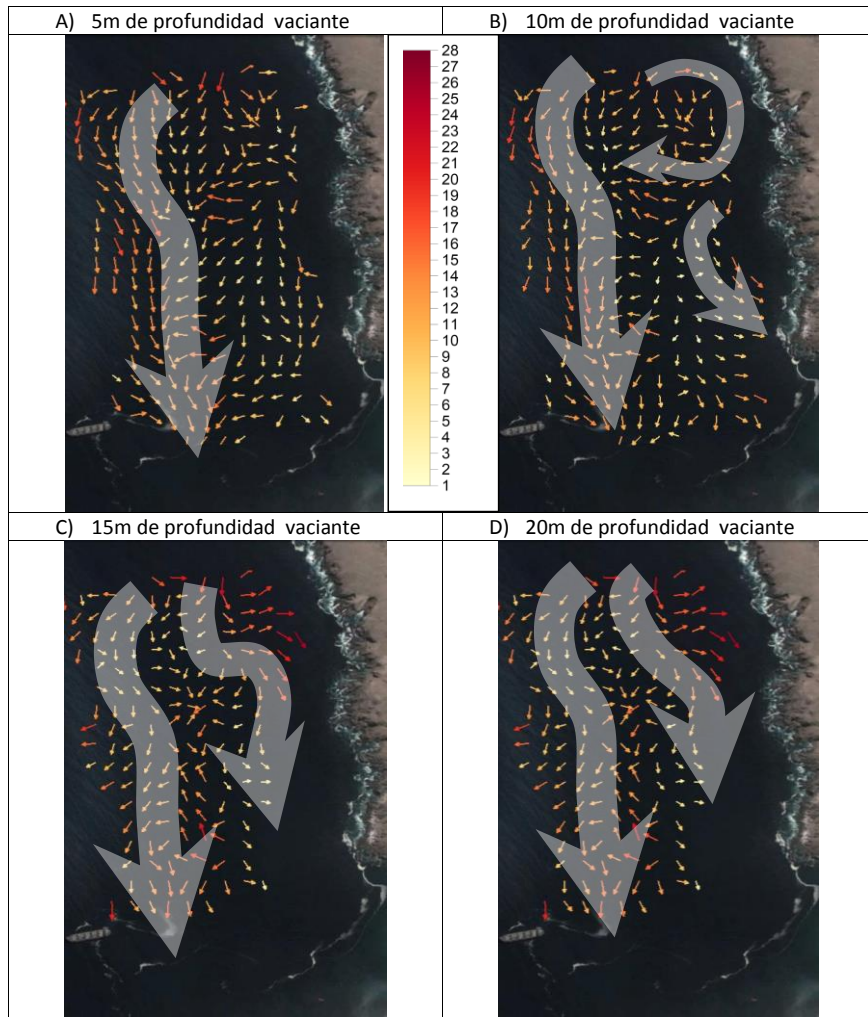
En términos de magnitud, a nivel superficial se observaron valores mínimos de 0,71 cm/s, máximos de 19,86 cm/s y una velocidad promedio de 6,67 cm/s. Un comportamiento similar fue observado en las capas de 10, 15 y 20 m de profundidad, en donde se observaron valores mínimos que fluctuaron entre 0,7 cm/s y 1,21 cm/s, con una velocidad promedio que varío entre 6,64 a 7,0 cm/s. Como información adicional se entrega la Tabla 3.2.10-45, con la estadística básica, detallada por componentes.

Figura 3.2.10-88. Medición de corrientes marinas (escala gráfica en (cm/s)) utilizando ADCP, a) ~5 m de profundidad, b) ~10 m de profundidad, c) ~15 m de profundidad y d) ~20 m de profundidad. Marea llenante, 7 de septiembre de 2015.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-89. Medición de corrientes marinas (escala gráfica en (cm/s)) utilizando ADCP, a) ~5 m de profundidad, b) ~10 m de profundidad, c) ~15 m de profundidad y d) ~20 m de profundidad. Marea vaciante, 7 de septiembre de 2015.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2.10-44. Estadística básica de corrientes marinas observadas en condiciones de marea llenante, invierno 2015.

Prof. ~ 5 m	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	DESV,EST
U (cm/s)	-15,9	10,3	-2,07	4,9
V (cm/s)	-15,2	19,6	0,71	5,8
MAGNITUD (cm/s)	0,50	20,25	6,70	4,1
Prof. ~10 m	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	DESV,EST
U (cm/s)	-10,2	16,4	0,95	5,2
V (cm/s)	-18,1	9,0	-4,04	5,4
MAGNITUD (cm/s)	0,89	18,47	7,53	4,0
Prof. ~14 m	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	DESV,EST
U (cm/s)	-12,9	17,9	2,08	4,9
V (cm/s)	-18,9	8,1	-5,27	5,3
MAGNITUD (cm/s)	1,33	20,32	8,08	4,3
Prof. ~ 20 m	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	DESV,EST
U (cm/s)	-8,2	17,2	3,48	4,5
V (cm/s)	-22,0	6,6	-6,79	5,3
MAGNITUD (cm/s)	1,12	22,42	9,46	4,1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2.10-45. Estadística básica de corrientes marinas observadas en condiciones de marea vaciante, invierno 2015.

Prof. ~ 5 m	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	DESV,EST
U (cm/s)	-18,9	8,7	-3,26	5,3
V (cm/s)	-10,2	7,5	-1,24	4,7
MAGNITUD (cm/s)	0,71	19,86	6,67	4,1
Prof. ~10 m	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	DESV,EST
U (cm/s)	-15,1	8,7	-0,85	5,0
V (cm/s)	-15,2	6,6	-3,18	5,5
MAGNITUD (cm/s)	0,71	21,00	6,64	4,6
Prof. ~14 m	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	DESV,EST
U (cm/s)	-17,3	8,5	-1,47	5,3
V (cm/s)	-14,2	5,7	-3,91	5,4
MAGNITUD (cm/s)	1,00	22,38	7,00	5,0
Prof. ~ 20 m	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	DESV,EST
U (cm/s)	-16,6	8,7	0,32	5,0
V (cm/s)	-13	4,4	-4,64	4,2
MAGNITUD (cm/s)	1,21	20,14	6,75	4,2

Fuente: Elaboración propia

- Primavera 2015
 - Marea llenante

En llenante, las corrientes superficiales (~5 m de profundidad) mostraron la presencia de un flujo general que tendería a fluir hacia el sur. En términos de circulación en la banda costera el agua ingresaría por el sector norte de la costa y tendería a fluir hacia el S y SO siguiendo la configuración de la línea costa (Figura 3.2.10-90a). La capa de 10 m de profundidad, mostró una tendencia similar a la capa superficial (Figura 3.2.10-90b). En la capa de 15 m de profundidad, al igual que las capas superficiales, se observaron corrientes que tendieron a fluir principalmente hacia el Sur y SE (Figura 3.2.10-90c). En la capa de fondo (20 m de profundidad) el patrón de circulación mantiene la tendencia de las capas superiores, observándose la predominancia de un flujo hacia el S y SW con velocidades levemente inferiores con respecto a las capas superficiales (Figura 3.2.10-90d).

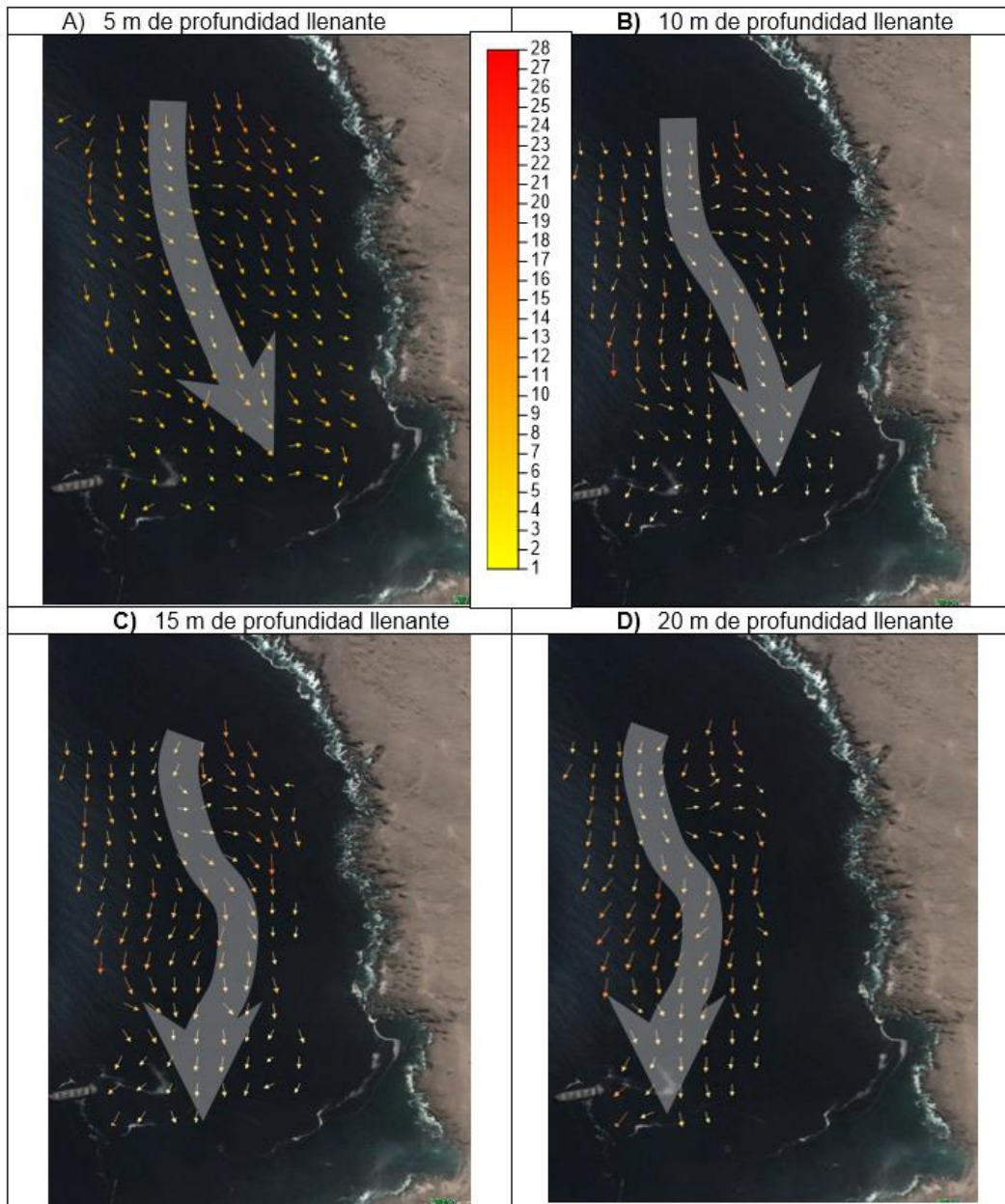
En magnitud, la capa superficial (~5 m de profundidad) mostró valores de magnitud mínimos de 0,54 cm/s y máximos de 25,48 cm/s (Figura 3.2.10-90a). En el caso de la capa sub-superficial (~10 m de profundidad), se observó una magnitud mínima de 1,28 cm/s, una magnitud máxima de 26,86 cm/s y una velocidad promedio del orden de 8,62 cm/s (Figura 3.2.10-90b). A 15 m de profundidad, se observaron magnitudes mínimas de 0,63 cm/s y máximas de 25,94 cm/s, con una velocidad promedio de 8,83 cm/s (Figura 3.2.10-90c); y en la capa de fondo a 20 m de profundidad se observaron magnitudes mínimas de 1,49 cm/s y máximas de 30,08 cm/s (Figura 3.2.10-90d). Adicionalmente se entrega la estadística básica, detallada por componentes (Tabla 3.2.10-47).

- Marea vaciante

En marea vaciante, las corrientes superficiales (~5 m de profundidad) mostraron un patrón de circulación definido levemente diferente al patrón en llenante. Con la predominancia de un flujo hacia el oeste, hacia fuera de la costa (Figura 3.2.10-91a). Bajo los ~10m de profundidad se observó la predominancia de una corriente hacia fuera de la costa (dirección oeste y sur), predominando la circulación hacia el sur (Figura 3.2.10-91b). Similar comportamiento fue el observado en la capa de 15 m de profundidad (Figura 3.2.10-91c). La capa de 20 m de profundidad, mostró una estructura diferente a las capas superficiales predominando las corrientes hacia la costa (dirección este Figura 3.2.10-91d).

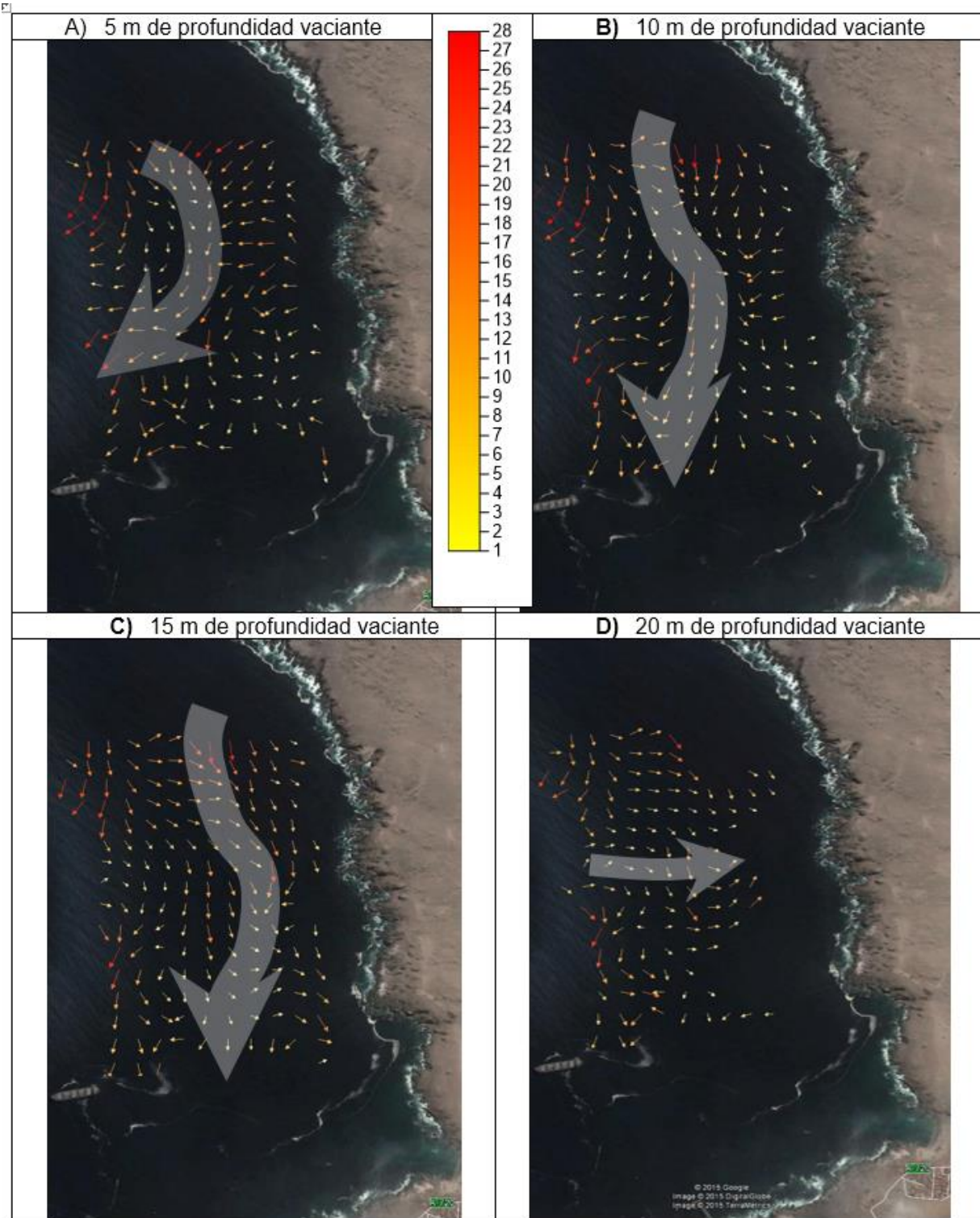
En términos de magnitud, a nivel superficial se observaron valores mínimos de 1,66 cm/s, máximos de 23,62 y una velocidad promedio de 8,71 cm/s. Un comportamiento similar fue observado en las capas de 10, 15 y 20 m de profundidad, en donde se observaron valores mínimos que fluctuaron entre 0,14 cm/s y 1,94 cm/s, con una velocidad promedio que varió entre 8,25 a 9,01 cm/s. Como información adicional se entrega la. Como información adicional se entrega la Tabla 3.2.10-47, con la estadística básica, detallada por componentes.

Figura 3.2.10-90. Medición de corrientes marinas (escala gráfica en (cm/s)) utilizando ADCP, a) ~5 m de profundidad, b) ~10 m de profundidad, c) ~15 m de profundidad y d) ~20 m de profundidad. Marea llenante, 12 de noviembre de 2015.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-91. Medición de corrientes marinas (escala gráfica en (cm/s)) utilizando ADCP, a) ~5 m de profundidad, b) ~10 m de profundidad, c) ~15 m de profundidad y d) ~20 m de profundidad. Marea vaciante, 12 de noviembre de 2015.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2.10-46. Estadística básica de corrientes marinas observadas en condiciones de marea llenante, primavera 2015.

Prof. ~ 5 m	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	DESV.EST
U (cm/s)	-13,6	14,9	2,80	5,3
V (cm/s)	-23,8	5,6	-5,51	5,5
MAGNITUD (cm/s)	0,54	25,48	8,49	4,9
Prof. ~10 m	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	DESV.EST
U (cm/s)	-11,3	12,3	1,74	4,3
V (cm/s)	-25,7	5,9	-6,71	5,7
MAGNITUD (cm/s)	1,28	26,86	8,62	4,9
Prof. ~14 m	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	DESV.EST
U (cm/s)	-12	9,6	0,19	4,3
V (cm/s)	-23	6,7	-7,22	5,6
MAGNITUD (cm/s)	0,63	25,94	8,83	4,9
Prof. ~ 20 m	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	DESV.EST
U (cm/s)	-14,6	7,5	-1,46	4,5
V (cm/s)	-26,3	7,0	-7,34	6,0
MAGNITUD (cm/s)	1,49	30,08	9,19	5,2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2.10-47. Estadística básica de corrientes marinas observadas en condiciones de marea vaciante primavera 2015.

Prof. ~ 5 m	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	DESV.EST
U (cm/s)	-20,9	10,5	-2,40	5,7
V (cm/s)	-20,3	18,7	-3,05	7,5
MAGNITUD (cm/s)	1,66	23,62	8,71	5,3
Prof. ~10 m	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	DESV.EST
U (cm/s)	-18,5	11,8	-0,70	5,7
V (cm/s)	-20,9	17	-4,03	6,7
MAGNITUD (cm/s)	0,14	24,77	8,25	5,1
Prof. ~14 m	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	DESV.EST
U (cm/s)	-17,3	14,4	0,43	6,2
V (cm/s)	-20,2	12,9	-4,86	6,9
MAGNITUD (cm/s)	1,94	25,04	9,01	5,3
Prof. ~ 20 m	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	DESV.EST
U (cm/s)	-19,8	15,8	0,32	6,9
V (cm/s)	-18,2	13,9	-2,52	6,9
MAGNITUD (cm/s)	0,94	26,89	8,50	5,3

Fuente: Elaboración propia

- Vientos

- Verano 2015

Durante el 23 y 24 de marzo de 2015 se observaron vientos débiles, con un 39,6% de las magnitudes entre el rango de 1,1 a 3,0 m/s y un 14,6% de las mediciones entre 3,0 y 4,5 m/s. Sólo un 6,5% de los vientos durante estos dos días superaron los 5 m/s. Se observó además un alto porcentaje de calmas (27,08%) y con una clara tendencia a fluir hacia el E durante la mañana y hacia el N durante la tarde (vientos del S, Figura 3.2.10-92A panel derecho). En términos direccionales, las mayores frecuencias observadas fueron de los cuadrantes S y SE con una frecuencia del orden de 29,2% y 12,5% respectivamente (Figura 3.2.10-92A panel izquierdo).

- Otoño 2015

Durante el 18 y 19 de junio de 2015) se observaron vientos débiles, con un 73,1% de las magnitudes entre el rango de 1,1 a 3,0 m/s y un 12,4% de las mediciones entre 3,0 y 4,5 m/s. Sólo un 6,9% de los vientos durante estos dos días superaron los 4 m/s. Se observó además 7,53% de calmas y con vientos predominantes del S y NW, con un 23,1% y 18,8% de las observaciones respectivamente (Figura 3.2.10-92A).

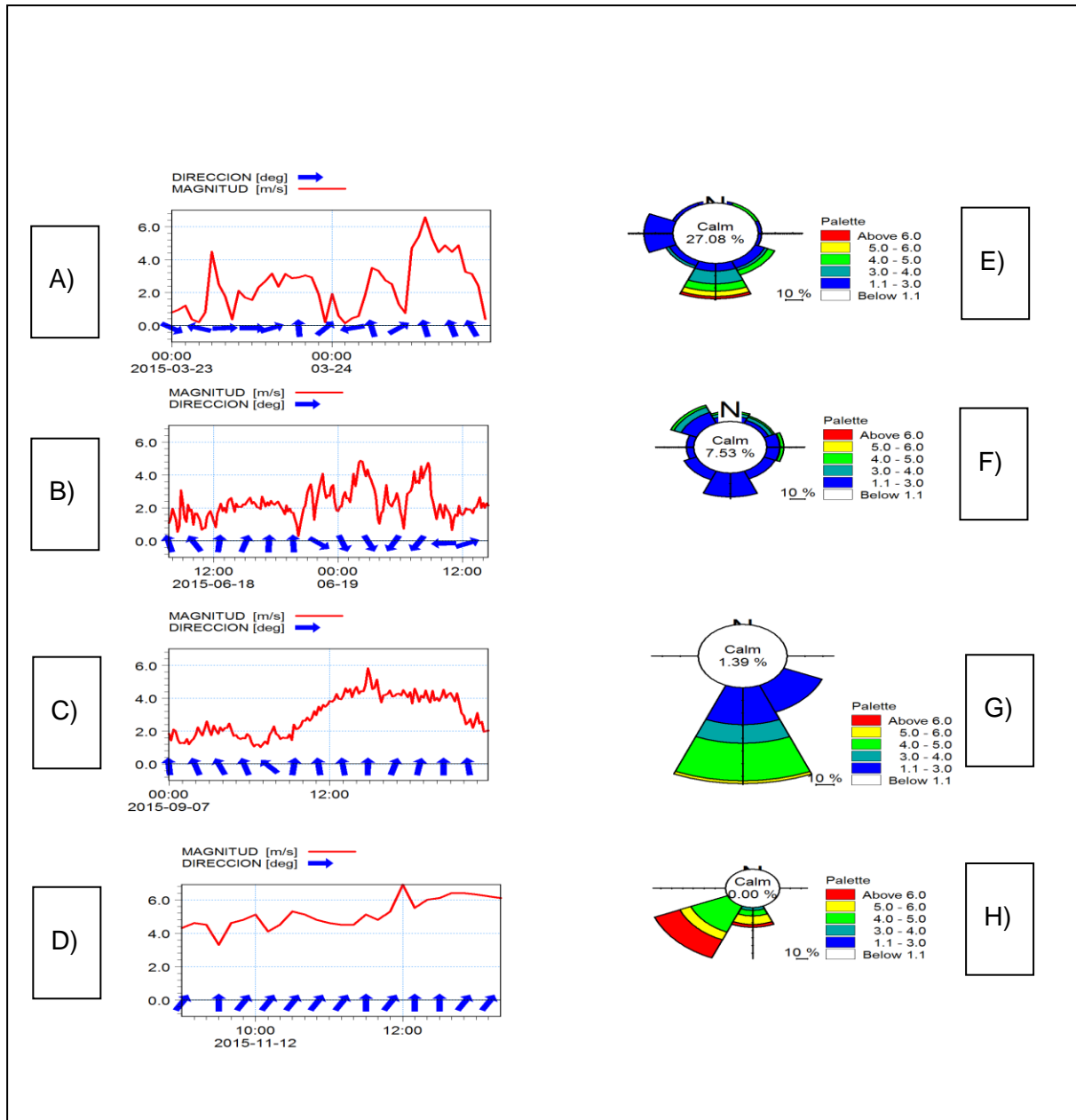
- Invierno 2015

Durante el 7 de septiembre de 2015) al igual que los casos anteriores se observaron vientos débiles, con un 52,1% de las magnitudes entre el rango de 1,1 a 3,0 m/s y un 14,6% de las mediciones entre 3,0 y 4,5 m/s. Sólo un 2,8% de los vientos durante este día superaron los 5 m/s. Se observó además 1,39% de calmas, con una clara tendencia a fluir hacia el N durante todo el día (vientos del S, Figura 3.2.10-92C panel izquierdo). En términos direccionales, las mayores frecuencias observadas fueron de los cuadrantes S y SE con una frecuencia del orden de 75,7% y 22,9% respectivamente (Figura 3.2.10-92C panel derecho).

- Primavera 2015

En primavera (12 de noviembre de 2015) a diferencia de los casos anteriores se observaron vientos levemente más intensos, con un 73,3% de las magnitudes entre el rango de 4,0 a 5,0 m/s y un 20,0% de las mediciones entre 5,0 y 6,0 m/s. No se observaron calmas, con una clara tendencia a fluir hacia el N y NE durante todo el día (vientos del S y SO, Figura 3.2.10-92D). En términos direccionales, las mayores frecuencias observadas fueron de los cuadrantes S y SO con una frecuencia del orden de 26,6% y 73,3% respectivamente (Figura 3.2.10-92H).

Figura 3.2.10-92. Magnitud y dirección hacia donde fluye el viento (panel izquierdo) y rosa de vientos con la distribución de frecuencia de magnitud y dirección (panel derecho). A y E) Campaña de verano 2015, B y F) Campaña de otoño 2015, C y G) campaña de invierno 2015 y D y H) campaña de primavera 2015.



Fuente: Elaboración propia

3.2.10.1.6 Síntesis y Conclusiones

3.2.10.1.7 Verano 2015

A nivel superficial, las corrientes presentaron un patrón de comportamiento direccional dominado por las direcciones asociadas al 1^{er} cuadrante. Las mayores ocurrencias se registraron en las direcciones N y NE (37,5% y 24,1%, respectivamente). El resto de las direcciones se agrupó entre 1,9% (dirección S) y 12,6% (dirección NO). Las magnitudes medias se agruparon en torno a los 9,3 cm/s (desviación estándar de 5,1 cm/s). Las máximas velocidades fueron de 31,1 cm/s (0,60 nudos), 30,0 cm/s (0,58 nudos) y 28,7 cm/s (0,56 nudos) asociadas a las direcciones NE, NO y N, respectivamente. El diagrama de vector progresivo evidencia una tendencia general de las corrientes a adoptar un flujo direccional neto hacia el N (7,7°).

A nivel intermedio, las corrientes presentaron un patrón de comportamiento diferente al detectado en la capa más superficial. Se observó un predominio de las direcciones asociadas al 2^{do} cuadrante; esto es, direcciones S y SE (17,5% y 16,6%, respectivamente). El resto de las direcciones se agrupó entre 5,6% (dirección O) y 13,3% (direcciones NE y E). Las magnitudes medias se agruparon en torno a los 4,7 cm/s (desviación estándar de 2,4 cm/s). Las máximas velocidades detectadas fueron de 16,2 cm/s (0,31 nudos) y 15,3 cm/s (0,30 nudos) asociadas a las direcciones N, E y SO, respectivamente. El diagrama de vector progresivo evidencia una tendencia general de las corrientes a adoptar un flujo direccional neto hacia el SE (127,0°).

A nivel de fondo, las corrientes presentaron un predominio de las direcciones asociadas al 3er cuadrante. Las mayores ocurrencias se registraron en las direcciones SO y O (18,0% y 16,5%, respectivamente). El resto de las direcciones se agrupó entre 7,6% (dirección NO) y 12,2% (dirección S). Las magnitudes medias se agruparon en torno a los 5,2 cm/s (desviación estándar de 3,2 cm/s). Las máximas velocidades fueron de 26,1 cm/s (0,51 nudos) y 18,3 cm/s (0,36 nudos) asociadas a las direcciones O y SO, respectivamente. El diagrama de vector progresivo evidencia una tendencia general de las corrientes a adoptar un flujo direccional neto hacia el SO (235,1°).

Los derivadores mostraron una baja respuesta al agente forzante marea, no detectándose diferencias entre las fases de llenante y vaciante. Los derivadores parecen responder bajo ciertas condiciones al forzante viento al momento de efectuar las mediciones, además de la configuración de la línea de la costa.

La dispersión del trazador químico rodamina WT mostró que el área costera evaluada posee una capacidad de dispersión baja, independiente de la condición mareal y de la fase lunar (sicigia y cuadratura). El comportamiento direccional de la mancha de rodamina (desplazamiento superficial) es independiente de la fase mareal y responde fundamentalmente a la dirección y magnitud del viento.

Los vientos presentaron un predominio de las direcciones asociadas al 2^{do} cuadrante. Las mayores ocurrencias de incidencia se registran en las direcciones S y SE (44,7% y 33,2%). El

resto de las direcciones se agrupó entre 0,1% (dirección N) y 1,9% (dirección O). El máximo de magnitud fue de 10,7 m/s (dirección SE).

La marea en el área costera evaluada es de tipo mixto predominantemente semidiurna, es decir, en un día se presenta la ocurrencia de dos pleamares y dos bajamares, con diferencia de alturas entre ellas.

Los resultados de la correlación cruzada muestran el importante efecto del viento sobre las corrientes Eulerianas (a nivel superficial), detectándose un coeficiente de correlación máximo de 0,65 (máximo igual a 1). La marea se presentó como un forzante de menor importancia respecto del viento, alcanzando un valor máximo de 0,29 (máximo igual a 1).

Las olas inciden en el área costera evaluada mayoritariamente de las direcciones O y SO, con porcentajes de incidencia de 53,1% y 45,5%, respectivamente. El resto de las direcciones prácticamente no tienen incidencia. Las alturas significativas se agrupan mayoritariamente entre 0,50 y 1,00 metros (64,1%) y entre 1,01 a 1,50 (29,3%). La máxima altura significativa muestreada fue de 2,0 metros. Los periodos se agrupan mayoritariamente entre los rangos 10 a 11 y 9 a 10 segundos, con valores porcentuales de 24,1% y 21,4%, respectivamente. El mínimo período espectral detectado fue de 6,7 segundos, mientras que el máximo detectado fue de 17,9 segundos.

3.2.10.1.8 Invierno 2015

A nivel superficial, las corrientes presentaron un patrón de comportamiento direccional dominado por las direcciones asociadas al 1^{er} cuadrante. Las mayores ocurrencias se registraron en las direcciones NE, N y E (30,9%, 22,7% y 13,4%, respectivamente). El resto de las direcciones se agrupó entre 4,8% (dirección S) y 9,3% (dirección NO). Las magnitudes medias registradas se agruparon en torno a los 9,9 cm/s (desviación estándar de 5,7 cm/s). Las máximas velocidades fueron de 50,9 cm/s (0,99 nudos), 45,2 cm/s (0,88 nudos) y 38,8 cm/s (0,75 nudos) asociadas a las direcciones S, SE y SO, respectivamente. El diagrama de vector progresivo evidencia una tendencia general de las corrientes a adoptar un flujo direccional neto hacia el N - NE (30,6°).

A nivel intermedio, las corrientes presentaron un patrón de comportamiento diferente al detectado en la capa más superficial. A saber, se observó un predominio de las direcciones asociadas al 2^{do} y 1^{er} cuadrante, esto es, direcciones S, NE, SE y E (17,5%, 15,6%, 14,4% y 12,7%, respectivamente). El resto de las direcciones se agrupó entre 6,6% (dirección NO) y 12,0% (dirección N). Las magnitudes medias se agruparon en torno a los 5,2 cm/s (desviación estándar de 3,2 cm/s). Las máximas velocidades detectadas fueron de 44,2 cm/s (0,86 nudos) y 34,9 cm/s (0,68 nudos) asociadas a las direcciones N y NE, respectivamente. El diagrama de vector progresivo evidencia una tendencia general de las corrientes a adoptar un flujo direccional neto hacia el SE – E (120,2°).

A nivel de fondo, las corrientes presentaron un predominio de las direcciones asociadas al 3^{er} cuadrante. Las mayores ocurrencias se registraron en las direcciones O y SO (20,0% y 12,7%,

respectivamente). El resto de las direcciones se agrupó entre 8,0% (dirección N) y 12,8% (dirección NE). Las magnitudes medias se agruparon en torno a los 5,8 cm/s (desviación estándar de 3,4 cm/s). Las máximas velocidades fueron de 23,0 cm/s (0,45 nudos) y 22,1 cm/s (0,43 nudos) asociadas a las direcciones SO y O, respectivamente. El diagrama de vector progresivo evidencia una tendencia general de las corrientes a adoptar un flujo direccional neto hacia el O (261,2°).

Los derivadores mostraron una baja respuesta al agente forzante marea, no detectándose diferencias entre las fases de llenante y vaciante. Los derivadores parecen responder bajo ciertas condiciones al forzante viento al momento de efectuar las mediciones, además de la configuración de la línea de la costa.

Los resultados numéricos del coeficiente de dispersión del trazador químico rodamina WT muestran valores similares (igual orden de magnitud entre ambas fases de marea), lo que implica que la dispersión del cuerpo de agua es independiente de la fase mareal y baja, como ha sido reportado por Carrasco (2000) para bahía Coliumo ($1,80 \cdot 10^{-3}$). Así también, el comportamiento direccional observado en este estudio sugiere que el desplazamiento superficial de las manchas es independiente de la fase mareal (llenante o vaciante) y respondería a la dirección y magnitud del viento predominante junto con la geomorfología costera presente del área costera evaluada. Desde un punto de vista ambiental, los desplazamientos observados y los coeficientes de dispersión calculados sugieren que la dispersión en el área costera evaluada está dominada principalmente por procesos de transporte de masas como la intensidad y dirección de los vientos, oleaje, geomorfología del área, entre otros (Pickard y Emery, 1982), más que por procesos difusivos.

Los vientos presentaron un predominio de la dirección S (47,3%). El resto de las direcciones se agrupó entre 2,0% (dirección E) y 8,0% (dirección NO). El máximo de magnitud fue de 9,0 m/s (dirección NO).

La marea en el área costera evaluada es de tipo mixto predominantemente semidiurna, es decir, en un día se presenta la ocurrencia de dos pleamares y dos bajamares, con diferencia de alturas entre ellas.

Los resultados de la correlación cruzada evidencian el efecto del viento y en menor grado la marea sobre las corrientes Eulerianas, fundamentalmente en las capas superficiales, con valores de coeficientes máximos de 0,41 (máximo igual a 1).

Las olas inciden mayoritariamente de las direcciones O y SO, con porcentajes de incidencia de 66,2% y 31,6%, respectivamente. El resto de las direcciones prácticamente no tienen incidencia. Las alturas significativas se agrupan mayoritariamente entre 1,01 y 1,50 metros (48,5%) y entre 0,50 a 1,00 (40,1%). La máxima altura significativa muestreada fue de 2,85 metros. Los periodos se agrupan mayoritariamente entre los rangos 10 a 11 y 8 a 9 segundos, con valores porcentuales de 24,6% y 19,9%, respectivamente. El mínimo período espectral detectado fue de 6,6 segundos, mientras que el máximo detectado fue de 16,2 segundos.

3.2.10.1.9 Comparación entre campañas

Considerando la distribución de direcciones de la rosa náutica, las observaciones de campo revelan flujos en superficie hacia el 1^{er} cuadrante (en torno a la dirección N y NE), a nivel intermedio hacia el 2^{do} cuadrante (en torno a la dirección SE) y a nivel profundo hacia el 3^{er} cuadrante (en torno a la dirección SO - O).

En términos de magnitud de las corrientes, éstas se mostraron de mediana intensidad, alcanzándose los siguientes valores promedio y máximos por capas analizadas:

Tabla 3.2.10-48. Resumen comparativo entre campañas

Capa	Campaña de verano 2015			
	Magnitud Promedio (cm/s)	Desviación Estándar (cm/s)	Magnitud Máxima (cm/s)	Dirección Residual (° NG)
Superficie	9,3	5,1	31,1	N (7,7°)
Intermedia	4,7	2,4	16,2	SE (127,0°)
Fondo	5,2	3,2	26,1	SO (235,1°)
Capa	Campaña de invierno 2015			
	Magnitud Promedio (cm/s)	Desviación Estándar (cm/s)	Magnitud Máxima (cm/s)	Dirección Residual (° NG)
Superficie	9,9	5,7	50,9	N - NE (30,6°)
Intermedia	5,2	3,2	44,2	SE - E (120,2°)
Fondo	5,8	3,4	23,0	O (261,2°)

Fuente: Elaboración del Consultor

Se observó un incremento de las magnitudes de la corriente durante la campaña de invierno respecto de la época estival. En todos los niveles muestreados las magnitudes promedio y máximas fueron superiores durante la campaña de invierno, con la excepción de la capa de fondo en donde la magnitud máxima (23,0 cm/s) fue inferior a la detectada en la campaña de verano 2015 (26,1 cm/s). Así también, se verificó en ambas campañas una distribución vertical de la magnitud decreciente respecto de la profundidad. Los valores de magnitud promedio correspondientes a la capa superficial, en algunos casos son similares (ejemplo, campaña de verano 2010 e invierno 2014) y en otros diferentes. Esto se debe, fundamentalmente, a la selección de la capa superficial analizada, la cual puede estar influenciada por los vientos reinantes y provocar un incremento ficticio de la magnitud.

Las experiencias con derivadores (corrientes Lagrangianas en un lapso de tiempo muy inferior al de las corrientes Eulerianas), mostraron una baja respuesta al agente forzante marea, no detectándose diferencias entre distintas fases mareales. Los elementos derivadores siempre se desplazaron de manera paralela o alejándose de la costa en la zona de interés y parecen responder a las condiciones de viento al momento de realizar las experiencias, y a la configuración de la línea de la costa.

Los vientos locales fueron medidos mediante el empleo de una estación meteorológica instalada en las inmediaciones del área de estudio. Los resultados de estas mediciones mostraron que los vientos se caracterizaron por provenir fundamentalmente del 2^{do} cuadrante, donde las direcciones de incidencia más recurrentes fueron S y SE. En cuanto a la magnitud promedio, estas fueron de 4,5 m/s (verano 2015) y 2,6 m/s (invierno 2015).

3.2.10.1.10 Conclusiones estudio de circulación costera¹

Las mediciones de corrientes marinas realizadas frente a la costa sur de Iquique a la cuadra de bahía Patache, en condiciones de marea llenante y vaciante permitieron caracterizar el campo de corrientes superficiales y sub-superficiales en términos espaciales a nivel sinóptico (variación de horas), mostrando un patrón con un predominio de corrientes hacia el S en las capas superficiales, y hacia la costa en algunas las capas de fondo (dirección E), con una variabilidad espacial en términos a la presencia de pequeños giros o remolinos locales. Cabe destacar, que esta es una representación sinóptica sólo válida para el periodo muestreado debido a la variabilidad de los forzantes que intervienen en la circulación (viento, gradientes de densidad y fuerzas planetarias) y a las diferentes escalas de análisis a nivel temporal y espacial. Ya que a una escala de tiempo mayor (1 mes) el predominio de las corrientes es hacia el norte. Y en particular, a una escala de tiempo mucho menor (horas) pueden existir corrientes que tengan una orientación contraria al patrón general de circulación. Como complemento, se incluye en Anexo 3.2.10-1, simulaciones del modelo hidrodinámico (HYCOM) ampliamente reconocido, el cual fue interrogado a escala sinóptica (promedio de 1 día de simulación) para el mismo periodo de medición de las corrientes observadas en la modalidad de “*bottom track*”, los resultados permitieron observar una tendencia similar a las mediciones instrumentales, permitiendo validar los resultados en términos espaciales las corrientes simuladas por HYCOM (ver Anexo 3.2.10-1).

Respecto al comportamiento de las corrientes en la columna de agua medidas instrumentalmente, se observó una correspondencia en términos direccionales y de magnitud en las distintas capas. Logrando observar en algunos casos, pequeños giros o remolinos locales y corrientes de fondo hacia la costa, lo que podría ser atribuible a aguas de surgencia costera debido a la predominancia de vientos del SO.

La modalidad de *bottom track* (Lagrangianas) permitió caracterizar el sistema de corrientes en términos sinópticos en fase de marea llenante y vaciante. Se pudo observar que en general, independiente de la condición de marea y estacionalidad a esta escala de análisis (1 día), donde fue posible observar corrientes que fluyen hacia el Sur, contrario al patrón general, a una escala de análisis mayor en términos temporales (un mes). Se debe destacar además que este comportamiento de las corrientes es producto de la interacción de los distintos forzantes (viento, fuerzas planetarias como el efecto Coriolis y flujos de distinta densidad producto de la advección de aguas de distinta salinidad y temperatura) que interactúan a distintas escalas de tiempo. Por lo tanto, contar con mediciones sinópticas (“*bottom track*”) permite tener mayores antecedentes de la variabilidad local del sistema.

¹ Condición sinóptica

3.2.10.2 Oceanografía Química

3.2.10.2.1 Introducción

En la presente sección se entrega una descripción de las condiciones oceanográficas básicas de la columna de agua y un catastro actualizado de las concentraciones de parámetros químicos y físicos indicadores de la calidad del agua y los sedimentos marinos intermareales y submareales presentes en el sector costero aledaño al emplazamiento del Proyecto, durante cuatro (4) campañas estacionales (verano, otoño, invierno y primavera) realizadas el año 2015 (Reporte de datos incluidos en el Anexo 3.2.10-3).

El levantamiento de información de oceanografía química en terreno y sus resultados son analizados y discutidos en función de la literatura nacional, y normativa ambiental internacional en el caso de los sedimentos marinos, todo ello con el objeto de contextualizar las concentraciones informadas por los laboratorios analíticos para estas matrices.

3.2.10.2.2 Objetivos

a) Objetivo General

- Caracterizar la calidad química y física de las aguas y sedimentos marinos en el área de emplazamiento del proyecto y sectores aledaños.

b) Objetivos Específicos

- Caracterizar las condiciones oceanográficas básicas de la columna de agua mediante la medición de perfiles verticales de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, clorofila a y pH.
- Caracterizar la calidad de agua mediante la medición de variables físicas y químicas.
- Caracterizar la calidad de los sedimentos intermareales y submareales mediante la medición de variables físicas y químicas.

3.2.10.2.3 Ámbito Normativo

a) Calidad del Agua de Mar

Debido a que Chile no posee reglamentación asociada a normativa secundaria de calidad relacionada a la calidad del agua de mar, los resultados obtenidos en la presente línea de base son comparados con referencias bibliográficas de estudios ambientales realizados cercanos al área costera evaluada (más detalle ver Anexo 3.2.10-2).

b) Calidad de Sedimentos Marinos

En lo relativo a la calidad de los sedimentos marinos, Chile no posee una normativa ambiental de calidad como referencia. Las normas de calidad ambiental del *Canadian Council of Ministers of*

the Environment (CCME)² son unas de las más utilizadas por la amplitud de su alcance y la rigurosidad en la forma en que han sido estimadas. Estas normas establecen dos niveles de referencia o rangos (ISQG/TEL y PEL), dependiendo de la adversidad de los efectos sobre la biota, con los cuales serán comparados los resultados obtenidos en estas mediciones de línea de base. La definición de estos rangos o umbrales se basan en la presunción de que el potencial de toxicidad resultante de la exposición de un organismo a una determinada sustancia química, se incrementa a medida que aumenta la concentración de dicha sustancia en el sedimento.

ISQG/TEL: La Guía de calidad para sedimentos interinos o ISQG (derivado del inglés “*Interim Sediment Quality Guideline*”), es consistente con la definición del umbral TEL (*Threshold Effects Level*) proporcionada por CCME (2002), y representan concentraciones umbrales de sustancias químicas bajo las cuales no se esperan efectos adversos en la biota (es decir, un rango de mínimos efectos).

PEL: Niveles de efectos probables (derivado del inglés *Probable Effect Levels*). Estos valores representan o definen concentraciones de sustancias químicas sobre las cuales se espera ocurran efectos adversos con frecuencia sobre la biota.

La segunda normativa de referencia normalmente utilizada, también Canadiense, es la Guía para la Protección y Manejo de Calidad de Sedimentos Acuáticos en Ontario (Persaud *et al.*, 1993)³, considera similarmente dos niveles referenciales:

LEL: Nivel de más bajo efecto (*Lowest Effect Level*), el cual corresponde a una concentración de sustancias químicas en los sedimentos que puede ser tolerado por la mayoría de los organismos bentónicos.

SEL: Nivel de efecto severo (*Severe Effect Level*), el cual indica la concentración una sustancia química que podría tener efectos perjudiciales en la mayoría de los organismos bentónicos.

3.2.10.2.4 Determinación y Justificación del Área de Influencia

El área de influencia de los *Recursos Hídricos Marinos* se concentra únicamente en el Área Puerto y por lo tanto se encuentra directamente relacionada con el área de influencia de los Ecosistemas Marinos descritos en el capítulo 3.5 del EIA. Para los componentes oceanográficos químicos, se ha considerado la misma área de influencia asociada a la oceanografía física, que abarca desde Caleta Patillos por el norte hasta Punta Patache por el sur, sin embargo y dependiendo del componente ambiental a evaluar, esta área se extiende desde Chanavayita por el norte, hasta Playa Chauca por el sur (Punta Negra), abarcando una extensión lineal de alrededor de 16 km. Cabe indicar que dicha área comprende tanto la zona litoral (desde la zona mesolitoral o intermareal), como el medio marino en sí. Asimismo, la definición del área de influencia quedará

² CCME, 2002. Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life.

³ Persaud, D., Jaagumagi, R., Hayton, A. 1993. Guidelines for the Protection and Management of Aquatic sediment quality in Ontario. Ontario Ministry of Environment and Energy Report.

determinada de acuerdo al alcance espacial de los potenciales efectos o cambios sobre el Recurso Hídrico Marino obtenidos de la evaluación de la descarga salina en base al comportamiento de la pluma salina. Esto último referido a la dilución y comportamiento de la salmuera en el cuerpo receptor.

La representación espacial del Área de Influencia del componente *Recursos Hídricos Marinos* se muestra en la Figura 3.2.10-1.

3.2.10.2.5 Metodología

a) Estructura de la columna de agua

La caracterización de la estructura de la columna de agua se realizó mediante la elaboración de perfiles verticales de temperatura, salinidad, clorofila *a*, pH y oxígeno disuelto entre superficie y la profundidad máxima permisible de cada estación (y que permitiera una operación segura de la sonda), en un total de trece (13) estaciones de muestreo distribuidas en el área costera de interés, las que fueron dispuestas en un gradiente de distancias hacia el sur y hacia el norte respecto del área donde se planifica la implementación de las obras marítimas (terminal marítimo y planta desalinizadora); de sur a norte las estaciones fueron denominadas con los siguientes acrónimos: C1, Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6, Q7, Q8, Q9, C2, C3 y C4 (más detalle ver Plano 3.2.10-02). Adicionalmente, se caracterizó la banda costera en términos de las masas de agua que participarían en la mezcla, utilizando los tipos de agua AESS (Aguas Ecuatoriales Sub-superficiales), ASST (Agua Subtropical Superficial) según Silva & Konow (1975) y Silva (1983), y ASAA (Agua Sub-Antártica) según Valdenegro & Silva (2003). Para presentar la información se utilizó el software de código abierto Ocean Data View (Schlitz, R., Ocean Data View, <http://odv.awi.de>; 2015), del Alfred Wegener Institute (AWI).

Las coordenadas UTM de cada estación de muestreo se presentan en la

Tabla 3.2.10-49 y su localización espacial se muestra en el Plano 3.2.10-2. La localización de los puntos o estaciones de muestreo se efectuó utilizando un sistema de posicionamiento GPS. Este procedimiento de localización de puntos o estaciones georreferenciadas fue estándar para todas las estaciones de muestreo evaluadas en este estudio.

Las mediciones de la campaña estacional de verano fue llevada a cabo el 22 de marzo de 2015; la campaña de otoño fue ejecutada el 20 de junio de 2015 entre las 09:00 y 12:00 horas; en invierno el 8 de septiembre de 2015 entre las 8:00 y las 11:00 horas aproximadamente, y las mediciones de primavera durante el 21 de noviembre de 2015.

Tabla 3.2.10-49. Coordenadas UTM de las estaciones de muestreo, válidas para la estructura de la columna de agua, calidad del agua y sedimentos submareales (Datum WGS-84). Teck - QB2.

Estación	Profundidad (m)	Coordenadas UTM	
		Este	Norte
C1	13	376.215	7.699.900
Q1	5	376.267	7.700.719
Q2	23	376.001	7.700.712
Q3	25	375.756	7.700.706
Q4	14	376.189	7.701.160
Q5	33	375.921	7.701.180
Q6	41	375.668	7.701.158
Q7	21	376.125	7.701.663
Q8	30	375.891	7.701.652
Q9	38	375.638	7.701.651
C2	24	375.466	7.703.347
C3	18	375.161	7.704.954
C4	25	375.143	7.707.519

Fuente: Elaboración propia

La estructura de la columna de agua fue determinada a través de mediciones realizadas con un CTD-O marca SEABIRD, modelo 19plus (sensor de registro continuo que cuenta con sensores de salinidad, pH, temperatura, clorofila-a, oxígeno disuelto y presión), debidamente calibrado. El instrumento fue programado para que midiera estas variables a medida que descendía por la columna de agua, hasta la profundidad máxima permisible en términos de la seguridad del instrumental en cada estación evaluada. La información recolectada se guardó en la memoria sólida del perfilador, lo cual luego fue transferido a un PC para su posterior procesamiento siguiendo el protocolo recomendado por el fabricante utilizando el software "SBE Data Processing". En la Tabla 3.2.10-50 se entregan las especificaciones técnicas de los sensores del CTDO empleado en este estudio, y en Anexo 3.2.10-3 se entrega el reporte de datos de la información colectada en terreno.

Tabla 3.2.10-50. Especificaciones técnicas de los sensores del perfilador CTD-O, marca Seabird modelo 19plus, empleado para las mediciones *in situ*.

Sonda multiparámetro Seabird 19plus	Rango de medición	Precisión	Resolución
Sensor de profundidad	0-600 metros	0,1% del rango total	0,002% del rango total
Sensor de salinidad	0-70 ppt (psu)	+/- 0,4 ppt (psu)	0,01 ppt (psu)
Sensor de temperatura	-5°C – 35°C	+/- 0,005°C	0,01°C
Sensor de oxígeno disuelto	0 – 50 mg/l	+/-0,2 mg/l	0,01 mg/l

Fuente: Elaboración propia

Los registros de temperatura (°C), salinidad (psu), pH (adimensional), clorofila ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y OD (oxígeno disuelto) en ml/l, se presentan como perfiles verticales. Con la información del CTD se calculó además como estimador de la estabilidad de la columna de agua para cada una de las estaciones oceanográficas la frecuencia de Brunt-Väisälä, mediante la siguiente fórmula:

$$(N^2 = -\frac{g}{\rho} \frac{d\rho}{dz})$$

Donde g es la gravedad ($9,8 \text{ m/s}^2$), ρ es la densidad del agua de mar, y z es la profundidad. La frecuencia de Brunt-Väisälä es la frecuencia a la cual oscilará una parcela de agua desplazada verticalmente dentro de un ambiente estable. Si $N^2 > 0$ la columna de agua se encuentra estratificada y estable, y si $N^2 < 0$ la estructura vertical de la columna de agua es inestable (Gill, 1982).

b) Calidad Química del Agua de Mar

Para la evaluación de la calidad del agua en las campañas de monitoreo realizadas durante el año 2015 (verano, otoño, invierno y primavera), se procedió a analizar una batería de 79 parámetros sobre un total de trece (13) estaciones correspondientes a las mismas empleadas para la caracterización de la estructura de la columna de agua. Las coordenadas UTM de cada estación se presentan en la

Tabla 3.2.10-49 y su localización espacial se muestra en el Plano 3.2.10-02.

Las mediciones de la campaña estacional de verano fueron llevadas a cabo los días 18 y 19 de marzo de 2015, la campaña de otoño el 10 de junio de 2015; la campaña de invierno el 8 de septiembre de 2015 y las mediciones de primavera durante el 23 de noviembre de 2015. Todas las campañas fueron ejecutadas entre las 09:00 y las 15:00 horas.

En cada una de las estaciones evaluadas se obtuvieron muestras de agua a dos niveles de profundidad: a) superficial (0,2 metros aproximadamente) y, b) fondo (aproximadamente a 1 metro del fondo de cada estación). De esta manera, cada estación es asignada con los acrónimos SUP (superficial) y FON (fondo), según corresponda al estrato evaluado de la columna de agua.

Respecto de la colecta de muestras en superficie, estas fueron obtenidas de forma directa utilizando los envases que envía el laboratorio de ensayo los cuales son pre tratados con el objetivo que no agreguen incertidumbre al monitoreo. Para lograr este objetivo, el envase fue introducido en el agua de forma íntegra, y una vez sumergido se destapó para que pudiese llenarse evitando así coleccionar la capa o película superficial de agua, la cual puede contener elementos que interfieran con el posterior ensayo.

Para las muestras de profundidad, se utilizó una botella oceanográfica marca "General Oceanics" modelo Niskin de 5 litros de capacidad, la cual fue debidamente descontaminada entre estaciones de muestreo. El proceso de descontaminación consistió básicamente en un lavado con ácido

nítrico diluido al 1%, detergente EXTRAN (Merck) y posterior lavado de arrastre con agua desionizada.

Posteriormente, las muestras obtenidas fueron conservadas en envases provenientes del laboratorio de ensayo, que luego fueron rotulados y despachados en condiciones de refrigeración, y entregados al laboratorio en periodos menores de 24 horas desde su recolección junto a una cadena de custodia, aspecto que permite evidenciar los puntos de cambios en la responsabilidad de custodia de la carga y su trazabilidad.

Los análisis de la matriz agua marina fueron realizados por el laboratorio ALS Patagonia S.A., de acuerdo a las metodologías indicadas para cada parámetro. En el Anexo 3.2.10-3 se entregan copias de los informes de resultados de análisis suministrados por el laboratorio, resultados del control de calidad analítico aplicado por el laboratorio, condiciones del Holding time (cumplimiento de los tiempos de análisis recomendado de acuerdo a cada parámetro), copias de las cadenas de custodia que acompañaron las muestras durante su traslado, entre otros.

Dentro de los informes de ensayo, el laboratorio declara su límite de detección, lo que corresponde a la concentración mínima del analito de interés detectable con una incertidumbre validada (Standard Methods ed. 22), por lo que para efectos gráficos y de cálculo de estadística básica se consideró este valor en aquellos parámetros que presentaron concentraciones no detectadas en los ensayos.

b.1) Parámetros medidos *in situ*

En las mismas trece (13) estaciones de muestreo antes descritas, se realizaron mediciones *in situ* de transparencia en la columna de agua mediante un disco Secchi en cada estación (n=13) y campaña de monitoreo (n=4)

c) Calidad Química de los Sedimentos Intermareales

El área costera evaluada presentó mayoritariamente la presencia de sustrato rocoso y solamente en algunos sectores bien definidos fue posible encontrar sustrato sedimentario. Estos sectores correspondieron básicamente a cuatro playas arenosas las cuales se ordenan de norte a sur de la siguiente manera: Chanavayita, Patillos, Cãñamo y Chauca (más detalle ver Plano 3.2.10-03).

Sobre estas cuatro playas fue posible coleccionar muestras para desarrollar los muestreos para los análisis químicos (concentración de metales y materia orgánica total), y físicos (granulometría). Los análisis químicos del sedimento fueron realizados por el laboratorio por ALS Patagonia S. A., de acuerdo a las metodologías indicadas para cada parámetro, los cuales se aprecian en la Tabla 3.2.10-51, mientras que los análisis físicos (granulometría) y de materia orgánica total fueron analizados en el Laboratorio Cenam Ltda.

Tabla 3.2.10-51. Parámetros y métodos analíticos aplicados por Laboratorio ALS Patagonia a las muestras de sedimentos intermareales. Teck – QB2, 2015.

CM	Sede	Parámetro	Método de Referencia	Laboratorio
13213	ANT	Mercurio Total	Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometric Method. APHA 3112-B, page 3-23 to 3-24, 21st ed.2005	ANT - Subcontratado
11583	SCL	Metal Total, Suelos (ICPOES)	ICP-OES. US EPA 6010C.	SCL - Metales

Fuente: Extraído del informe realizado por laboratorio ALS Patagonia.

La caracterización física (textural) y química del sedimento intermareal para las cuatro campañas, se realizó sobre la base de muestras colectadas en seis (6) de los quince (15) transectos empleados para la caracterización de la comunidad macrobentónica intermareal de fondos blandos (más detalle ver capítulo “Ecosistemas Marinos”), estos transectos correspondieron a T2 (playa Chanavayita), T4 (playa Patillos), T8 y T9 (playa Cãñamo), T13 y T14 (playa Chauca). Cabe destacar que durante las campañas de otoño e invierno de 2015, no se pudieron coleccionar muestras en T4 (playa Patillos) debido a la ausencia de sustrato fino, el cual fue reemplazado por bolones de mediano tamaño. En la Tabla 3.2.10-52 se entregan las coordenadas UTM de los transectos analizados y en el Plano 3.2.10-3 se aprecia su ubicación espacial. El muestreo correspondiente a la campaña de verano 2015 se realizó el 30 de marzo del 2015; el de otoño 2015 se ejecutó el 12 de junio 2015; el de invierno 2015 el 26 de agosto de 2015 y el de primavera el 15 y 25 de noviembre del 2015. Para todas las campañas, las muestras fueron colectadas durante la condición mareal de bajamar.

Tabla 3.2.10-52. Coordenadas geográficas de los transectos donde se caracterizó la calidad química de sedimentos intermareales. Teck – QB2. Datum WGS-84, 19 K.

Estación	Coordenadas UTM	
	Este	Norte
T2	376.136,00	7.710.096,00
T4	376.689,80	7.706.837,51
T8	376.672,77	7.699.801,60
T9	376.652,33	7.699.763,92
T13	376.521,00	7.696.872,00
T14	376.742,37	7.696.788,80

Nota: cada coordenada representa el punto de muestreo químico de sedimentos dentro de cada transecto, correspondiente al nivel mareal bajo.

Fuente: Elaboración propia

La caracterización química (metales) de los sedimentos intermareales fue evaluada en un nivel mareal para cada transecto, correspondiendo al intermareal bajo. En cada transecto se obtuvieron muestras de 500 gramos utilizando los frascos contenedores suministrados por el laboratorio ALS Patagonia S.A. Cada muestra fue obtenida enterrando el contenedor provisto por el laboratorio en los primeros centímetros del sedimento. Posteriormente las muestras fueron debidamente etiquetadas e identificadas y enviadas al laboratorio dentro de las siguientes 24 horas, junto a su respectiva cadena de custodia.

Para la caracterización de la granulometría y materia orgánica total, en cada transecto intermareal evaluado se obtuvieron muestras de los tres niveles mareales, utilizando un muestreador de PVC de aproximadamente 1 kilo, el que fue enterrado en los primeros centímetros del sedimento. Cada muestra obtenida fue almacenada en contenedores debidamente etiquetados e identificados, y luego enviados al laboratorio Cenam Ltda., para su correspondiente análisis. En el Anexo 3.2.10-3 se entregan copias de los certificados de análisis provistos por este laboratorio analítico.

Para el análisis granulométrico, las muestras de sedimentos fueron previamente secadas en un horno Memmert y posteriormente tamizadas empleando para ello un tamizador analítico marca Retsch modelo AS200 basic. Las fracciones retenidas en los diferentes tamices geológicos fueron pesadas en una balanza analítica de precisión 0,01 g, modelo CHQ-DJ series 1200. Los tipos sedimentarios fueron clasificados de acuerdo a la escala de Wentworth (1922) y los estadígrafos (e.g. diámetro medio, grado de selección) se determinaron mediante la aplicación de las técnicas de Folk y Ward (1957), empleando para ello la rutina Gradistat 8.0 versión 2010 (Blott and Pye, 2001). Previo al tamizaje de las muestras secas, éstas fueron pasadas por el tamiz N°4 (apertura 4,75 mm) para la retención del material biogénico o residuos (escombros, material desecho, basura en general) como una forma de eliminar los elementos que no forman parte de la matriz sedimentaria natural. La elección del set de tamices para la separación y clasificación sedimentaria se basa sobre la revisión general de la composición de la muestras. En caso de que la muestra consista básicamente en arena se elige un set que permita abarcar el rango de representación de arena y fango. En caso de contener material de mayor granulometría el rango se desplaza con la finalidad de abarcar grava y arena.

Por su parte, el contenido de materia orgánica fue determinado por el método de calcinación Byers *et al.*, (1978). Para ello, las muestras fueron dispuestas en crisoles de porcelana de 15 ml, previamente pesados en una balanza analítica Marca Shimadzu-AUX 220, las muestras secadas fueron calcinadas en una Mufla eléctrica JSR modelo JSMF-45H. El material calcinado fue pesado en balanza analítica y por diferencia de peso seco y peso ceniza se cuantificó el contenido de materia orgánica en la muestra respectiva.

d) Calidad química de los sedimentos submareales

Los sedimentos submareales del área costera evaluada fueron evaluados en base a las mismas trece (13) estaciones de muestreo empleadas para el análisis de la calidad del agua y estructura de la columna de agua (ver Plano 3.2.10-2). Las muestras de sedimento fueron extraídas mediante buceo semiautónomo por buzos especialistas, utilizando los envases entregados por el laboratorio analítico para estos efectos, con los cuales se extrajo la capa superficial del sedimento (primeros centímetros). El muestreo de sedimentos submareales correspondiente a la campaña de verano 2015 se llevó a cabo entre el 18 y 19 de marzo; en otoño se llevó a cabo el 17 de junio 2015; en invierno el 26 de agosto de 2015, y finalmente el muestreo de la campaña de primavera se llevó a cabo el 26 y 27 de noviembre de 2015.

En cada estación se obtuvo una muestra unitaria para análisis químico y para análisis físico (granulometría) del sedimento del piso submareal. Una vez obtenidas, las muestras fueron

debidamente rotuladas y trasladadas al laboratorio para su análisis. Los análisis químicos del sedimento fueron realizados por el laboratorio por ALS Patagonia S. A., de acuerdo a las metodologías indicadas para cada parámetro, los cuales se aprecian en la Tabla 3.2.10-53.

Las muestras de sedimento para análisis físico (granulometría) y de materia orgánica total fueron analizadas en el Laboratorio Cenam Ltda., en base a las mismas metodologías y procedimientos descritos para los sedimentos intermareales.

En el Anexo 3.2.10-3 se entregan copias de los certificados de análisis provistos por el laboratorio analítico.

Tabla 3.2.10-53. Parámetros y métodos analíticos aplicados por Laboratorio ALS Patagonia a las muestras de sedimentos submareales. Teck – QB2, 2015.

CM	Sede	Parámetro	Método de Referencia	Laboratorio
11911	SCL	Carbono Orgánico Total-Inorgánico (Suelos)	SSSA (1996) P455-456.	SCL - Subcontratado
11909	SCL	Azufre Total LECO (Suelos)	ISO 15178:2000.	SCL - Subcontratado
13474	SCL	Calculo Sulfuro	---	SCL - Inorganico
13220	SCL	Cromo Hexavalente, Suelo, Burnaby (Canadá)	---	SCL - Subcontratado
12542	SCL	Digestión Ácida de Metales Totales (Suelos)	Digestión Ácida. US EPA 3050 B, 3051.	SCL - Preparacion de Muestras
13213	ANT	Mercurio Total	Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometric Method. APHA 3112-B, page 3-23 to 3-24, 21st ed.2005	ANT - Subcontratado
11583	SCL	Metal Total, Suelos (ICPOES)	ICP-OES. US EPA 6010C.	SCL - Metales
11253	SCL	PAH's, Suelos	US EPA SW-846. Test methods for Evaluation Soil Waste Physically/Chemicals Methods. Versión 2, 1997 y Versión 3, 1995. Adaptación Método USEPA 8270D, 3510C,3570.	SCL - Organico
11921	SCL	Sulfato-S Disponible (Suelos)	Comm. Soil Sci. Plant Anal, 25 (5&6)	SCL - Subcontratado
11537	SCL	TPH F2(C10-C16) - F3(C16-C34) Suelos	Method for the Canada-Wide Standard for petroleum Hydrocarbons in Soil-Tier 1 Method, Canadian Council of Ministers of the Environment 2001	SCL - Organico

Fuente: extraído del informe reportado por laboratorio ALS Patagonia S.A.

d.1) Parámetros medidos *in situ*

En las mismas trece (13) estaciones de muestreo se realizaron mediciones *in situ* del potencial de óxido reducción del sedimento submareal. Las mediciones del potencial redox fueron realizadas con un equipo de campo marca Thermo Orion (precisión +/-2 mV), cuyos valores fueron corregidos al Electrodo Normal de Hidrógeno (NHE). Las mediciones se efectuaron inmediatamente después de colectada las muestras de sedimento, insertando el electrodo en la muestra y evitando cualquier perturbación que pudiese alterar la correcta medición.

e) Análisis Estadístico de la Información

Para determinar la existencia diferencias significativas en las concentraciones promedio de los analitos químicos muestreados en la columna de agua, sedimentos inter y submareales, entre los diferentes estratos de profundidad y campañas estacionales realizadas, se aplicaron análisis

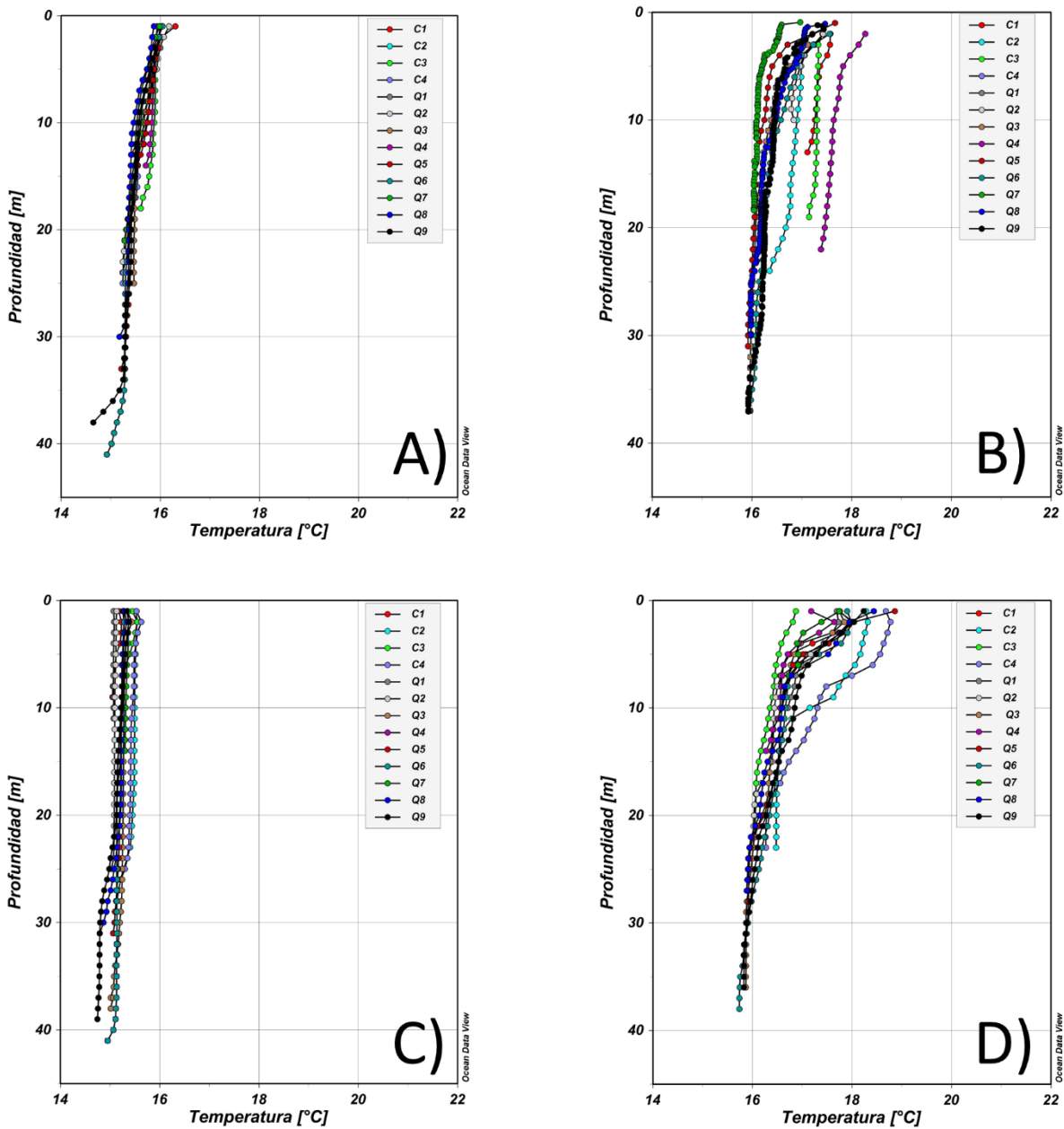
paramétricos (i.e. test de Student, ANOVA), previo análisis de homogeneidad de varianza (test de Levene; Sokal & Rohlf 1979), y normalidad de los datos (test de Shapiro-Wilk, 1972), utilizando para ello el software R (R Development Core Team, 2013). En aquellos casos donde no se cumplieron los supuestos para utilizar estadística paramétrica, se utilizó la data bruta para realizar los análisis de varianza no paramétricos (i.e. test Wilcoxon, Kruskal-Wallis; Zar, 1996).

3.2.10.2.6 Resultados

a) Hidrografía (Estructura de la columna de agua)

La temperatura mostró una estructura vertical cuasi-homogénea en la mayor parte de las estaciones muestreadas sin la presencia de una termoclina estacional, se presentó una disminución gradual de temperatura desde las capas superficiales hacia el fondo con gradientes menores a $0,2^{\circ}\text{C}/\text{m}$. En verano los valores máximos se presentaron asociados a las estaciones C1, en torno a $16,305^{\circ}\text{C}$ (Figura 3.2.10-93 A). Las menores temperaturas en la banda costera fueron observadas en la estación más profunda, correspondiendo está a la estación Q9, con un valor en torno a $14,65^{\circ}\text{C}$ (Figura 3.2.10-93A). En otoño, la estructura vertical es cuasi-homogénea sin presencia de una termoclina estacional y con temperaturas levemente más cálidas en las estación Q4 (Figura 3.2.10-93B); las mayores temperaturas en esta zona ($18,28^{\circ}\text{C}$) se asociaron a la estación C4. En invierno la estructura de la columna de agua es más homogénea en comparación a verano y otoño (Figura 3.2.10-93 C), con una temperatura promedio del orden de $15,22^{\circ}\text{C}$. En primavera se observaron los mayores gradientes en la vertical con valores cercanos a $0,5^{\circ}\text{C}/\text{m}$ (Figura 3.2.10-93 D).

Figura 3.2.10-93. Estructura vertical de temperatura (°C): A) verano, B) otoño, C) invierno y D) primavera, del 2015 Teck – QB2.



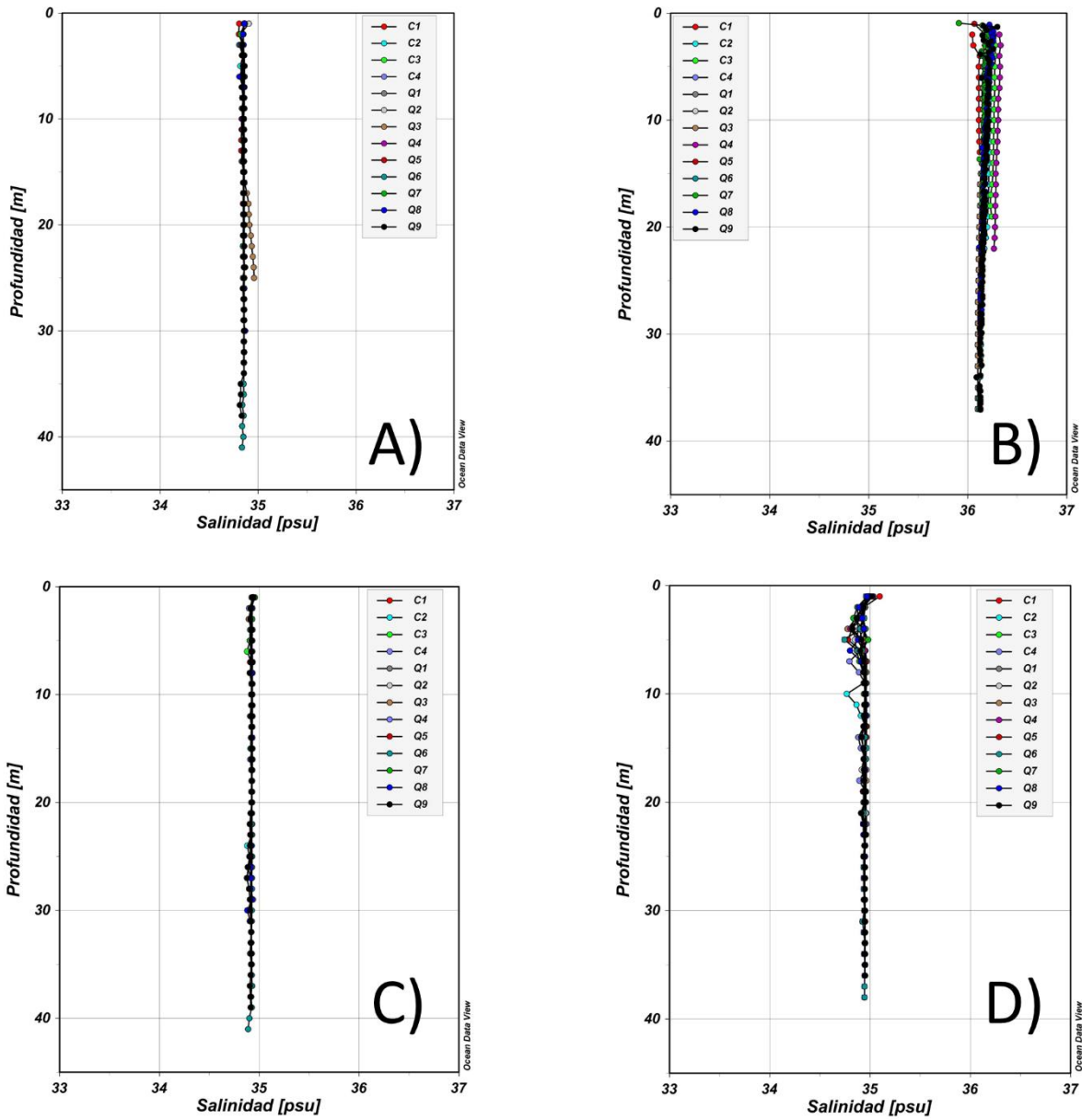
Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la salinidad se observó una estructura vertical homogénea en las cuatro campañas estacionales evaluadas (Figura 3.2.10-94 A, B, C y D), asociado a un estrato vertical indicativo de un intenso proceso de mezcla que abarca toda la columna de agua debido a lo somero del

sector costero en evaluación, con un comportamiento similar en todas las estaciones analizadas, observando una salinidad promedio en verano del orden de 34,85 psu (Figura 3.2.10-94 A). En otoño, se presenta similar condición observando una columna de agua bien mezclada, con una salinidad promedio en torno a 36,18 PSU (con una gradiente halino en la vertical menor a 0,2 PSU). En invierno se observó un rango en salinidad de 0,08 PSU (diferencia entre el valor máximo y mínimo), indicativo de la homogeneidad del sistema, con una salinidad máxima de 34,96 PSU asociada a la estación C3 (ubicada al norte del área costera evaluada) Figura 3.2.10-94 C) existiendo un leve gradiente latitudinal (N-S). En primavera al igual que los casos anteriores, la columna se mantiene homogénea con una salinidad promedio del orden de 34,94 PSU y mínima de 34,75 PSU (Figura 3.2.10-94 D).

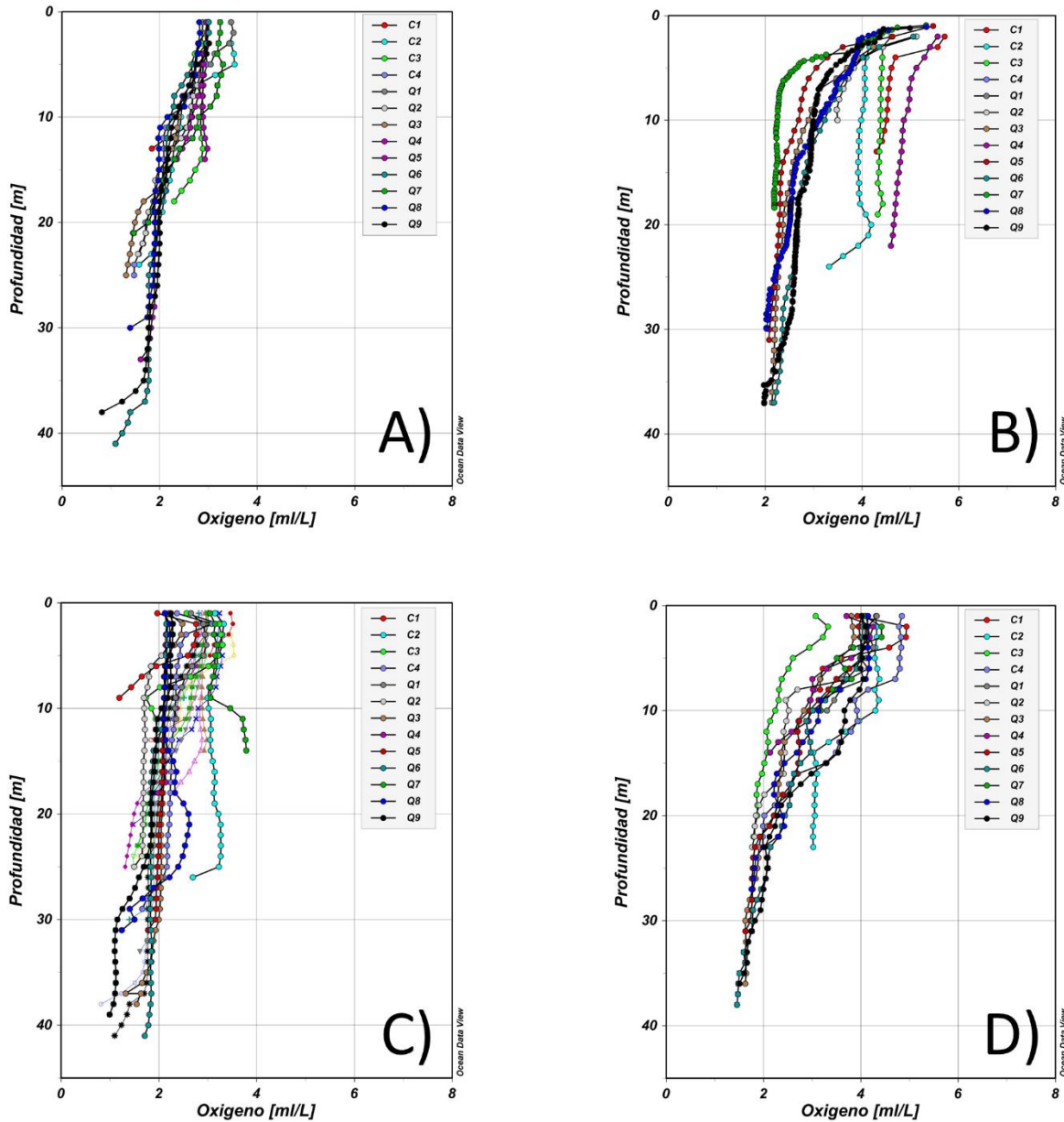
La concentración de OD en verano mostró una leve disminución desde las capas superficiales hacia el fondo, observándose en general bajas concentraciones de oxígeno, la estación con mayor contenido de oxígeno disuelto a nivel superficial se presentó específicamente en torno a las estaciones C2 y Q1 respectivamente. Se observó además un nivel bajo de saturación de oxígeno disuelto, con valores menores al 100% en la mayor parte de las estaciones, llegando a valores menores al 50% bajo la capa de los 20 m de profundidad (Figura 3.2.10-95 A). En general, no se observaron valores que evidenciaran una condición de Zona Mínima de Oxígeno (ZMO <1 ml/l; Silva, 1983; Schneider *et al.*, 2006), salvo en la estación C1, que se presenta un valor menor a 1 mlO₂/l. Sin embargo, no se evidenció una condición de hipoxia (concentraciones menores a 0,5 mlO₂/l; Helly & Levin, 2004), en ninguna de las estaciones las campañas estacionales monitoreadas (Figura 3.2.10-95 A, B, C y D). En otoño la concentración de OD fue levemente superior a la condición de verano, con una concentración máxima en superficie 5,7 mlO₂/L asociado a la estación C1, con una concentración promedio en la columna del orden de 3,1 mlO₂/l (Figura 3.2.10-95 B). En invierno (Figura 3.2.10-95 C), las concentraciones de OD siguen siendo bajas con niveles similares a la condición de verano, con concentraciones de OD promedio en la columna de 2,19 mlO₂/l. Las mayores concentraciones de OD se observaron en primavera con valores máximos en superficie del orden de 4,94 mlO₂/L asociada a la estación norte C1 (Figura 3.2.10-95 D). Al igual que los casos anteriores no se observaron niveles de OD críticos (ZMO <1 mlO₂/l; Schneider *et al.*, 2006, o de hipoxia, concentraciones menores a 0,5 mlO₂/l; Helly & Levin, 2004).

Figura 3.2.10-94. Estructura vertical de salinidad (psu): A) verano, B) otoño, C) invierno y D) primavera de 2015. Teck – QB2.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-95. Estructura vertical de la concentración de oxígeno disuelto (mLO₂/L): A) verano, B) otoño, C) invierno y D) primavera de 2015. Teck – QB2.



Fuente: Elaboración propia

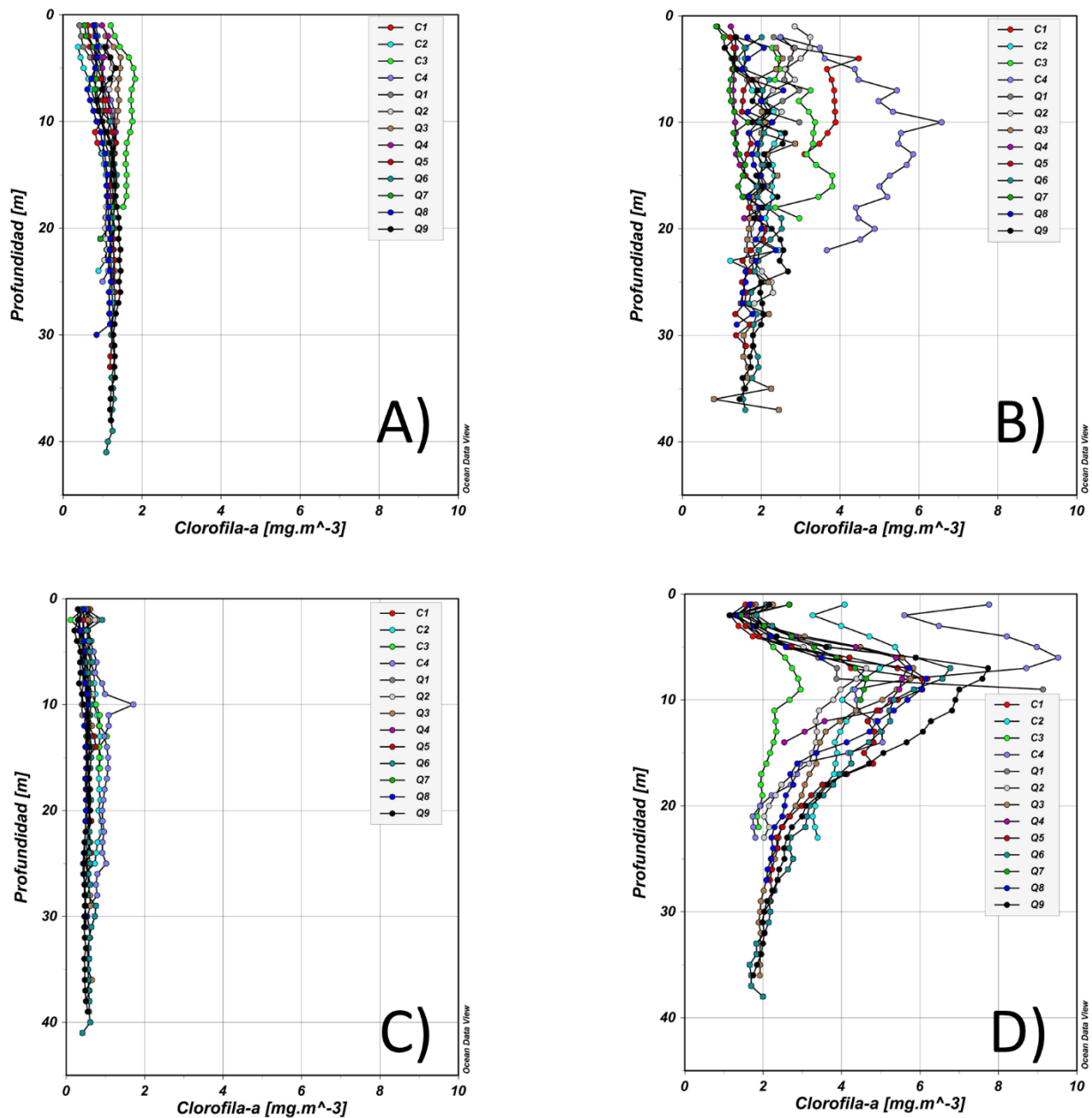
En verano (Figura 3.2.10-96 A), la concentración de clorofila-a varió desde un valor mínimo de 0,38 mg/m³ en la capa superficial hasta un máximo de 1,82 mg/m³ a los 10 m de profundidad asociado a la estación C3, lo cual podría clasificarse como una condición mesotrófica (Smith et al., 1999).

En otoño (Figura 3.2.10-96B), la concentración de clorofila-a varió desde un valor mínimo de 0,84 mg/m³ en la capa superficial, hasta un máximo de 6,96 mg/m³ asociado a la estación C4, pudiendo inferir que existe una condición hipertrófica alrededor de la estación C4 al norte del área costera evaluada (Smith *et al.*, 1999).

Las concentraciones de clorofila-a observada en invierno (Figura 3.2.10-96 C), fue en general menor a 1 mg/m³ en la mayoría de las estaciones. Las concentraciones variaron desde un mínimo de 0,11mg/m³ hasta un máximo de 1,71 mg/m³, con una concentración promedio en torno a 0,58 mg/m³. Esta condición oligotrófica (Smith *et al.*, 1999) permitiría inferir un bajo contenido de nutrientes en la columna de agua para este periodo monitoreado.

Las mayores concentraciones fueron observadas en primavera (Figura 3.2.10-96 D), variando entre un mínimo de 1,1 mg/m³ y un máximo de 9,52 mg/m³. Estas altas concentraciones de clorofila-a implicarían un gran aporte de nutrientes en la columna de agua asociado a una condición hipertrófica (Smith *et al.*, 1999).

Figura 3.2.10-96. Estructura vertical de la concentración de Clorofila-a (mg/m^3): A) verano, B) otoño, C) invierno y D) primavera de 2015. Teck – QB2.



Fuente: Elaboración propia

La distribución de pH en la vertical mostró un valor homogéneo durante el verano, con un valor promedio en torno a 7,82 condición levemente básica (Figura 3.2.10-97 A), variando entre 7,74 y un máximo de 7,88 asociado a la estación C1 (Figura 3.2.10-97 A).

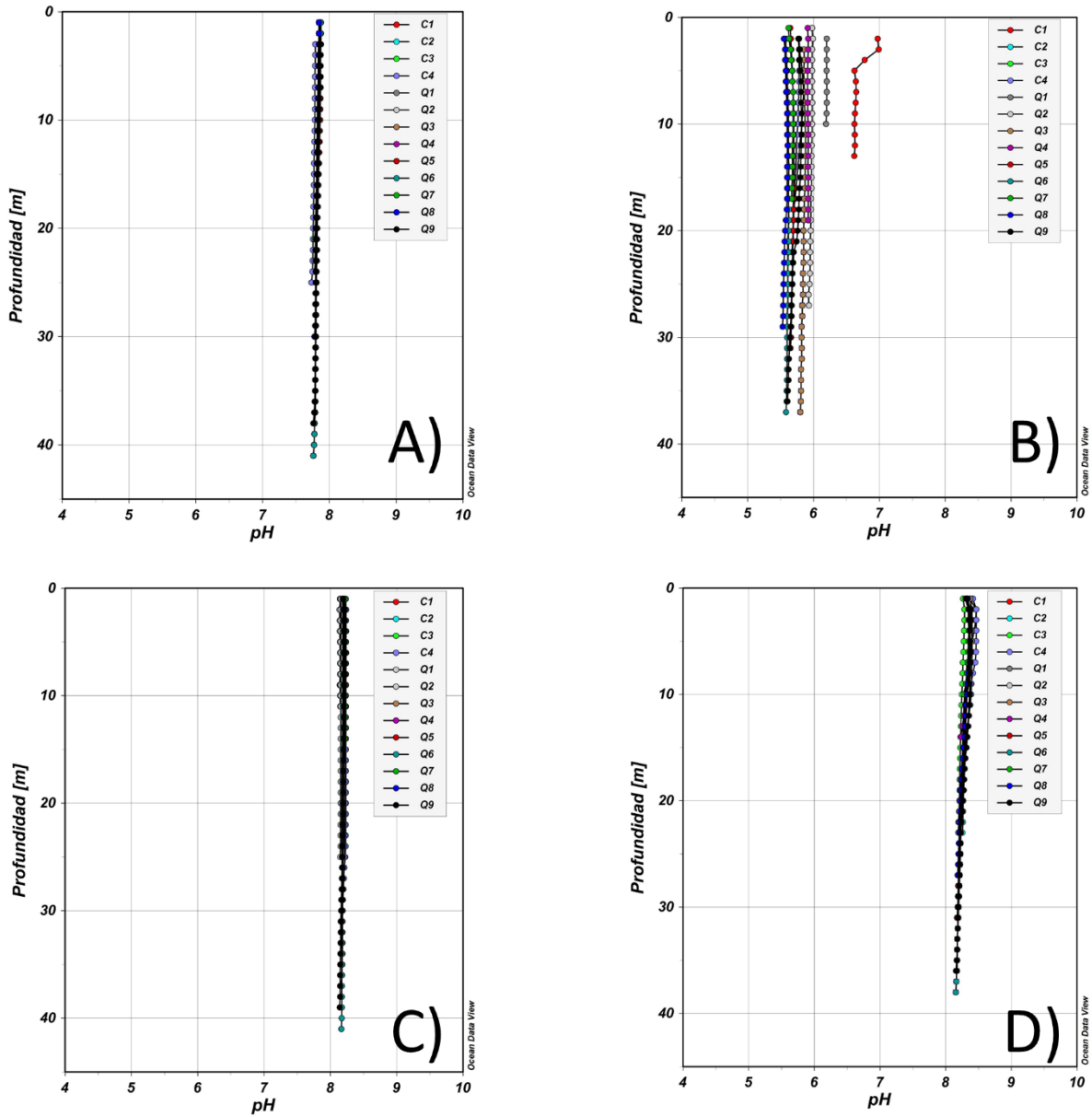
En otoño se presentó una condición homogénea con una columna levemente acidificada con un valor de pH mínimo de 5,52 asociado a las estación Q8, y un máximo de 6,73 en la estación C1 (Figura 3.2.10-97 B), registrándose un pH promedio de 5,69.

Las variaciones de pH para invierno fueron similares a las de primavera variando entre 8,14 y 8,24, con un pH promedio de la columna de 8,19 (Figura 3.2.10-97 C).

En primavera el pH varió entre 8,15 y 8,47 con un valor promedio de 8,29, siendo esta una condición levemente básica (Figura 3.2.10-97 D).

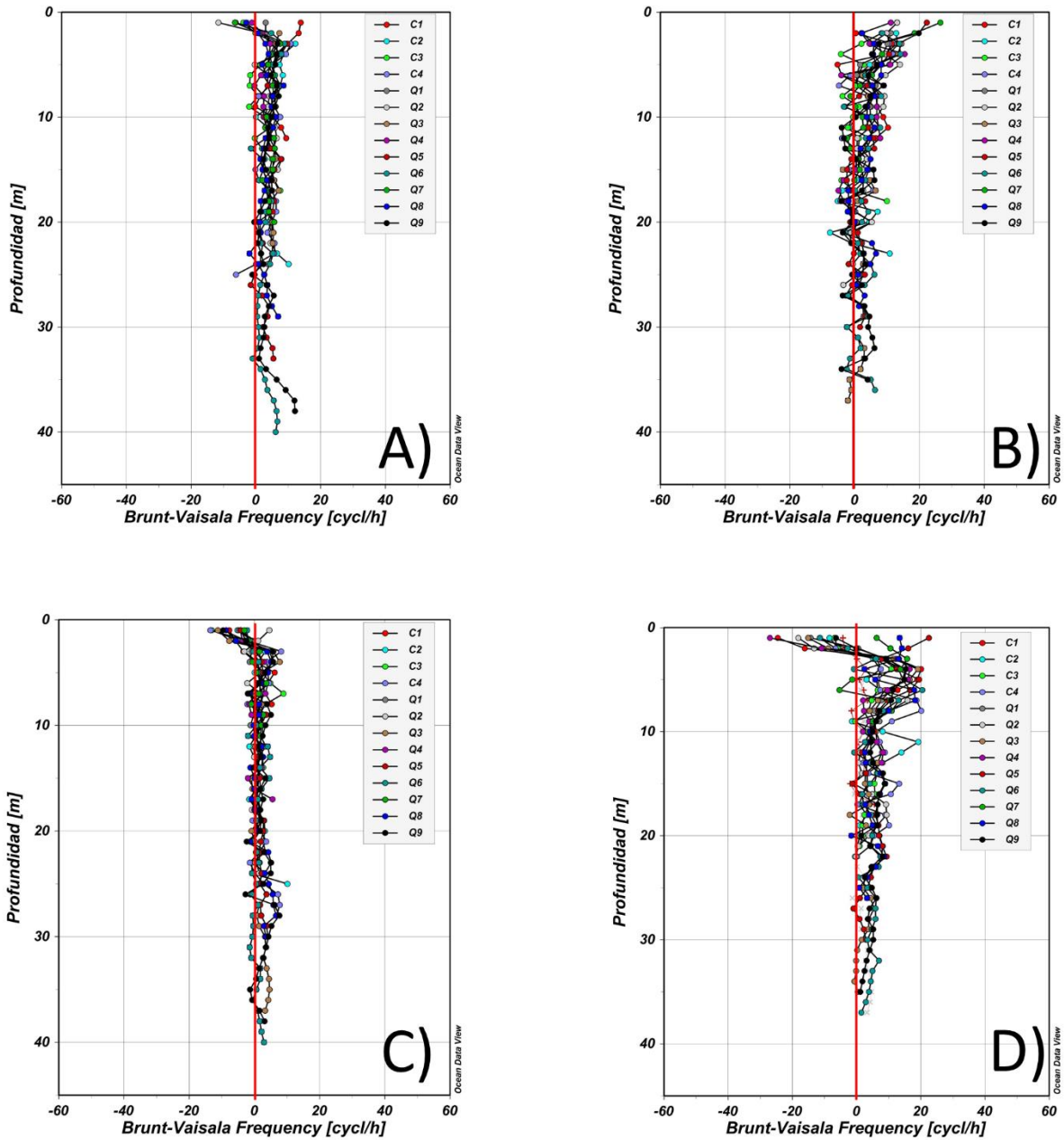
Al analizar la estructura vertical en términos de su estabilidad (Figura 3.2.10-98 A, B, C y D), se observó una columna bien mezclada y estable en todas las estaciones muestreadas, observando una frecuencia de Brunt-Väisälä con valores positivos en la mayor parte de las estaciones ($N^2 > 0$, condición de estabilidad), salvo en la capa superficial en que se observaron valores negativos en la estabilidad, lo cual es atribuible al efecto del viento como forzante sobre las capas superficiales (Figura 3.2.10-98 A, B, C y D). Se observó una mayor estabilidad de la columna de agua en verano (Figura 3.2.10-98 A) e invierno (Figura 3.2.10-98C) en comparación con las estaciones de otoño (Figura 3.2.10-98 B) y primavera (Figura 3.2.10-98 D).

Figura 3.2.10-97. Estructura vertical de la concentración de pH (unidades de pH): A) verano, B) otoño, C) invierno y D) primavera de 2015. Teck – QB2.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2.10-98. Estabilidad de la columna de agua en términos de frecuencia de Brunt – Väisälä ($N^2 = -\frac{g}{\rho} \frac{d\rho}{dz}$), durante las campañas estacionales, A) verano, B) otoño, C) invierno y D) primavera de 2015 (línea roja delimita los valores de estabilidad positivos (columna de agua estable) y negativos (columna de agua inestable)). Teck – QB2.



Fuente: Elaboración propia

b) Análisis complementario anomalías térmicas superficiales costeras

Se debe hacer notar que para definir en términos operacionales un evento El Niño (EN) o La Niña (LN) a nivel regional se utilizan los cálculos de las anomalías (durante un periodo tres meses de duración) de Temperatura Superficial de Mar (TSM) en una determinada región (e.g. para nuestro caso el área de mayor representatividad para la región es la zona EN 1+2, Figura 3.2.10-99). Las anomalías son obtenidas de bases hidrográficas o a partir de bases de imágenes satelitales históricas. Como parte del análisis de escala, se debe tener presente que este es un evento que tiene efectos planetarios, pero que su mayor área de influencia se centra en la banda ecuatorial entre los -20°N y 20°S . Dicho esto, la escala espacial del proyecto es pequeña, y se ubica en un sector costero fuera del área de mayor influencia de este tipo de eventos. Por lo tanto, en el área de emplazamiento del proyecto en términos de los estudios de línea de base, son más importante las variaciones locales de alta frecuencias (variaciones de horas, semidiurnas, diurnas, ciclos diarios) que los efectos remotos de baja frecuencia como ENOS (variaciones con una periodicidad de 4 a 5 años o de una escala interdecadal o decadal).

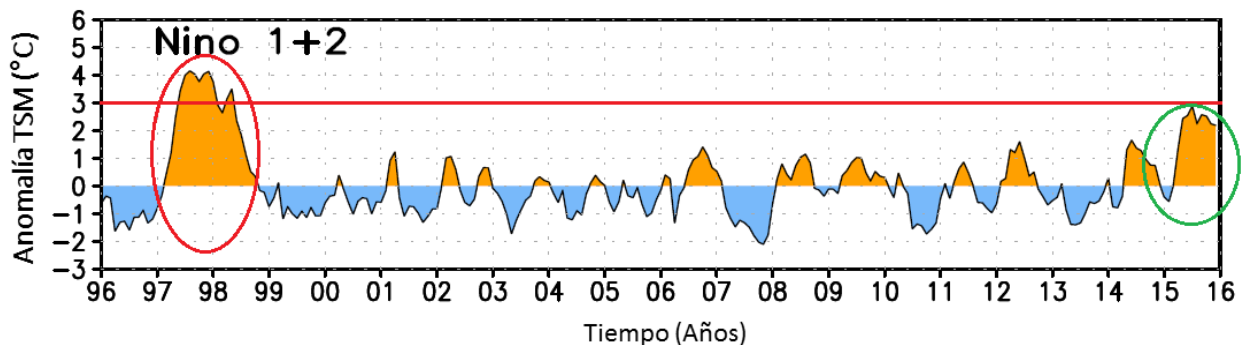
Figura 3.2.10-99. Zona definida como “El Niño 1+2” comprendida entre 0°S - 10°S Y 90°W - 80°W .



Para el presente análisis se consideraron las anomalías de TSM para el año 2015 (Figura 3.2.10-100), comparándolas con las anomalías históricas. Durante inicios del 2015, las anomalías mostraron valores negativos lo cual es indicativo de que el océano se encontraba más frío que su condición histórica normal en la región (EN 1+2). A partir de marzo se observan anomalías

positivas mayores a 0,5°C indicativo de un calentamiento de las aguas superficiales del mar, permaneciendo esta condición hasta finales del 2015, presentándose una anomalía máxima a mediados de año (junio-julio), observándose anomalías positivas inclusive hasta el 2016. Cabe destacar que el evento cálido 2015 es de inferior magnitud que el evento de 1997-1998, ya que las anomalías del 2015 fueron inferiores a 3°C (Figura 3.2.10-100).

Figura 3.2.10-100. Anomalías de Temperatura Superficial del Mar referidas a la zona “El Niño 1+2”.



En el círculo rojo se destaca el evento El Niño 97-98 y en el círculo verde se destaca el evento del 2015

Fuente: Climate Diagnostic Bulletin 2015:enero a diciembre
(<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/CDB/>).

De acuerdo a lo anterior, se puede señalar que durante la ejecución de las campañas de línea de base no hubo un efecto que mostrará variaciones significativas en términos de temperatura, que pudiesen ser atribuibles a una fase cálida del ENOS tipo El Niño.

c) Calidad química del Agua de Mar

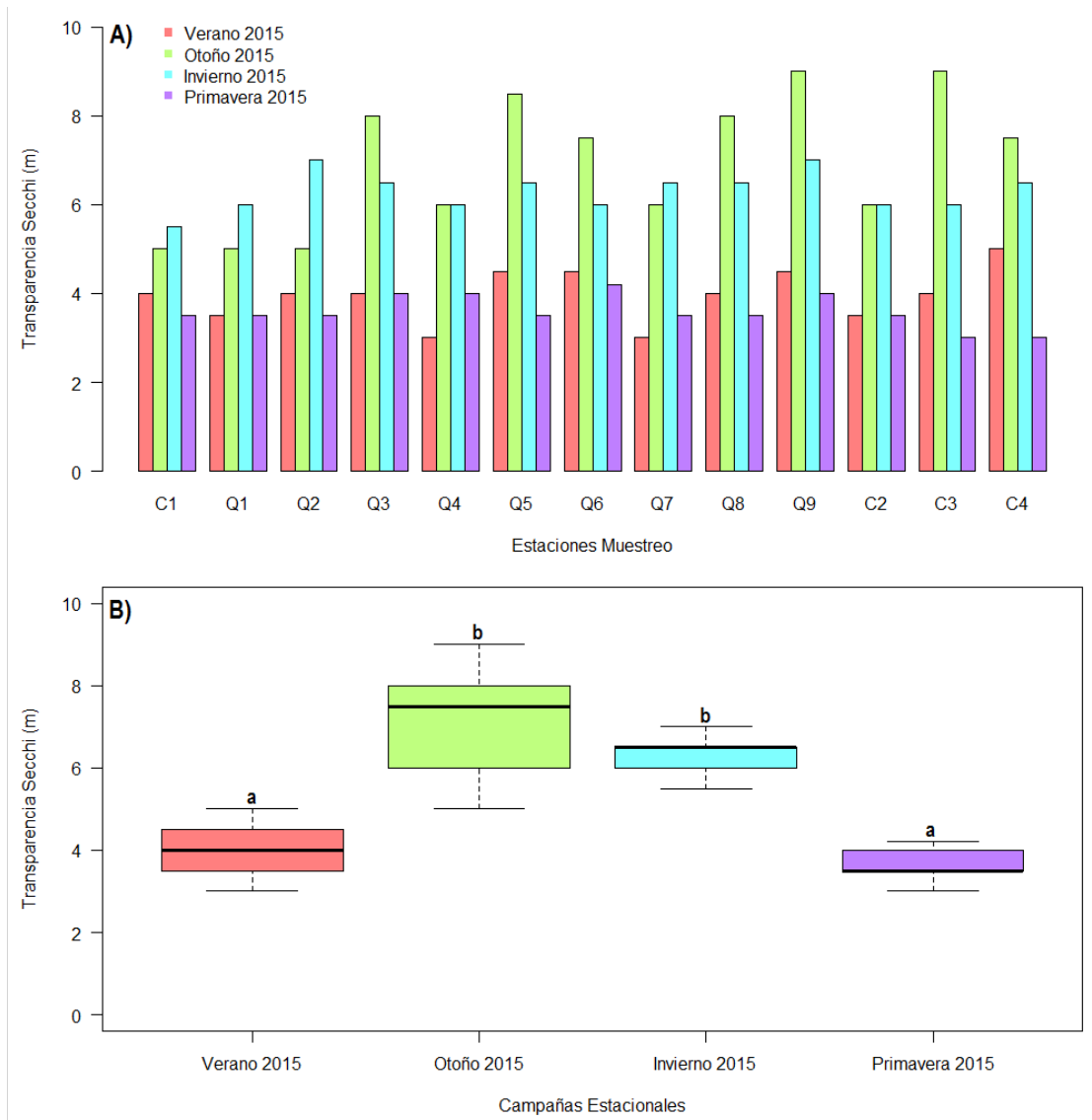
c.1) Parámetro medido *in situ*

- Transparencia

En base a la medición *in situ* de transparencia en la columna de agua realizada en el área costera evaluada, se registró durante las campañas verano y primavera la columna de agua una menor transparencia en comparación con otoño e invierno, con un rango de fluctuación entre 3 m – 5 m en las estaciones Q4/Q7 y C4, respectivamente (verano), y entre 3 m – 4,2 m en las estaciones C3/C4 y Q6, respectivamente (primavera). Por su parte, en otoño e invierno se registró una transparencia que fluctuó entre rangos extremos de 5 m – 9 m en las estaciones Q1/Q2/C1 y C3, respectivamente (otoño); y entre 5,5 m – 7 m en las estaciones C1 y Q2/Q9, respectivamente (invierno). De acuerdo a lo descrito, y al observar la disposición espacial de las estaciones muestreadas, es posible apreciar una leve tendencia de una menor transparencia de la columna de agua en aquellas estaciones más someras (Q1, Q4, Q7, C1 y C3), en comparación con las estaciones más profundas y alejadas de la costa (Q5, Q6, Q8 y Q9; Figura 3.2.10-101 A).

Al analizar las mediciones de transparencia para todas las estaciones de muestreo por cada campaña estacional de línea de base, fue posible encontrar diferencias significativas para promedio de esta variable entre la distintas campañas estacionales evaluadas (Kruskal Wallis; $\chi^2 = 39,41$; $p = 1,407e-08$, Figura 3.2.10-101 B).

Figura 3.2.10-101. Transparencia (m) medida *in situ*: (A) todas las estaciones monitoreadas durante las cuatro campañas de Línea de Base; y (B) transparencia promedio (\pm DS) por campaña estacional (Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$). Teck – QB2, 2015.



Fuente: Elaboración propia.

c.2) Parámetros medidos en laboratorio analítico (ALS Patagonia)

En la Tabla 3.2.10-54 se entrega la estadística básica para cada analito individual empleado para caracterizar la calidad del agua en el área costera evaluada (promedio, desviación estándar, rango absoluto de variación (concentración mínima y máxima)), a nivel superficial y de fondo en la columna de agua, aun cuando esta tabla resulta extensa da cuenta apropiadamente de la totalidad de analitos evaluados en el presente estudio y sus tendencias. Los resultados se muestran también de manera gráfica en términos de la concentración promedio y su respectiva desviación estándar (DS) para los analitos evaluados en cada estación o punto de muestreo. Para efectos gráficos, en aquellos analitos que se registraron valores “menor que” (<) el límite de detección, dicho límite se identificó con una línea punteada roja al interior del gráfico.

Según Croghan *et al.*, 2003; EPA, 2004 las principales estrategias para el manejo de los datos para la estimación de parámetros de estadística básica con datos químicos bajo el límite de detección, son las siguientes:

- Sustitución simple,
- Extrapolación, y
- Estimación de máxima verosimilitud.

El más fácil y comúnmente empleado es la estrategia de sustitución simple, donde los valores son sustituidos por cero (0), por alguna fracción del límite de detección (por lo general $\frac{1}{2}$ o $1/\sqrt{2}$), o con el propio límite de detección. La estrategia de extrapolación utiliza la regresión o la probabilidad del trazado para el cálculo de la media y la desviación estándar en función de la línea de regresión de los datos, los valores sobre el límite de detección y su rango de valores. La tercera estrategia de estimación de máxima verosimilitud, también se basa en las propiedades estadísticas de los datos no censurados, pero utiliza un proceso iterativo para calcular la media y la varianza.

En el presente estudio utilizaremos la primera estrategia, es decir, la sustitución simple por el mismo valor del límite de detección, debido a que es la más simple y adecuada cuando se tiene un set de datos reducido, además ésta estrategia no incluye cálculos y/o manipulación de los datos, que si bien en términos estadísticos y matemáticos estarían correctos, podrían causar observaciones por parte de los revisores del estudio. En consecuencia, para aquellos casos en que los valores o concentraciones estuvieron bajo el límite de detección de las técnicas de análisis empleadas, se consideró dicha cifra como valor para el cálculo de los estadígrafos. Así por ejemplo, si el límite de detección de los sólidos suspendidos totales fue < 3,0 mgSST/l, para efectos de cálculo esta expresión se registró como 3,0 mg/l.

Conforme a los antecedentes presentados en la Tabla 3.2.10-54, los siguientes treinta y seis (36) analitos exhibieron niveles no detectables en las cuatro campaña estacionales (verano, otoño, invierno y primavera), en todas las estaciones y profundidades evaluadas, es decir, presentaron registros bajo el límite de detección (L.D.) de la respectiva metodología aplicada: 2 metilnaftaleno (< 0,001 mg/l), aceites y grasas (< 2,0 mg/l), acenafteno (< 0,001 mg/l), acenaftileno (< 0,001

mg/l), acridina (< 0,001 mg/l), antraceno (< 0,001 mg/l), benzo (a) pireno (< 0,001 mg/l), benzo (b) fluoranteno (< 0,001 mg/l), benzo (k) fluoranteno (< 0,001 mg/l), benzo (a) antraceno (< 0,001 mg/l), benzo (g,h,i) perileno (< 0,001 mg/l), ClO₃ clorato (< 0,05 mg/l en Verano, Otoño e Invierno y < 0,17 mg/l en Primavera), coliformes fecales (< 2,0 NMP/100 ml en Verano y < 1,8 NMP/100 ml en Otoño, Invierno y Primavera), criseno (< 0,001 mg/l), cromo hexavalente (< 0,01 mg/l), DBO5 (< 2,0 mg/l), dibenzo (a) antraceno (< 0,001 mg/l), dibromoclorometano (< 0,005 mg/l), diclorobromometano (< 0,005 mg/l), fenantreno (< 0,001 mg/l), fluoranteno (< 0,001 mg/l), fluoreno (< 0,001 mg/l), hidrocarburos fijos (< 2,0 mg/l), hidrocarburos totales (< 2,0 mg/l), hidrocarburos volátiles (< 0,5 mg/l), indeno (1,2,3-cd) pireno (< 0,001 mg/l), naftaleno (< 0,001 mg/l), quinolina (< 0,001 mg/l), sólidos sedimentables (< 0,1 ml/ hr), tetracloroetileno (< 0,005 mg/l), tribromometano (< 0,005 mg/l), triclorometano (< 0,005 mg/l), plata (< 0,01 mg Ag/l), berilio (< 0,005 mg Be/l) y mercurio (< 0,0005 mg Hg/l).

En los casos anteriormente descritos, con registros de analitos bajo el L.D., los valores tabulados (Tabla 3.2.10-54) se muestran con sus respectivos límites de detección para cada elemento, y no serán representados gráficamente debido a que no presentan variabilidad.

Tabla 3.2.10-54. Estadística básica de calidad química del agua de mar por estación, estrato y campaña estacional. Verano, Otoño, Invierno y Primavera 2015. Estrato Superficie: S; estrato Fondo: F. Teck – QB2 – 2015.

Estrato	Estadígrafo	2 Metilnaftaleno	Aceites y Grasas	Acenafteno	Acenaftileno	Acridina	Antraceno	B total	Benzo (a) Pireno	Benzo (b) Fluoranteno	Benzo (k) Fluoranteno	Benzo(a)antraceno	Benzo(g,h,i)Perileno	Br, Bromuro	ClO3, Clorato
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Campaña Verano															
S	PROM	<0,001	<2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	4,70	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	101,38	<0,05
	DESV	0,000	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,29	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	8,07	0,00
	MIN	<0,001	<2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,82	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	84,00	<0,05
	MAX	<0,001	<2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	4,95	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	109,20	<0,05
F	PROM	<0,001	<2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	4,71	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	88,50	<0,05
	DESV	0,000	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,38	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	39,31	0,00
	MIN	<0,001	<2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,56	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,05	<0,05
	MAX	<0,001	<2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	4,97	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	107,75	<0,05
Campaña Otoño															
S	PROM	<0,001	<22	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	4,56	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	26,95	<0,05
	DESV	0,000	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,22	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,85	0,00
	MIN	<0,001	<2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	4,05	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	23,20	<0,05
	MAX	<0,001	<2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	4,81	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	29,20	<0,05
F	PROM	<0,001	<2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	4,46	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	26,16	<0,05
	DESV	0,000	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,22	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,96	0,00
	MIN	<0,001	<2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	4,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	18,60	<0,05
	MAX	<0,001	<2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	4,82	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	29,20	<0,05
Campaña Invierno															

Estrato	Estadigrafo	2 Metilnaftaleno	Aceites y Grasas	Acenafteno	Acenaftileno	Acridina	Antraceno	B total	Benzo (a) Pireno	Benzo (b) Fluoranteno	Benzo (k) Fluoranteno	Benzo(a)antraceno	Benzo(g,h,i)Perileno	Br, Bromuro	ClO3, Clorato
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
S	PROM	<0,001	<2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	4,60	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	24,51	<0,05
	DESV	0,000	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,33	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	4,70	0,00
	MIN	<0,001	<2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	4,08	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	17,40	<0,05
	MAX	<0,001	<2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	5,09	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	33,20	<0,05
F	PROM	<0,001	<2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	4,56	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	26,37	<0,05
	DESV	0,000	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,40	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,54	0,00
	MIN	<0,001	<2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	3,96	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	17,40	<0,05
	MAX	<0,001	<2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	5,32	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	33,30	<0,05
Campaña Primavera															
S	PROM	<0,001	<2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	1,97	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	25,11	<0,17
	DESV	0,000	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,05	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,76	0,00
	MIN	<0,001	<2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	1,89	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	20,41	<0,17
	MAX	<0,001	<2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	2,07	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	27,05	<0,17
F	PROM	<0,001	<2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	1,94	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	24,80	<0,17
	DESV	0,000	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,09	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	4,27	0,00
	MIN	<0,001	<2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	1,76	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	14,05	<0,17
	MAX	<0,001	<2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	2,07	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	32,62	<0,17

Continuación Tabla 3.2.10-54

Estrato	Estadígrafo	Coliformes Fecales	Compuestos Fenólicos	Conductividad Eléctrica	Criseno	Cromo VI	DBO5	Dibenzo (a) antraceno	Dibromoclorometano	Diclorobromometano	Fenantreno	Fluoranteno	Fluoreno	Fluoruros, F-
		NMP/100mL	mg/l	uS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Campaña Verano														
S	PROM	<2	0,003	55.339	<0,001	<0,001	<2	<0,001	<0,005	<0,005	<0,001	<0,001	<0,001	0,31
	DESV	0	0,003	183	0,000	0,000	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,12
	MIN	<2	0,001	54.960	<0,001	<0,001	<2	<0,001	<0,005	<0,005	<0,001	<0,001	<0,001	0,17
	MAX	<2	0,009	55.550	<0,001	<0,001	<2	<0,001	<0,005	<0,005	<0,001	<0,001	<0,001	0,60
F	PROM	<2	0,003	55.315	<0,001	<0,001	<2	<0,001	<0,005	<0,005	<0,001	<0,001	<0,001	0,33
	DESV	0	0,003	118	0,000	0,000	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,15
	MIN	<2	0,001	55.100	<0,001	<0,001	<2	<0,001	<0,005	<0,005	<0,001	<0,001	<0,001	0,18
	MAX	<2	0,008	55.490	<0,001	<0,001	<2	<0,001	<0,005	<0,005	<0,001	<0,001	<0,001	0,60
Campaña Otoño														
S	PROM	<1,8	<0,001	50.215	<0,001	<0,001	<2	<0,001	<0,005	<0,005	<0,001	<0,001	<0,001	1,17
	DESV	0,0	0,000	911	0,000	0,000	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,15
	MIN	<1,8	<0,001	47.500	<0,001	<0,001	<2	<0,001	<0,005	<0,005	<0,001	<0,001	<0,001	0,84
	MAX	<1,8	<0,001	50.900	<0,001	<0,001	<2	<0,001	<0,005	<0,005	<0,001	<0,001	<0,001	1,35
F	PROM	<1,8	<0,001	50.462	<0,001	<0,001	<2	<0,001	<0,005	<0,005	<0,001	<0,001	<0,001	1,21
	DESV	0,0	0,000	336	0,000	0,000	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,16
	MIN	<1,8	<0,001	49.400	<0,001	<0,001	<2	<0,001	<0,005	<0,005	<0,001	<0,001	<0,001	0,97
	MAX	<1,8	<0,001	50.700	<0,001	<0,001	<2	<0,001	<0,005	<0,005	<0,001	<0,001	<0,001	1,39

Estrato	Estadígrafo	Coliformes Fecales	Compuestos Fenólicos	Conductividad Eléctrica	Criseno	Cromo VI	DBO5	Dibenzo (a) antraceno	Dibromoclorometano	Diclorobromometano	Fenantreno	Fluoranteno	Fluoreno	Fluoruros, F-
		NMP/100mL	mg/l	uS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Campaña Invierno														
S	PROM	<1,8	<0,001	51.669	<0,001	<0,001	<2	<0,001	<0,005	<0,005	<0,001	<0,001	<0,001	1,53
	DESV	0,0	0,000	160	0,000	0,000	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,08
	MIN	<1,8	<0,001	51.200	<0,001	<0,001	<2	<0,001	<0,005	<0,005	<0,001	<0,001	<0,001	1,43
	MAX	<1,8	<0,001	51.800	<0,001	<0,001	<2	<0,001	<0,005	<0,005	<0,001	<0,001	<0,001	1,62
F	PROM	<1,8	<0,001	51.723	<0,001	<0,001	<2	<0,001	<0,005	<0,005	<0,001	<0,001	<0,001	1,53
	DESV	0,0	0,000	93	0,000	0,000	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,06
	MIN	<1,8	<0,001	51.500	<0,001	<0,001	<2	<0,001	<0,005	<0,005	<0,001	<0,001	<0,001	1,42
	MAX	<1,8	<0,001	51.800	<0,001	<0,001	<2	<0,001	<0,005	<0,005	<0,001	<0,001	<0,001	1,62
Campaña Primavera														
S	PROM	<1,8	<0,001	51.200	<0,001	<0,001	<2	<0,001	<0,005	<0,005	<0,001	<0,001	<0,001	1,44
	DESV	0,0	0,000	537	0,000	0,000	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,14
	MIN	<1,8	<0,001	50.300	<0,001	<0,001	<2	<0,001	<0,005	<0,005	<0,001	<0,001	<0,001	1,04
	MAX	<1,8	<0,001	52.000	<0,001	<0,001	<2	<0,001	<0,005	<0,005	<0,001	<0,001	<0,001	1,55
F	PROM	<1,8	<0,001	51.062	<0,001	<0,001	<2	<0,001	<0,005	<0,005	<0,001	<0,001	<0,001	1,44
	DESV	0,0	0,000	472	0,000	0,000	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,06
	MIN	<1,8	<0,001	50.100	<0,001	<0,001	<2	<0,001	<0,005	<0,005	<0,001	<0,001	<0,001	1,34
	MAX	<1,8	<0,001	51.700	<0,001	<0,001	<2	<0,001	<0,005	<0,005	<0,001	<0,001	<0,001	1,51

Continuación Tabla 3.2.10-54

Estrato	Estadígrafo	Hydrocarburos Fijos	Hydrocarburos Totales	Hydrocarburos Volátiles C6-C10	Indeno(1,2,3-cd) Pireno	Naftaleno	Nitrógeno Total Kjeldahl	N-NO2, Nitrito	N-NO3, Nitrato	Pireno	P-PO4, Fosfato	quinolina	SAAM	Sólidos Disueltos Totales
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Campaña Verano														
S	PROM	<2	<2	<0,50	<0,001	<0,001	1,79	<0,010	0,72	<0,001	1,19	<0,001	0,031	38.722
	DESV	0	0	0,00	0,000	0,000	1,13	0,000	0,01	0,000	1,51	0,000	0,021	663
	MIN	<2	<2	<0,50	<0,001	<0,001	0,70	<0,010	0,69	<0,001	0,09	<0,001	0,010	37.580
	MAX	<2	<2	<0,50	<0,001	<0,001	4,50	<0,010	0,73	<0,001	4,30	<0,001	0,080	39.968
F	PROM	<2	<2	<0,50	<0,001	<0,001	1,75	0,010	0,72	<0,001	0,92	<0,001	0,027	38.723
	DESV	0	0	0,00	0,000	0,000	1,59	0,001	0,01	0,000	1,29	0,000	0,014	553
	MIN	<2	<2	<0,50	<0,001	<0,001	0,50	0,010	0,70	<0,001	0,09	<0,001	0,010	37.910
	MAX	<2	<2	<0,50	<0,001	<0,001	6,20	0,013	0,74	<0,001	3,00	<0,001	0,060	40.018
Campaña Otoño														
S	PROM	<2	<2	<0,50	<0,001	<0,001	0,51	<0,001	0,51	<0,001	1,89	<0,001	<0,001	42.421
	DESV	0	0	0,00	0,000	0,000	0,03	0,000	0,03	0,000	0,86	0,000	0,000	1161
	MIN	<2	<2	<0,50	<0,001	<0,001	0,50	<0,001	0,50	<0,001	0,55	<0,001	<0,001	40.644
	MAX	<2	<2	<0,50	<0,001	<0,001	0,60	<0,001	0,60	<0,001	2,80	<0,001	<0,001	45.094
F	PROM	<2	<2	<0,50	<0,001	<0,001	0,52	<0,001	0,62	<0,001	1,99	<0,001	<0,001	42.057
	DESV	0	0	0,00	0,000	0,000	0,06	0,000	0,07	0,000	0,68	0,000	0,000	655
	MIN	<2	<2	<0,50	<0,001	<0,001	0,50	<0,001	0,50	<0,001	0,80	<0,001	<0,001	40.444
	MAX	<2	<2	<0,50	<0,001	<0,001	0,70	<0,001	0,70	<0,001	2,65	<0,001	<0,001	42.994

Estrato	Estadígrafo	Hidrocarburos Fijos	Hidrocarburos Totales	Hidrocarburos Volátiles C6-C10	Indeno(1,2,3-cd) Pireno	Naftaleno	Nitrógeno Total Kjeldahl	N-NO2, Nitrito	N-NO3, Nitrato	Pireno	P-PO4, Fosfato	quinolina	SAAM	Sólidos Disueltos Totales
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Campaña Invierno														
S	PROM	<2	<2	<0,50	<0,001	<0,001	2,45	<0,001	<0,70	<0,001	<0,09	<0,001	0,011	41.284
	DESV	0	0	0,00	0,000	0,000	5,28	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000	0,003	776
	MIN	<2	<2	<0,50	<0,001	<0,001	0,50	<0,001	<0,70	<0,001	<0,09	<0,001	0,010	40.242
	MAX	<2	<2	<0,50	<0,001	<0,001	20,00	<0,001	<0,70	<0,001	<0,09	<0,001	0,020	42.342
F	PROM	<2	<2	<0,50	<0,001	<0,001	1,04	<0,001	<0,70	<0,001	4,54	<0,001	<0,010	41.280
	DESV	0	0	0,00	0,000	0,000	0,44	0,000	0,00	0,000	16,06	0,000	0,000	687
	MIN	<2	<2	<0,50	<0,001	<0,001	0,50	<0,001	<0,70	<0,001	0,09	<0,001	<0,010	40.192
	MAX	<2	<2	<0,50	<0,001	<0,001	1,80	<0,001	<0,70	<0,001	58,00	<0,001	<0,010	42.542
Campaña Primavera														
S	PROM	<2	<2	<0,50	<0,001	<0,001	<0,50	<0,001	0,64	<0,001	<0,09	<0,001	0,012	40.504
	DESV	0	0	0,00	0,000	0,000	0,00	0,000	0,03	0,000	0,00	0,000	0,004	1.798
	MIN	<2	<2	<0,50	<0,001	<0,001	<0,50	<0,001	0,59	<0,001	<0,09	<0,001	0,010	34.900
	MAX	<2	<2	<0,50	<0,001	<0,001	<0,50	<0,001	0,68	<0,001	<0,09	<0,001	0,020	41.900
F	PROM	<2	<2	<0,50	<0,001	<0,001	<0,50	<0,001	0,73	<0,001	<0,09	<0,001	<0,010	40.804
	DESV	0	0	0,00	0,000	0,000	0,00	0,000	0,04	0,000	0,00	0,000	0,000	748
	MIN	<2	<2	<0,50	<0,001	<0,001	<0,50	<0,001	0,66	<0,001	<0,09	<0,001	<0,010	39.800
	MAX	<2	<2	<0,50	<0,001	<0,001	<0,50	<0,001	0,77	<0,001	<0,09	<0,001	<0,010	42.000

Continuación Tabla 3.2.10-54

Estrato	Estadígrafo	Sólidos sedimentables	Sólidos Suspendidos Totales	Sulfato - SO4	Sulfuro	Tetracloroetileno	Tribromometano	Triclorometano	Plata Disuelta (Ag)	Aluminio Disuelto (Al)	Arsénico Disuelto (As)	Boro Disuelto (B)	Bario Disuelto (Ba)	Berilio Disuelto (Be)
		ml/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Campaña Verano														
S	PROM	<0,10	245	3.290	<0,010	<0,005	<0,005	<0,005	<0,01	<0,2	<0,20	4,50	<0,010	<0,005
	DESV	0,00	52	153	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,0	0,00	0,26	0,000	0,000
	MIN	<0,10	194	3.054	<0,010	<0,005	<0,005	<0,005	<0,01	<0,2	<0,20	3,76	<0,010	<0,005
	MAX	<0,10	356	3.577	<0,010	<0,005	<0,005	<0,005	<0,01	<0,2	<0,20	4,83	<0,010	<0,005
F	PROM	<0,10	238	3.367	0,012	<0,005	<0,005	<0,005	<0,01	<0,2	<0,20	4,50	<0,010	<0,005
	DESV	0,00	80	95	0,006	0,000	0,000	0,000	0,00	0,0	0,00	0,35	0,000	0,000
	MIN	<0,10	184	3.169	0,010	<0,005	<0,005	<0,005	<0,01	<0,2	<0,20	3,39	<0,010	<0,005
	MAX	<,10	494	3.486	0,030	<0,005	<0,005	<0,005	<0,01	<0,2	<0,20	4,78	<0,010	<0,005
Campaña Otoño														
S	PROM	<0,10	<3	2.812	<0,002	<0,005	<0,005	<0,005	<0,01	<0,2	0,21	4,74	0,021	<0,005
	DESV	0,00	0	39	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,0	0,04	0,11	0,017	0,000
	MIN	<0,10	<3	2.754	<0,002	<0,005	<0,005	<0,005	<0,01	<0,2	0,20	4,54	0,010	<0,005
	MAX	<0,10	<3	2.904	<0,002	<0,005	<0,005	<0,005	<0,01	<0,2	0,31	4,91	0,055	<0,005
F	PROM	<0,10	<3	2.840	<0,002	<0,005	<0,005	<0,005	<0,01	<0,2	0,21	4,73	0,016	<0,005
	DESV	0,00	0	51	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,0	0,03	0,08	0,011	0,000
	MIN	<0,10	<3	2.783	<0,002	<0,005	<0,005	<0,005	<0,01	<0,2	0,20	4,56	0,010	<0,005
	MAX	<0,10	<3	2.959	<0,002	<0,005	<0,005	<0,005	<0,01	<0,2	0,31	4,82	0,039	<0,005

Estrato	Estadígrafo	Sólidos sedimentables	Sólidos Suspensos Totales	Sulfato - SO4	Sulfuro	Tetracloroetileno	Tribromometano	Triclorometano	Plata Disuelta (Ag)	Aluminio Disuelto (Al)	Arsénico Disuelto (As)	Boro Disuelto (B)	Bario Disuelto (Ba)	Berilio Disuelto (Be)
		ml/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Campaña Invierno														
S	PROM	<0,10	5	2.762	<0,002	<0,005	<0,005	<0,005	<0,01	1,2	0,26	4,26	<0,010	<0,005
	DESV	0,00	7	22	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	3,6	0,15	0,37	0,000	0,000
	MIN	<0,10	3	2.728	<0,002	<0,005	<0,005	<0,005	<0,01	0,2	0,20	3,86	<0,010	<0,005
	MAX	<0,10	27	2.796	<0,002	<0,005	<0,005	<0,005	<0,01	13,2	0,71	5,09	<0,010	<0,005
F	PROM	<0,10	<3	2.763	<0,002	<0,005	<0,005	<0,005	<0,01	<0,2	0,22	4,17	<0,010	<0,005
	DESV	0,00	0	13	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,0	0,05	0,30	0,000	0,000
	MIN	<0,10	<3	2.736	<0,002	<0,005	<0,005	<0,005	<0,01	<0,2	0,20	3,79	<0,010	<0,005
	MAX	<0,10	<3	2.782	<0,002	<0,005	<0,005	<0,005	<0,01	<0,2	0,39	4,64	<0,010	<0,005
Campaña Primavera														
S	PROM	<0,10	<3	2.615	<0,050	<0,005	<0,005	<0,005	<0,01	0,5	<0,20	5,28	0,011	<0,005
	DESV	0,00	0	754	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,9	0,00	0,24	0,003	0,000
	MIN	<0,10	<3	107	<0,050	<0,005	<0,005	<0,005	<0,01	0,2	<0,20	4,85	0,010	<0,005
	MAX	<0,10	<3	2.850	<0,050	<0,005	<0,005	<0,005	<0,01	3,5	<0,20	5,66	0,022	<0,005
F	PROM	<0,10	<3	2.822	<0,050	<0,005	<0,005	<0,005	<0,01	2,9	<0,20	5,37	0,010	<0,005
	DESV	0,00	0	12	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	9,8	0,00	0,27	0,001	0,000
	MIN	<0,10	<3	2.808	<0,050	<0,005	<0,005	<0,005	<0,01	0,2	<0,20	5,05	0,010	<0,005
	MAX	<0,10	<3	2.851	<0,050	<0,005	<0,005	<0,005	<0,01	35,6	<0,20	6,02	0,015	<0,005

Continuación Tabla 3.2.10-54

Estrato	Estadígrafo	Bismuto Disuelto (Bi)	Calcio Disuelto (Ca)	Cadmio Disuelto (Cd)	Cobalto Disuelto (Co)	Cromo Disuelto (Cr)	Cobre Disuelto (Cu)	Hierro Disuelto (Fe)	Mercurio Disuelto (Hg)	Potasio Disuelto (K)	Litio Disuelto (Li)	Magnesio Disuelto (Mg)	Manganeso Disuelto (Mn)	Molibdeno Disuelto (Mo)
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Campaña Verano														
S	PROM	<0,20	375,33	<0,0100	<0,010	<0,0100	<0,010	<0,030	<0,0005	454,98	0,208	1.231	<0,005	0,0303
	DESV	0,00	20,36	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,000	0,0000	29,93	0,014	8	0,000	0,0011
	MIN	<0,20	314,90	<0,0100	<0,010	<0,0100	<0,010	<0,030	<0,0005	367,80	0,166	1.215	<0,005	0,0300
	MAX	<0,20	396,90	<0,0100	<0,010	<0,0100	<0,010	<0,030	<0,0005	488,90	0,229	1.242	<0,005	0,0340
F	PROM	<0,20	374,35	<0,0100	<0,010	0,0106	<0,010	0,036	<,0005	455,49	0,211	1.231	<0,005	0,0301
	DESV	0,00	27,14	0,0000	0,000	0,0014	0,000	0,022	0,0000	40,62	0,020	12	0,000	0,0003
	MIN	<0,20	289,10	<0,0100	<0,010	0,0100	<,010	0,030	<0,0005	327,60	0,146	1.210	<0,005	0,0300
	MAX	<0,20	396,20	<0,0100	<0,010	0,0150	<,010	0,109	<,0005	483,70	0,225	1.250	<0,005	0,0310
Campaña Otoño														
S	PROM	0,23	400,60	0,0102	0,014	0,0108	0,012	0,350	<0,0005	393,87	0,198	1.303	0,007	0,0338
	DESV	0,05	10,76	0,0008	0,009	0,0019	0,005	0,042	0,0000	9,67	0,049	29	0,004	0,0139
	MIN	0,20	383,70	0,0100	0,010	0,0100	0,010	0,272	<0,0005	376,50	0,134	1.253	0,005	0,0300
	MAX	0,38	418,20	0,0130	0,038	0,0150	0,029	0,457	<0,0005	409,00	0,263	1.350	0,015	0,0800
F	PROM	0,20	399,32	0,0113	0,015	0,0112	<0,010	0,369	<0,0005	393,95	0,187	1.299	0,005	0,0314
	DESV	0,01	9,45	0,0042	0,012	0,0028	0,000	0,037	0,0000	6,92	0,051	19	0,001	0,0028
	MIN	0,20	387,70	0,0100	0,010	0,0100	<0,010	0,287	<0,0005	384,30	0,116	1.272	0,005	0,0300
	MAX	0,22	414,60	0,0250	0,045	0,0180	<0,010	0,418	<0,0005	405,20	0,311	1.332	0,008	0,0380

Estrato	Estadígrafo	Bismuto Disuelto (Bi)	Calcio Disuelto (Ca)	Cadmio Disuelto (Cd)	Cobalto Disuelto (Co)	Cromo Disuelto (Cr)	Cobre Disuelto (Cu)	Hierro Disuelto (Fe)	Mercurio Disuelto (Hg)	Potasio Disuelto (K)	Litio Disuelto (Li)	Magnesio Disuelto (Mg)	Manganeso Disuelto (Mn)	Molibdeno Disuelto (Mo)
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Campaña Invierno														
S	PROM	0,24	373,11	0,0182	0,039	0,0101	0,048	0,746	<0,0005	358,26	0,056	1.182	0,066	0,1283
	DESV	0,08	30,43	0,0263	0,042	0,0003	0,110	2,582	0,0000	46,19	0,082	90	0,219	0,1577
	MIN	0,20	341,40	0,0100	0,010	0,0100	0,010	0,030	<0,0005	310,80	0,010	1.079	0,005	0,0300
	MAX	0,41	445,20	0,1050	0,131	0,0110	0,410	9,339	<0,0005	474,90	0,302	1.390	0,795	0,4840
F	PROM	0,29	363,38	0,0145	0,049	<0,0100	0,022	<0,030	<0,0005	338,93	0,053	1.150	<0,005	0,0665
	DESV	0,14	31,08	0,0100	0,060	0,0000	0,020	0,000	0,0000	27,36	0,064	90	0,000	0,0875
	MIN	0,20	316,80	0,0100	0,010	<0,0100	0,010	<0,030	<0,0005	293,30	0,010	1.007	<0,005	0,0300
	MAX	0,59	414,30	0,0450	0,193	<0,0100	0,062	<0,030	<0,0005	384,30	0,238	1.297	<0,005	0,2720
Campaña Primavera														
S	PROM	<0,20	421,78	<0,0100	<0,010	0,0160	0,021	0,063	<0,0005	377,86	0,221	1.215	0,011	<0,0300
	DESV	0,00	18,03	0,0000	0,000	0,0216	0,041	0,094	0,0000	14,71	0,010	65	0,022	0,0000
	MIN	<0,20	397,50	<0,0100	<0,010	0,0100	0,010	0,030	<0,0005	360,90	0,199	1.137	0,005	<0,0300
	MAX	<0,20	461,80	<0,0100	<0,010	0,0880	0,157	0,364	<0,0005	410,70	0,236	1.343	0,085	<0,0300
F	PROM	<0,20	418,37	<0,0100	<0,010	<0,0100	<0,010	0,064	<0,0005	376,06	0,224	1.204	<0,005	<,0300
	DESV	0,00	22,84	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,121	0,0000	19,80	0,010	84	0,000	0,0000
	MIN	<0,20	392,70	<0,0100	<0,010	<0,0100	<0,010	0,030	<0,0005	352,80	0,211	1.104	<0,005	<0,0300
	MAX	<0,20	461,70	<0,0100	<0,010	<0,0100	<0,010	0,465	<0,0005	415,00	0,250	1.354	<0,005	<0,0300

Continuación Tabla 3.2.10-54

Profundidad	Estadígrafo	Sodio Disuelto (Na)	Níquel Disuelto (Ni)	Fosforo Disuelto (P)	Plomo Disuelto (Pb)	Antimonio Disuelto (Sb)	Selenio Disuelto (Se)	Silicio Disuelto (Si)	Estaño Disuelto (Sn)	Estroncio Disuelto (Sr)	Titanio Disuelto (Ti)	Talio Disuelto (Tl)	Vanadio Disuelto (V)	Zinc Disuelto (Zn)
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/L	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Campaña Verano														
S	PROM	10.162	<0,050	<0,300	0,053	<0,200	<0,200	0,699	0,056	6,988	<0,010	0,344	<0,030	0,011
	DESV	76	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000	0,107	0,026	0,392	0,000	0,175	0,000	0,010
	MIN	10.040	<0,050	<0,300	0,050	<0,200	<0,200	0,516	0,030	5,864	<0,010	0,200	<0,030	0,005
	MAX	10.332	<0,050	<0,300	0,067	<0,200	<0,200	0,875	0,099	7,438	<0,010	0,648	<0,030	0,034
F	PROM	10.159	<0,050	<0,300	0,063	<0,200	<0,200	0,740	0,058	6,996	<0,010	0,420	<0,030	0,024
	DESV	70	0,000	0,000	0,024	0,000	0,000	0,123	0,034	0,528	0,000	0,195	0,000	0,023
	MIN	10.059	<0,050	<0,300	0,050	<0,200	<0,200	0,493	0,030	5,345	<0,010	0,200	<0,030	0,005
	MAX	10.312	<0,050	<0,300	0,130	<0,200	<0,200	0,949	0,114	7,407	<0,010	0,806	<0,030	0,078
Campaña Otoño														
S	PROM	12.177	0,054	<0,300	0,157	0,288	<0,200	0,357	<0,030	7,631	<0,010	6,745	0,031	<0,005
	DESV	414	0,013	0,000	0,088	0,137	0,000	0,227	0,000	0,189	0,000	10,884	0,004	0,000
	MIN	11.549	0,050	<0,300	0,050	0,200	<0,200	0,050	<0,030	7,328	<0,010	0,200	0,030	<0,005
	MAX	12.700	0,096	<0,300	0,329	0,554	<0,200	0,748	<0,030	7,923	<0,010	36,200	0,045	<0,005
F	PROM	12.123	0,056	<0,300	0,206	0,222	<0,200	0,379	<0,030	7,611	<0,010	5,157	0,030	<0,005
	DESV	519	0,015	0,000	0,155	0,054	0,000	0,216	0,000	0,133	0,000	9,873	0,002	0,000
	MIN	11.286	0,050	<0,300	0,050	0,200	<0,200	0,050	<0,030	7,401	<0,010	0,200	0,030	<0,005
	MAX	12.745	0,102	<0,300	0,451	0,363	<0,200	0,690	<0,030	7,825	<0,010	31,250	0,036	<0,005

Profundidad	Estadígrafo	Sodio Disuelto (Na)	Níquel Disuelto (Ni)	Fosforo Disuelto (P)	Plomo Disuelto (Pb)	Antimonio Disuelto (Sb)	Selenio Disuelto (Se)	Silicio Disuelto (Si)	Estaño Disuelto (Sn)	Estroncio Disuelto (Sr)	Titanio Disuelto (Ti)	Talio Disuelto (Tl)	Vanadio Disuelto (V)	Zinc Disuelto (Zn)
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/L	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Campaña Invierno														
S	PROM	9.775	0,081	0,377	0,276	0,656	0,830	0,248	0,046	7,277	0,013	24,440	0,075	0,060
	DESV	550	0,111	0,142	0,395	0,426	0,938	0,714	0,059	0,542	0,012	8,884	0,047	0,199
	MIN	8.937	0,050	0,300	0,050	0,200	0,200	0,050	0,030	6,656	0,010	2,221	0,030	0,005
	MAX	11.203	0,452	0,758	1,292	1,468	3,072	2,624	0,242	8,539	0,054	33,930	0,183	0,722
F	PROM	9.430	<0,050	0,375	0,237	0,744	1,300	<0,050	<0,030	7,061	<0,010	28,390	0,080	<0,005
	DESV	481	0,000	0,159	0,254	0,688	1,126	0,000	0,000	0,538	0,000	13,936	0,065	0,000
	MIN	8.561	<0,050	0,300	0,050	0,200	0,200	<0,050	<0,030	6,217	<0,010	10,520	0,030	<0,005
	MAX	10.532	<0,050	0,824	0,712	2,328	2,980	<0,050	<0,030	7,943	<0,010	62,310	0,201	<,005
Campaña Primavera														
S	PROM	10.017	<0,050	<0,300	<0,050	<0,200	<0,200	0,262	<0,030	7,404	0,020	<0,200	<0,030	<0,005
	DESV	554	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,764	0,000	0,320	0,033	0,000	0,000	0,000
	MIN	9.303	<0,050	<0,300	<0,050	<0,200	<0,200	0,050	<0,030	7,020	0,010	<0,200	<0,030	<0,005
	MAX	11.057	<0,050	<0,300	<0,050	<0,200	<0,200	2,806	<0,030	8,076	0,131	<0,200	<0,030	<0,005
F	PROM	9.944	<0,050	0,320	<0,050	<0,200	<0,200	<0,050	<0,030	7,328	<0,010	<0,200	<0,030	<0,005
	DESV	705	0,000	0,052	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,452	0,000	0,000	0,000	0,000
	MIN	9.115	<0,050	0,300	<0,050	<0,200	<0,200	<0,050	<0,030	6,810	<0,010	<0,200	<0,030	<0,005
	MAX	11.242	<0,050	0,468	<0,050	<0,200	<0,200	<0,050	<0,030	8,186	<0,010	<0,200	<0,030	<0,005

Fuente: Elaboración propia en base a la información entregada por el laboratorio ALS Patagonia S.A.

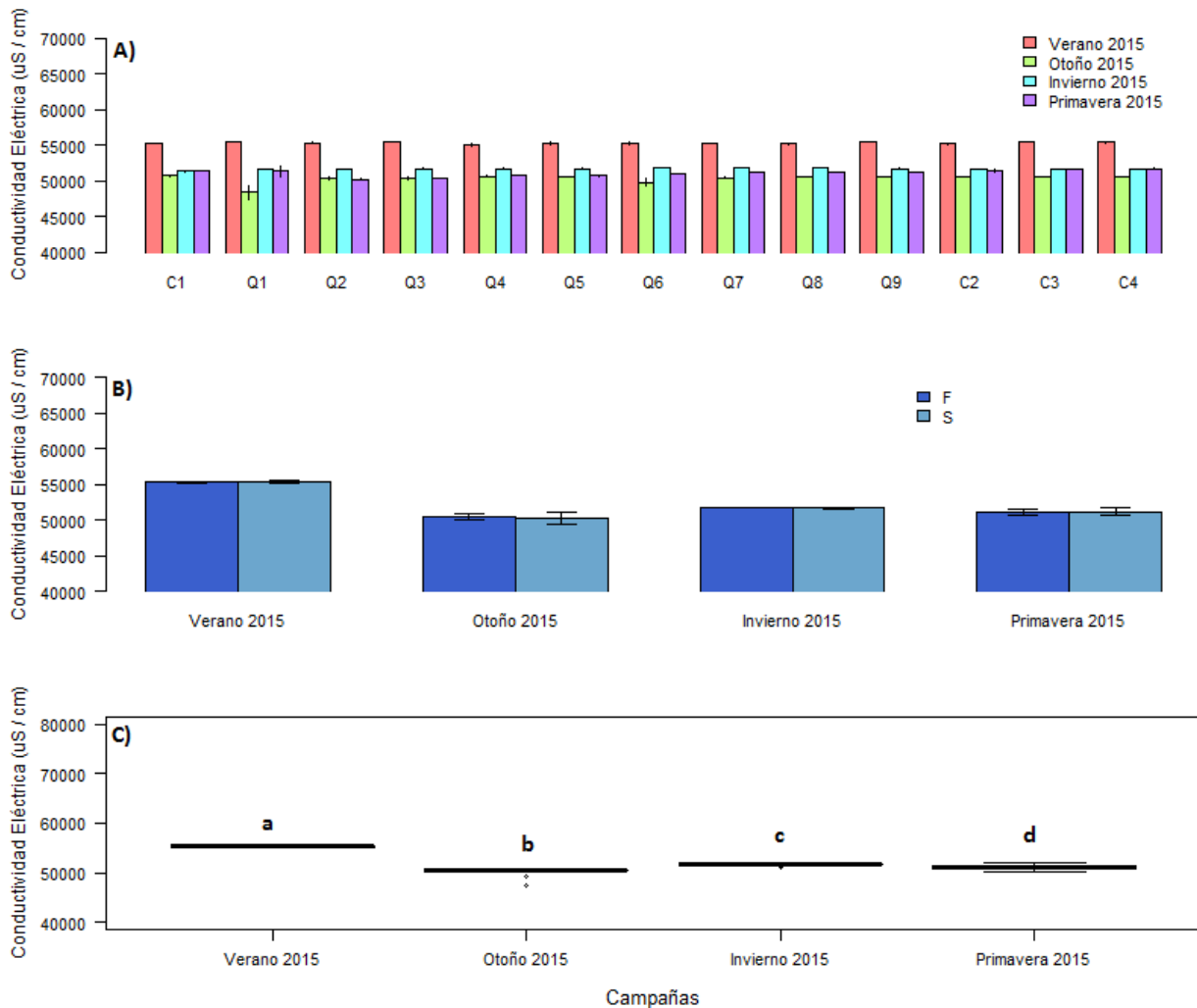
Respecto a los analitos evaluados que presentaron valores cuantificables en, al menos una de las estaciones, profundidades y campañas estacionales, es decir, niveles por sobre el límite de detección de la respectiva metodología aplicada, el detalle del comportamiento estacional de las concentraciones y su estadística básica es el siguiente. Para la descripción que se entrega a continuación se han seleccionado parámetros físico-químicos y metales (fracción disuelta) relevantes respecto de la naturaleza del proyecto (planta desalinizadora y puerto); en este sentido los metales seleccionados para la matriz acuosa, son también empleados caracterización de la matriz sedimentaria inter y submareal; los metales han sido seleccionados en conformidad al criterio de riesgo por toxicidad, esto es: arsénico (As) > mercurio (Hg) > cadmio (Cd) > cromo (Cr) > estaño (Sn) > plomo (Pb) > zinc (Zn) (Ahumada, 1998), a los cuales se han incorporado también el níquel (Ni), hierro (Fe) y molibdeno (Mo).

– Conductividad Eléctrica (CE)

Según se aprecia en la Figura 3.2.10-102, la conductividad eléctrica registró en la campaña de verano 2015 valores superiores al resto de campañas estacionales en todas las estaciones o puntos de muestreo, con máximos de 55.550 uS/cm en Q1 y C4 (Figura 3.2.10-102 A y Anexo 3.2.10-3). Al analizar los valores promedios de CE en agua de mar por campaña estacional (Tabla 3.2.10-54 y Figura 3.2.10-102 C), es posible establecer diferencias estadísticamente significativas (Kruskal Wallis; $X^2 = 86,964$; $p = 2,2E-16$); presentando la mayor CE en verano de 2015 (Prueba de comparaciones múltiples, Dunn, $P < 0,01$; Figura 3.2.10-102 C).

Al evaluar las variaciones de la CE a nivel de estratos, en superficie la CE presentó un promedio de 55.339 ± 183 uS/cm en verano, de 50.215 ± 911 uS/cm en otoño, de 51.669 ± 160 uS/cm durante invierno y de 51.200 ± 537 uS/cm en la campaña de primavera. En el estrato de fondo se obtuvieron promedios de 55.315 ± 118 uS/cm; 50.462 ± 336 uS/cm; 51.723 ± 93 uS/cm y 51.062 ± 472 uS/cm, en verano, otoño, invierno y primavera, respectivamente. El valor promedio de este analito entre estratos de la columna de agua evaluados, no mostró diferencias significativas entre campañas estacionales (ANOVA de dos vías ($p=0,565$)). En términos absolutos, durante todo el periodo de estudio se registró un rango de variación total entre 47.500 – 55.550 uS/cm en superficie y entre 49.400 – 55.490 en fondo (Tabla 3.2.10-54 y Figura 3.2.10-102 B).

Figura 3.2.10-102. (A) Conductividad eléctrica en agua de mar por estación de muestreo y campaña estacional. (B) Conductividad eléctrica promedio por estrato de profundidad (superficie/fondo). (C) Box plot de conductividad eléctrica promedio (\pm DS) por campaña estacional (Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.



Fuente: Elaboración propia.

– Sólidos Disueltos Totales (SDT)

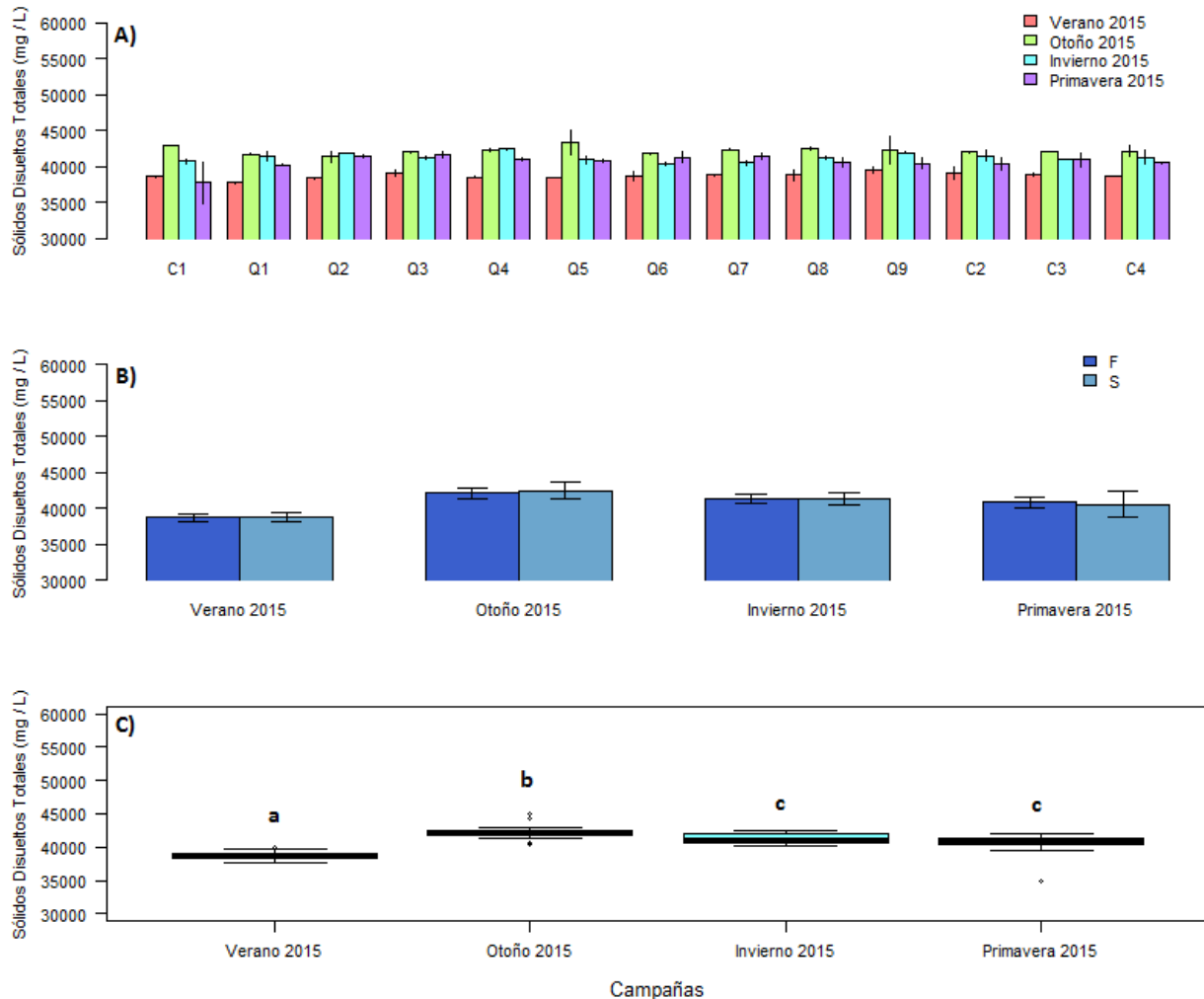
La Figura 3.2.10-103 A muestra la variabilidad de los SDT en agua de mar por estaciones de muestreo a lo largo de las cuatro campañas estacionales, apreciándose que la mayoría de las estaciones registraron niveles superiores en la campaña de otoño, pero sin evidenciar un patrón de variabilidad espacial claro ni definido en términos del gradiente norte-sur en el cual fueron dispuestos los puntos de muestreo (Figura 3.2.10-103 A y Anexo 3.2.10-3). A nivel superficial, la concentración de Sólidos Disueltos Totales registró un promedio de verano de 38.722 ± 663 mg/l; en otoño de 42.421 ± 1.161 mg/l; en invierno de 41.284 ± 776 mg/l y en primavera de $40.504 \pm$

1.798 mg/l. Por su parte en el estrato de fondo se obtuvo un promedio de 38.723 ± 553 mg/l en la campaña verano, de 42.057 ± 655 mg/l durante otoño; 41.280 ± 687 mg/l en invierno y 40.804 ± 748 mg/l durante la campaña primavera. El valor promedio de este analito entre estratos de la columna de agua evaluados, no mostró diferencias significativas entre campañas estacionales (ANOVA de dos vías ($p=0,989$)). En ambos estratos el rango absoluto de variación fluctuó entre $34.900 - 45.094$ mg/l y entre $37.910 - 42.994$ mg/l en superficie y fondo, respectivamente (Tabla 3.2.10-54 y Figura 3.2.10-103 B).

Los valores promedio de SDT en agua de mar registraron diferencias estadísticamente significativas entre las campañas estacionales (Kruskal Wallis; $X^2 = 71,094$; $p = 2,489e-15$), registrando la mayor concentración promedio en otoño 2015 (Prueba de comparaciones múltiples, Dunn, $p < 0,01$; Figura 3.2.10-103 C).

En términos comparativos y con el objeto de contextualizar los resultados obtenidos, la concentración de SDT registrada en las cuatro campañas estacionales del presente estudio (Tabla 3.2.10-54 y Anexo 3.2.10-2), presentó un rango de variación absoluto que se superpone y supera en algunos casos, al informado en la Línea de Base del Puerto de Iquique (2011), el cual fluctuó en términos absolutos entre $36.900 - 37.630$ mg/l.

Figura 3.2.10-103. Concentración de sólidos disueltos totales (SDT) en agua de mar: (A) por estación de muestreo y campaña estacional. (B) concentración promedio por estrato de profundidad (superficie/fondo). (C) Box plot de concentración promedio (\pm DS) por campaña estacional (Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.



Fuente: Elaboración propia.

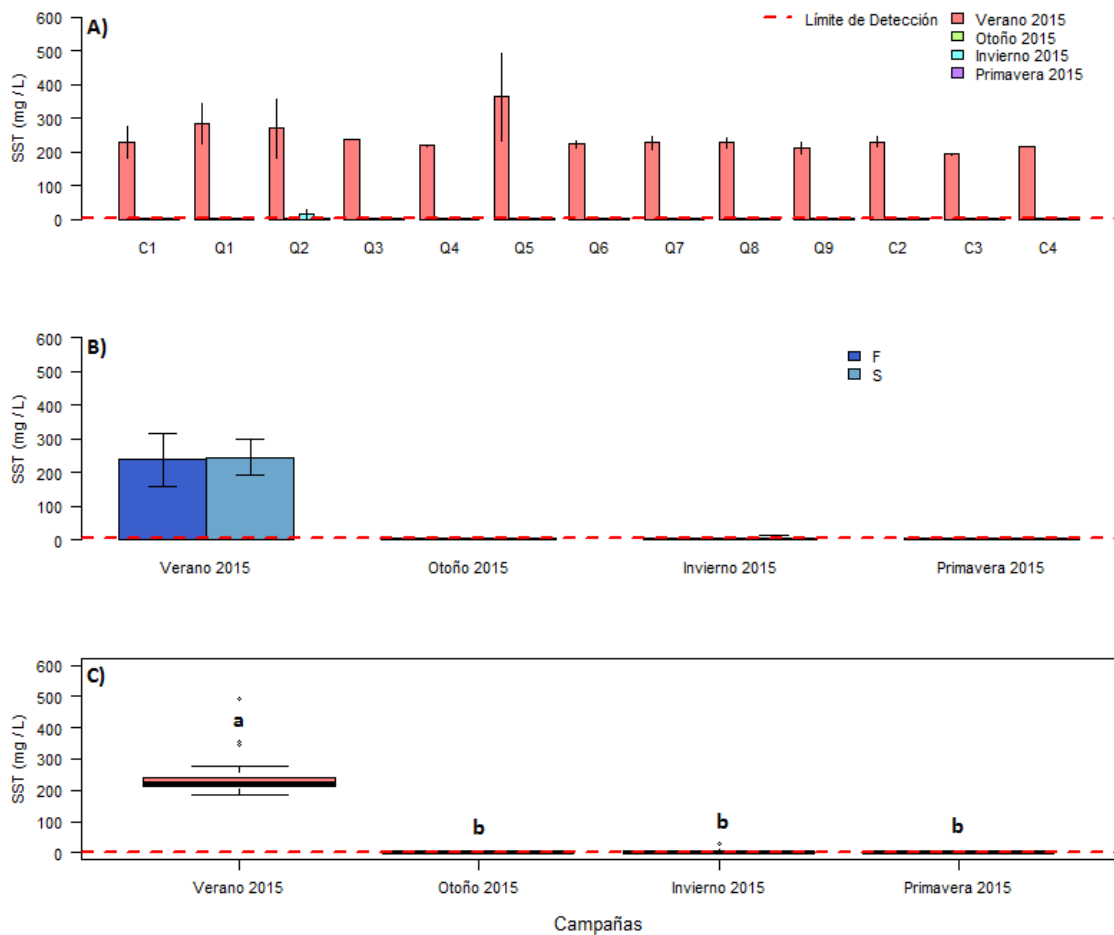
– Sólidos Suspendidos Totales (SST)

La Figura 3.2.10-104.A muestra la variabilidad de los SST en agua de mar por estaciones de muestreo a lo largo de las cuatro campañas estacionales, en ella se aprecia que en otoño y verano las concentraciones fueron inferiores al límite de detección de la metodología empleada en la totalidad de estaciones y profundidades evaluadas ($< 3 \text{ mgSST/l}$), registrándose valores cuantificables solo en la campaña estival 2015 pero sin evidenciar un patrón de variabilidad espacial claro ni definido en términos del gradiente norte-sur en el cual fueron dispuestos los puntos de muestreo (Figura 3.2.10-104 A y Anexo 3.2.10-3). A nivel superficial la concentración de este analito en agua de mar registró un promedio de $245 \pm 52 \text{ mgSST/l}$ en la campaña verano y $5 \pm 7 \text{ mgSST/l}$ en invierno. Por su parte, el estrato de fondo registró concentraciones

cuantificables sólo en la campaña verano con un promedio de 238 ± 80 mg/l (Tabla 3.2.10-54 y Figura 3.2.10-104 B). El valor promedio de este analito entre estratos de la columna de agua evaluados, no mostró diferencias significativas entre campañas estacionales (ANOVA de dos vías ($p=0,293$)).

De acuerdo a la concentración promedio de SST en agua de mar, se registraron diferencias estadísticamente significativas entre las campañas estacionales (Kruskal Wallis; $X^2 = 95,308$; $p = 2,2e-16$), donde el verano 2015 presentó una concentración promedio significativamente superior que las campañas restantes (Prueba de comparaciones múltiples, Dunn, $p < 0,01$; Figura 3.2.10-104 C).

Figura 3.2.10-104. Concentración de sólidos suspendidos totales (SST) en agua de mar: (A) por estación de muestreo y campaña estacional. (B) concentración promedio de SST por estrato de profundidad (superficie/fondo). (C) Box plot de concentración promedio (\pm DS) por campaña estacional (Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.



Fuente: Elaboración propia.

– Sulfatos (SO_4^{-2})

La concentración promedio de Sulfato en agua de mar, presentó variaciones entre estaciones de muestreo siendo evidentemente superiores aquellas registradas en la campaña estacional de verano 2015, obteniéndose un registro puntual máximo de 3.577 mg/l en la estación Q9 a nivel superficial (Figura 3.2.10-105 A y Anexo 3.2.10-3). No se aprecia un patrón claro ni evidente de variabilidad espacial de este analito a lo largo del borde costero evaluado. Por otra parte, la concentración de sulfatos a través de la columna de agua, registró a nivel superficial un promedio de 3.290 ± 153 mg/l en verano, de 2.812 ± 39 mg/l durante la campaña otoño; de 2.762 ± 22 mg/l en invierno y de 2.615 ± 754 mg/l en la campaña primavera, presentando entre las cuatro campañas un rango absoluto de variación entre 107 – 3.577 mg/l. En el estrato fondo, se reportaron promedios de 3.367 ± 95 mg/l; 2.840 ± 51 mg/l; 2.763 ± 13 mg/l y 2.822 ± 12 mg/l, para las campañas de verano, otoño, invierno y primavera, respectivamente, con un rango absoluto de variación entre 2.736 – 3.486 mg/l (Tabla 3.2.10-54 y Figura 3.2.10-105 B). El valor promedio de este analito entre estratos de la columna de agua evaluados, no mostró diferencias significativas entre campañas estacionales (ANOVA de dos vías ($p=0,367$)).

Los valores promedio de este analito en agua de mar, registraron diferencias estadísticamente significativas entre las campaña estacionales (Kruskal Wallis; $\chi^2 = 81,239$; $p = 2,2e-16$), presentando la mayor concentración promedio en la campaña verano 2015 (Prueba de comparaciones múltiples, Dunn, $p < 0,01$; Figura 3.2.10-105 C).

– Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK)

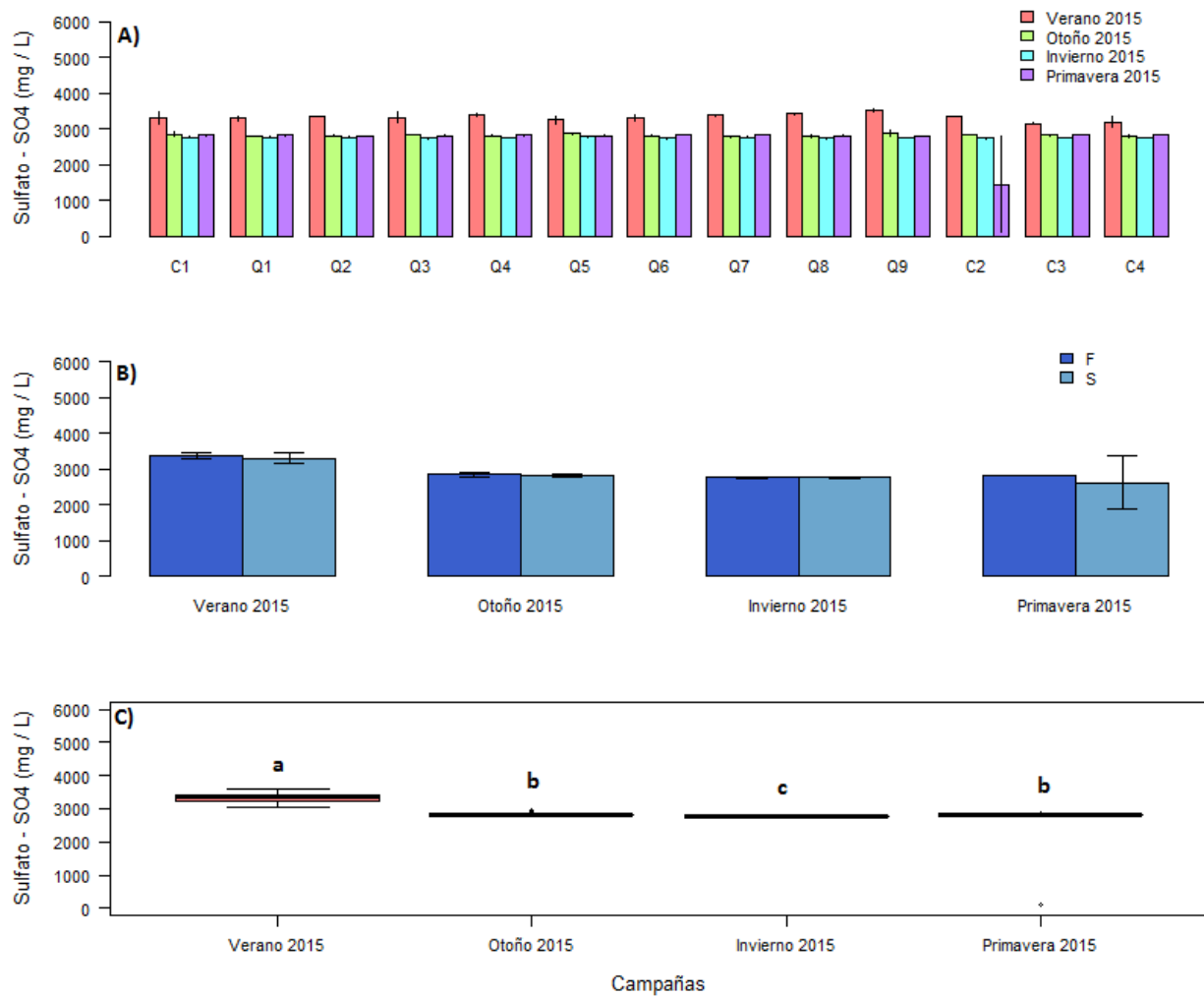
Al analizar la variabilidad espacial de los niveles de NTK en agua de mar, destacan las mayores concentraciones en torno a las estaciones Q6, Q7, Q8 y Q9, especialmente en la época estival, sin embargo, el máximo registro puntual se obtuvo en la estación Q7 (a nivel superficial) durante el invierno 2015 (20 mg/l; Figura 3.2.10-106 A y Anexo 3.2.10-3). Cabe señalar que en la campaña de otoño, sólo se reportó un valor cuantificable correspondiente a la estación Q2 (fondo), mientras que las estaciones restantes presentaron niveles bajo el LD de la metodología empleada. Por su parte, la campaña de primavera registró en todas las estaciones y profundidades evaluadas concentraciones inferiores al límite de detección de la metodología empleada por el laboratorio analítico ($< 0,50$ mg/l; Figura 3.2.10-106 A y Anexo 3.2.10-3).

En el estrato superficial de la columna de agua, la concentración de NTK registró un promedio de $1,79 \pm 1,13$ mg/l para la campaña de verano; $0,51 \pm 0,03$ mg/l para la campaña de otoño, y para invierno el promedio fue de $2,45 \pm 5,28$ mg/l, registrando un rango absoluto de variación entre $<0,5$ (Lím. de detección) y 20 mg/l en invierno (Q7). Los niveles de NTK para el estrato de fondo registraron un promedio de $1,75 \pm 1,59$ mg/l para la campaña de verano; $0,52 \pm 0,06$ mg/l para la campaña de otoño, y para invierno el promedio fue de $1,04 \pm 0,44$ mg/l, registrando un rango absoluto de variación entre $<0,5$ (Lím. de detección) y 6,20 mg/l en verano de 2015 (Tabla 3.2.10-54 y Figura 3.2.10-106 B). El valor promedio de este analito entre estratos de la columna

de agua evaluados, no mostró diferencias significativas entre campañas estacionales (ANOVA de dos vías ($p=0,495$)).

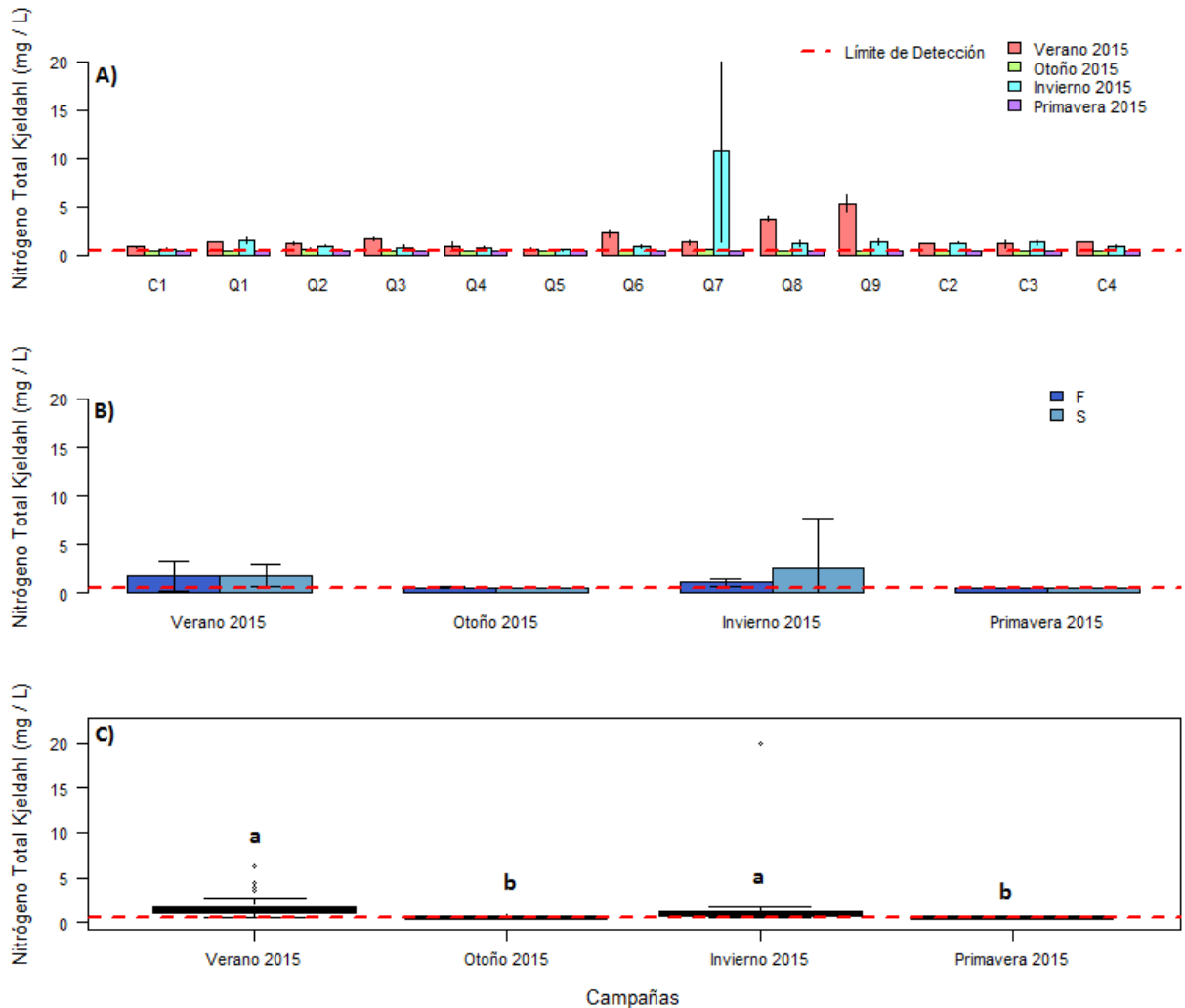
El análisis estacional muestra diferencias significativas para la concentración promedio entre las distintas campañas de línea base analizadas (Kruskal Wallis; $X^2 = 72,533$; $p = 1,224e-15$), con el mayor registro promedio en las campañas de verano e invierno (Prueba de comparaciones múltiples, Dunn, $p < 0,01$; Figura 3.2.10-106 C).

Figura 3.2.10-105. Concentración de sulfatos (SO_4^{2-}) en agua de mar: (A) por estación de muestreo y campaña estacional. (B) concentración promedio por estrato de profundidad (superficie/fondo). (C) Box plot de concentración promedio ($\pm DS$) por campaña estacional (Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.2.10-106. Concentración de Nitrógeno total Kjeldahl (NTK) en agua de mar: (A) por estación de muestreo y campaña estacional. (B) concentración promedio de NTK por estrato de profundidad (superficie/fondo). (C) Box plot de concentración promedio (\pm DS) por campaña estacional (Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.



Fuente: Elaboración propia.

– Fluoruro (F-)

Las estaciones que presentaron el mayor registro de F en cada campaña estacional corresponden a C1F (0,6 mg/l; verano), C3F (1,39 mg/l; otoño), Q2F (1,51 mg/l; invierno) y Q9S (1,55 mg/l; primavera; más detalle ver Figura 3.2.10-107 A y Anexo 3.2.10-3). A nivel superficial, la concentración de este analito promedió $0,31 \pm 0,12$ mg/l en la campaña de verano; $1,17 \pm 0,15$ mg/l en otoño; $1,53 \pm 0,15$ mg/l durante invierno y $1,44 \pm 0,14$ mg/l en primavera. En cuanto al fondo, se registró una concentración promedio de $0,33 \pm 0,15$ mg/l; $1,21 \pm 0,16$ mg/l; $1,53 \pm 0,06$ mg/l y $1,44 \pm 0,06$ mg/l, en Verano, Otoño, Invierno y Primavera, respectivamente. El valor

promedio de este analito entre estratos de la columna de agua evaluados, no mostró diferencias significativas entre campañas estacionales (ANOVA de dos vías ($p=0,552$)). En términos absolutos, considerando las cuatro campañas estacionales se registró un rango de variación superficial entre 0,17 – 1,62 mg/l y entre 0,18 – 1,62 mg/l en estrato de fondo (Tabla 3.2.10-54 y Figura 3.2.10-107 B).

En términos estadísticos, la concentración promedio de Fluoruro en agua de mar registró diferencias significativas entre las campañas estacionales (Kruskal Wallis; $X^2 = 87,126$; $p=2,2E-16$), siendo significativamente inferior durante la campaña de Verano (Prueba de comparaciones múltiples, Dunn, $p < 0,01$; Figura 3.2.10-107 C), y mayor durante invierno y primavera 2015.

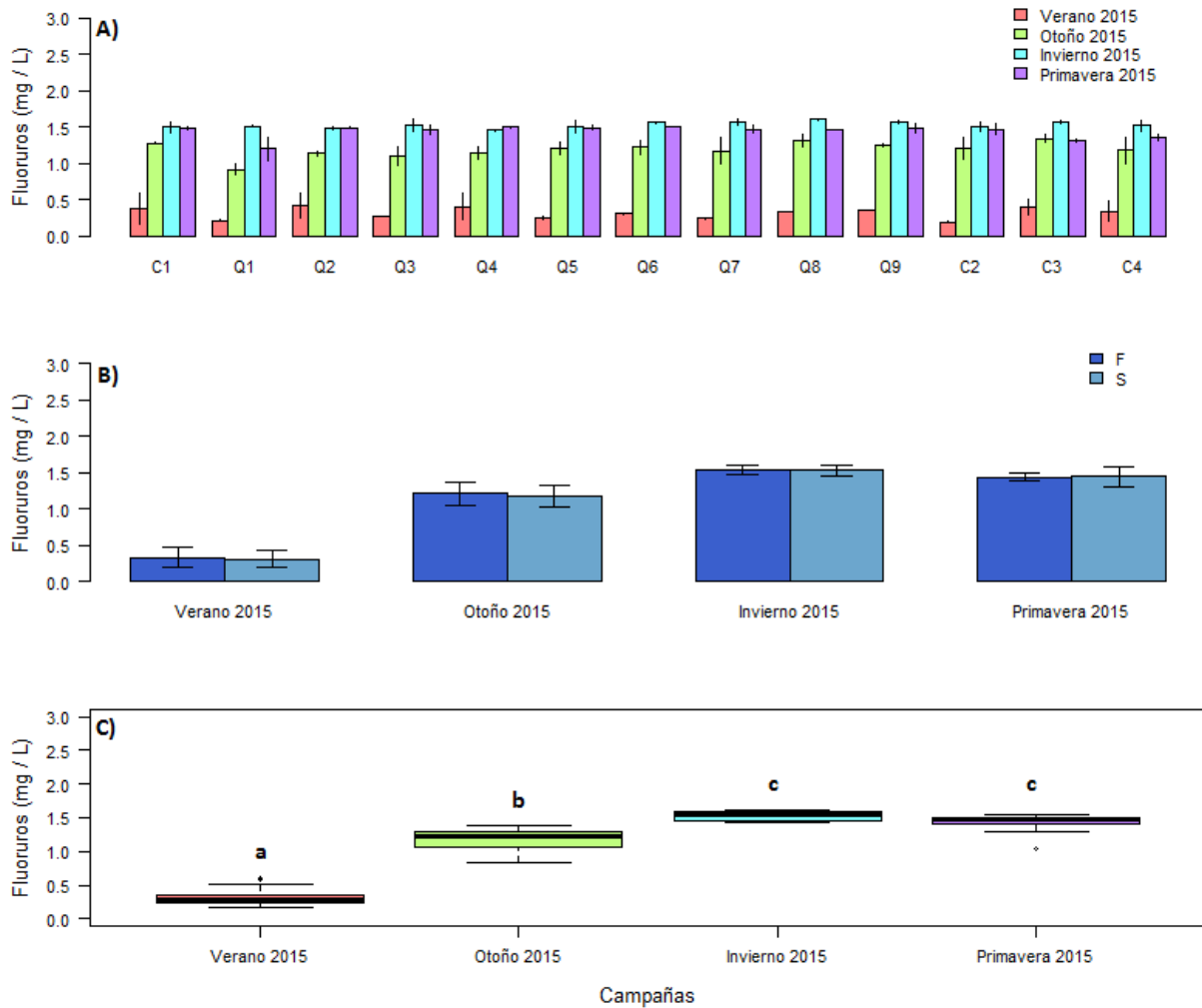
– Fósforo (P)

La mayoría de las estaciones de muestreo registraron concentraciones de fósforo en agua de mar inferiores al límite de detección de la metodología empleada por ALS Patagonia ($<0,3$ mgP/l), presentándose valores cuantificables preferentemente en invierno y primavera de 2015 (Figura 3.2.10-108 A y Anexo 3.2.10-3).

El análisis entre estratos revela que la concentración superficial de fósforo en la columna de agua, registró valores inferiores al límite de detección ($< 0,3$ mg/l) en las campañas verano, otoño y primavera, mientras que en invierno se obtuvo una concentración promedio de $0,377 \pm 0,142$ mg/l, con un rango absoluto de variación entre 0,3 – 0,758 mg/l. En cuanto al estrato de fondo, se registraron valores inferiores al límite de detección en las campañas verano y otoño, mientras que en invierno y primavera se obtuvo una concentración promedio de $0,375 \pm 0,159$ mg/l y $0,320 \pm 0,052$ mg/l, respectivamente, con un rango absoluto de variación entre 0,3 – 0,824 mg/l en invierno (siendo este último el máximo registro puntual de este analito para el área costera evaluada), y entre 0,3 – 0,468 mg/l en primavera (Tabla 3.2.10-54 y Figura 3.2.10-108 B). El valor promedio de este analito entre estratos de la columna de agua evaluados, no mostró diferencias significativas entre campañas estacionales (ANOVA de dos vías ($p=0,308$)).

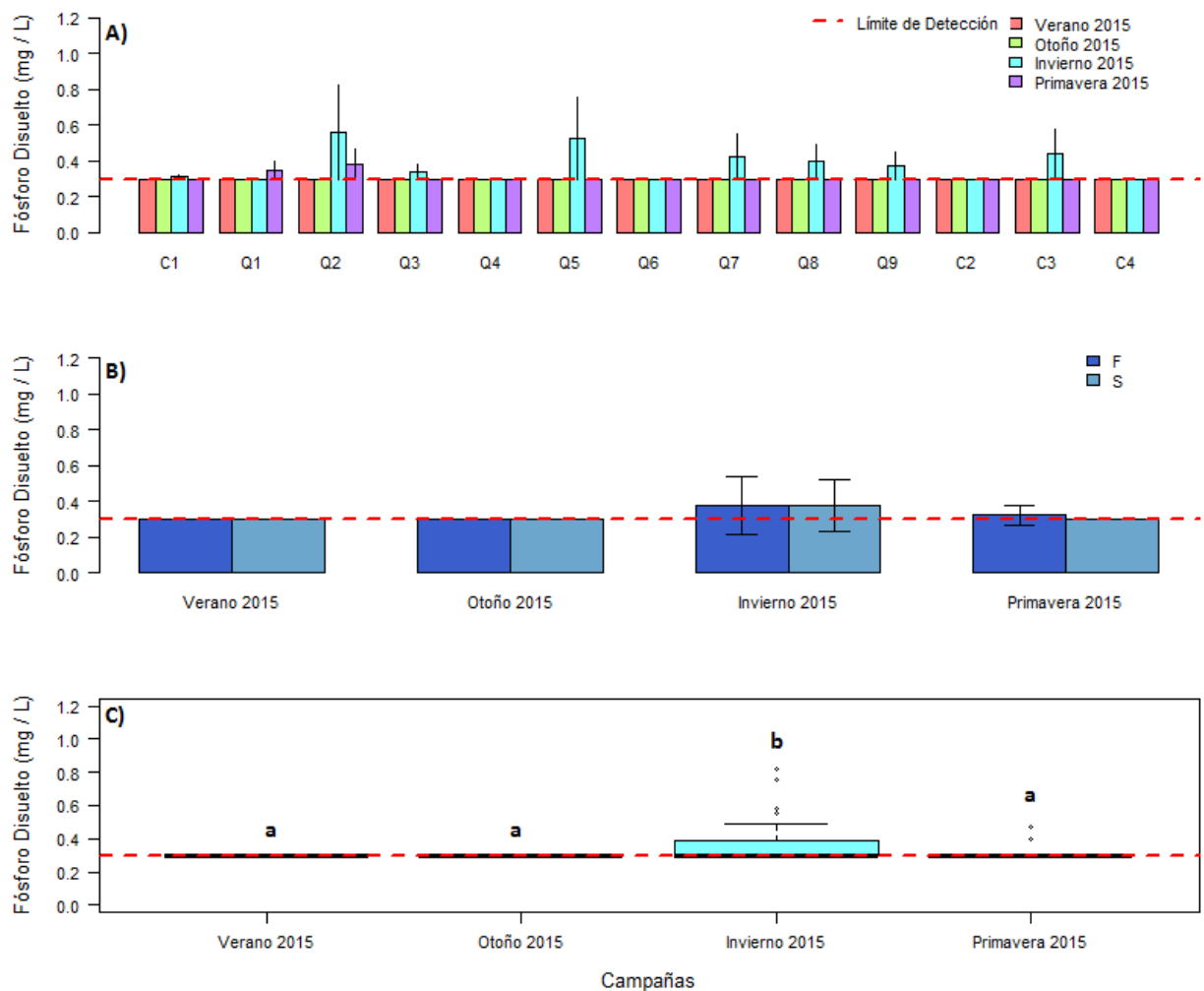
Conforme a lo descrito, la concentración promedio de Fósforo en agua de mar registró diferencias estadísticamente significativas entre las campañas (Kruskal Wallis; $X^2 = 19,089$; $p = 0,0002621$) de las cuales invierno presentó la mayor concentración promedio (Prueba de comparaciones múltiples, Dunn, $p < 0,03$; Figura 3.2.10-108 C).

Figura 3.2.10-107. Concentración de fluoruros en agua de mar: (A) por estación de muestreo y campaña estacional. (B) concentración promedio por estrato de profundidad (superficie/fondo). (C) Box plot de concentración promedio (\pm DS) por campaña estacional (Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.2.10-108. Concentración de Fósforo en agua de mar: (A) por estación de muestreo y campaña estacional. (B) concentración promedio por estrato de profundidad (superficie/fondo). (C) Box plot de concentración promedio (\pm DS) por campaña estacional (Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.



Fuente: Elaboración propia.

c.3) Metales disueltos

– Arsénico disuelto (As)

El análisis espacial de los niveles de As en agua de mar durante el periodo de estudio revela concentraciones bajo el límite de detección de la metodología empleada por ALS Patagonia en la mayoría de las estaciones y campañas de muestreo ($< 0,20$ mg As/l; Figura 3.2.10-109 A y Anexo 3.2.10-3). Sólo se registraron niveles cuantificables en las campañas de otoño e invierno 2015

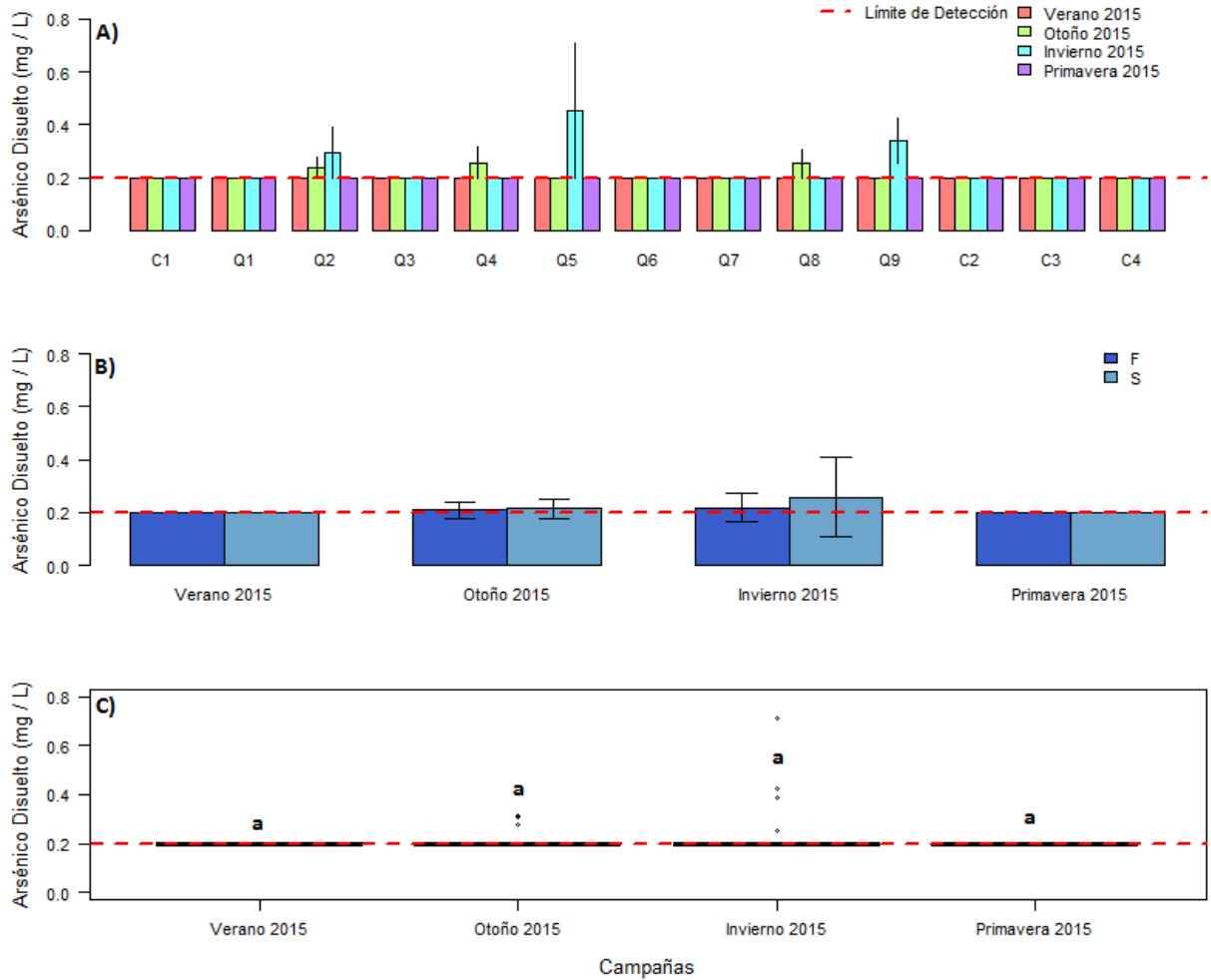
con máximos puntuales de 0,314 mg As/l (Q4 a nivel superficial) y 0,711 mg As/l en el nivel superficial de Q5), respectivamente.

Entre estratos es posible determinar que la concentración de este analito registrada en todas las estaciones de muestreo durante las campañas verano y primavera fue inferior al límite de detección ($<0,20$ mg As/l), para el estrato superficial y fondo. Por su parte, durante la campaña otoño e invierno se registró una concentración superficial promedio de $0,21 \pm 0,04$ mg As/l y $0,26 \pm 0,15$ mg As/l, respectivamente, con un rango absoluto de variación entre 0,20 y 0,31 mg/l para otoño y 0,20 – 0,71 mg As/l para invierno. En el estrato de fondo este analito registró un promedio de $0,21 \pm 0,03$ mg As/l para la campaña de otoño, con una fluctuación absoluta entre 0,20 – 0,31 mg As/l, mientras que para invierno, el promedio fue de $0,22 \pm 0,05$ mg As/l y rango absoluto de variación entre 0,20 y 0,39 mg As/l (Tabla 3.2.10-54 y Figura 3.2.10-109 B). El valor promedio de este analito entre estratos de la columna de agua evaluados, no mostró diferencias significativas entre campañas estacionales (ANOVA de dos vías ($p=0,938$)).

La concentración promedio del As en agua de mar durante el periodo de estudio no presentó diferencia significativas entre ellas (Kruskal Wallis; $X^2 = 7,7981$; $p = 0,05037$; Figura 3.2.10-109 C).

En términos comparativos, el rango absoluto de variación de los resultados informados en la presente línea de base, fueron superiores que lo reportado por la Línea de Base del proyecto Puerto Patillos en el 2004. (más detalle ver Anexo 3.2.10-2).

Figura 3.2.10-109. Concentración de Arsénico disuelto en agua de mar: (A) por estación de muestreo y campaña estacional. (B) concentración promedio de As por estrato de profundidad (superficie/fondo). (C) Box plot de concentración promedio (\pm DS) por campaña estacional (Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.



Fuente: Elaboración propia.

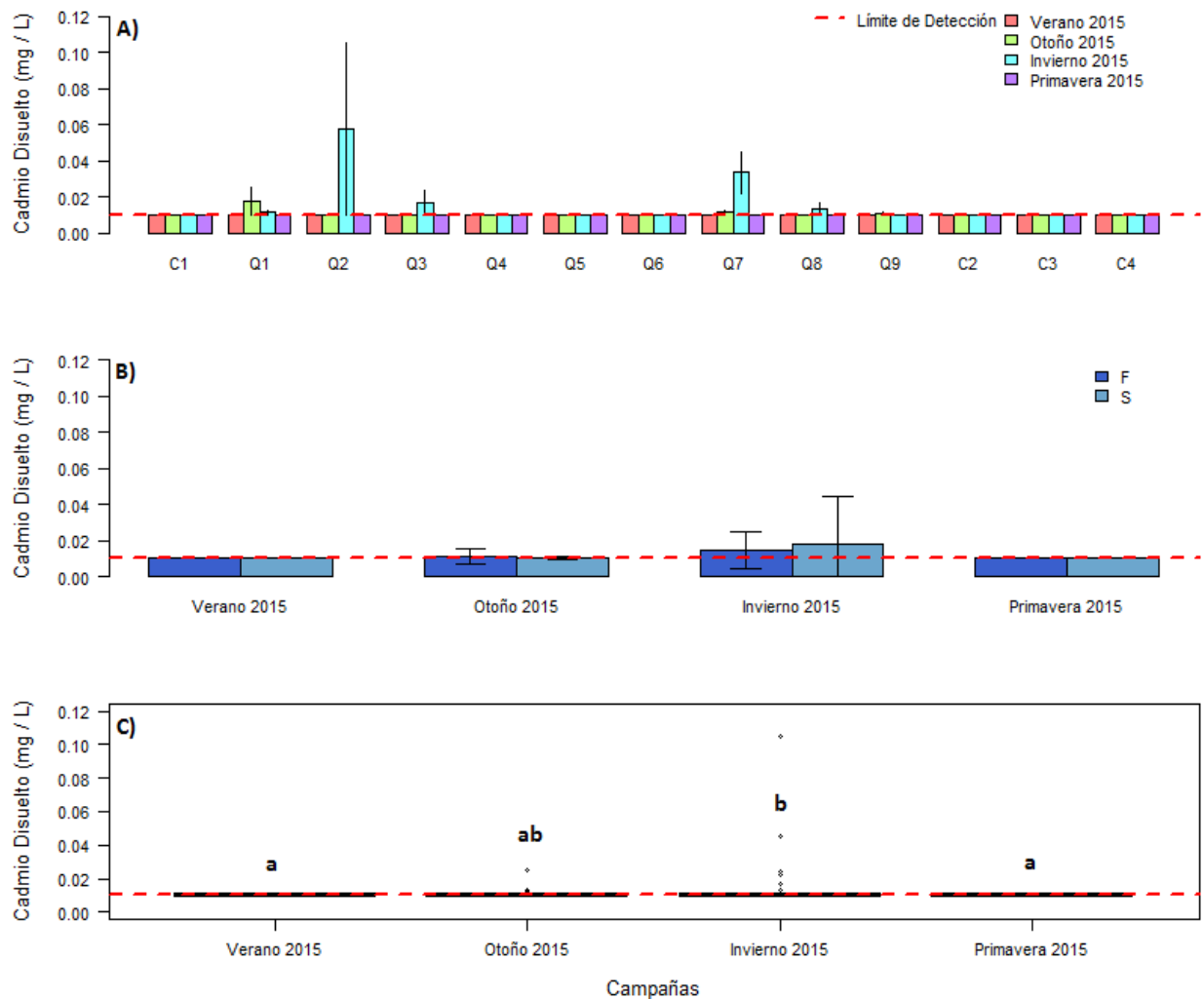
– Cadmio disuelto (Cd)

Durante las campañas verano y primavera, todas las estaciones y estratos de muestreo evaluadas durante las cuatro campañas estacionales registraron concentraciones de Cd inferiores al límite de detección de la metodología empleada por el laboratorio analítico (<0,01 mg Cd/l; Figura 3.2.10-110 A-B y Anexo 3.2.10-3). Por otra parte, durante las campañas de otoño e invierno se registró una concentración superficial promedio de $0,0102 \pm 0,0008$ mg Cd/l y $0,0182 \pm 0,0263$ mg Cd/l, mientras que para fondo éstos se consignaron en $0,0113 \pm 0,0042$ mg Cd/l y $0,0145 \pm 0,0100$ mg Cd/l, respectivamente. En términos absolutos, en otoño se registró una

variación entre 0,01 - 0,130 mg Cd/l en superficie y 0,01 - 0,0250 mg Cd/l en fondo, mientras que en invierno el estrato superficial y de fondo fluctuaron entre 0,01 - 0,1050 mg Cd/l y 0,01 - 0,0450 mg Cd/l, respectivamente (Tabla 3.2.10-54 y Figura 3.2.10-110 B). El valor promedio de este analito entre estratos de la columna de agua evaluados, no mostró diferencias significativas entre campañas estacionales (ANOVA de dos vías ($p=0,718$)).

Los niveles promedio del Cd en el área costera evaluada, presentaron diferencias significativas entre las distintas campañas estacionales evaluadas (Kruskal Wallis; $\chi^2 = 12,151$; $p = 0,006883$; Figura 3.2.10-110 C).

Figura 3.2.10-110. Concentración de cadmio disuelto en agua de mar: (A) por estación de muestreo y campaña estacional. (B) concentración promedio por estrato de profundidad (superficie/fondo). (C) Box plot de concentración promedio ($\pm DS$) por campaña estacional (Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.



Fuente: Elaboración propia.

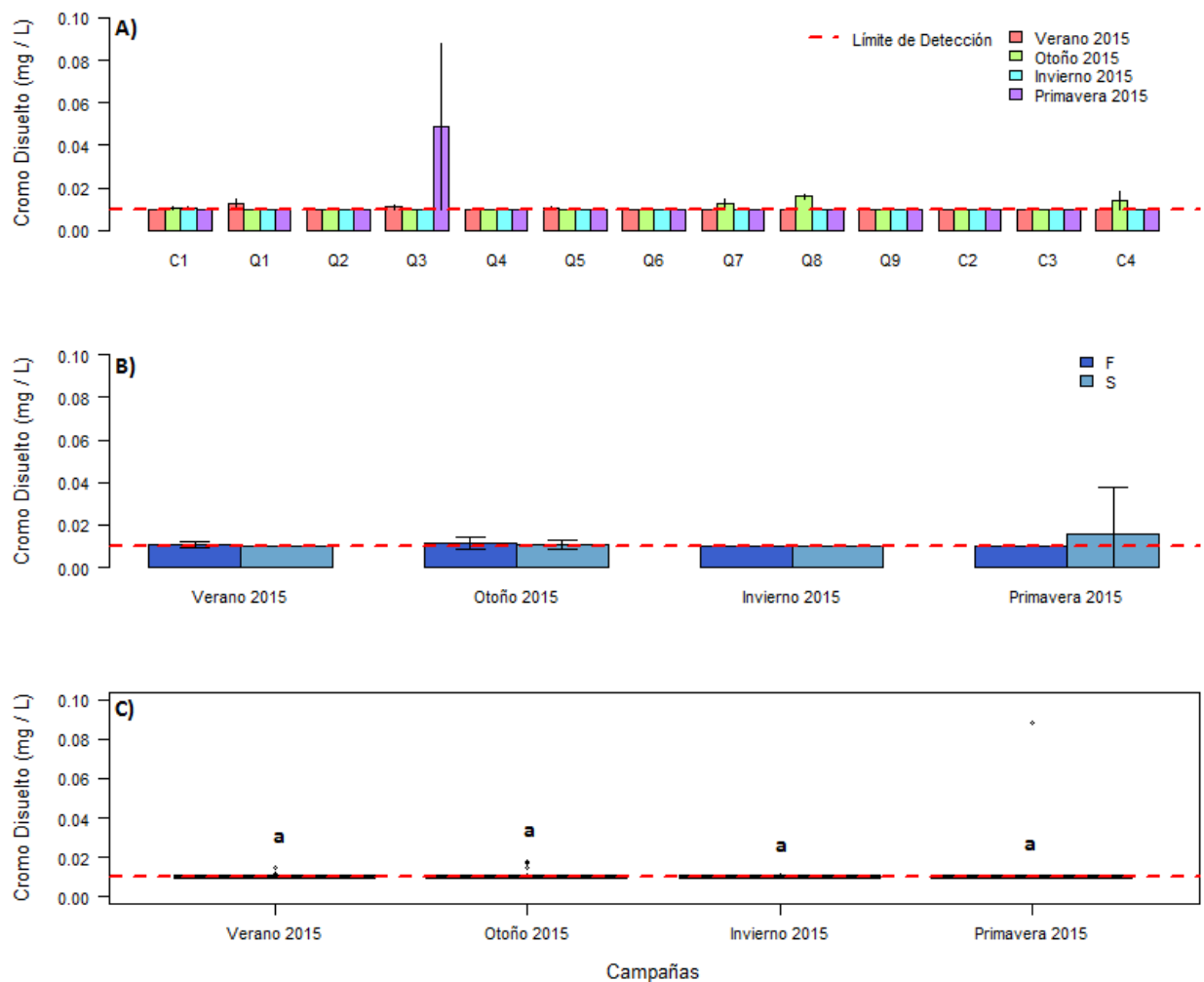
En función del rango de variación de la concentración de Cd durante el periodo de estudio, se observa que ésta fue superior a la informada en Línea de Base Puerto Iquique (2011), Línea de Base Puerto Patillos (2004) y Línea de Base Puerto Patache (2009; Tabla 3.2.10-54 y Anexo 3.2.10-2).

– Cromo disuelto (Cr)

El análisis espacial de los niveles de Cr disuelto en agua de mar durante el periodo de estudio revela concentraciones preferentemente bajo el límite de detección de la metodología empleada ($< 0,01$ mg Cr/l), en la mayoría de estaciones y estratos evaluados durante las cuatro campañas estacionales llevadas a cabo durante el 2015 (Figura 3.2.10-111A-B y Anexo 3.2.10-3). El análisis por estrato muestra que la concentración de Cr superficial registrada durante la campaña verano, presentó todos los valores bajo el límite de detección de la metodología analítica empleada por el laboratorio ($< 0,01$ mg Cr/l), y las campañas restantes (otoño, invierno y primavera) obtuvieron valores cuantificables, las cuales promediaron $0,0108 \pm 0,0019$ mg Cr/l en otoño; $0,0101 \pm 0,0003$ mg Cr/l en invierno y $0,0160 \pm 0,0216$ mg Cr/l en primavera. El rango absoluto de variación para estos periodos fue de $0,0100 - 0,0150$ mg Cr/l en otoño, $0,0100 - 0,0110$ mg Cr/l en invierno y $0,0100 - 0,0880$ mg Cr/l durante primavera. Por su parte, el estrato de fondo solamente registró concentraciones cuantificables para las campañas de verano y otoño, mientras que durante invierno y primavera los niveles estuvieron bajo el LD de la metodología utilizada ($< 0,01$ mg Cr/l). El Cr en el estrato fondo registró un promedio de $0,0106 \pm 0,0014$ mg Cr/l en verano, y de $0,0112 \pm 0,0028$ mg Cr/l en otoño. En términos absolutos, la concentración del cromo en el estrato fondo presentó un rango de variación de $0,0100 - 0,0150$ mg Cr/l en verano, y de $0,0100 - 0,0180$ mg Cr/l en otoño (Tabla 3.2.10-54 y Figura 3.2.10-111 B). El valor promedio de este analito entre estratos de la columna de agua evaluados, no mostró diferencias significativas entre campañas estacionales (ANOVA de dos vías ($p=0,194$)).

No se registraron diferencias significativas en la concentración promedio de Cr entre las cuatro campañas estacionales evaluadas (Kruskal Wallis; $X^2 = 4,9004$; $p = 0,1792$; Figura 3.2.10-111 C).

Figura 3.2.10-111. Concentración de cromo disuelto en agua de mar: (A) por estación de muestreo y campaña estacional. (B) concentración promedio por estrato de profundidad (superficie/fondo). (C) Box plot de concentración promedio (\pm DS) por campaña estacional (Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.



Fuente: Elaboración propia.

– Cobre disuelto (Cu)

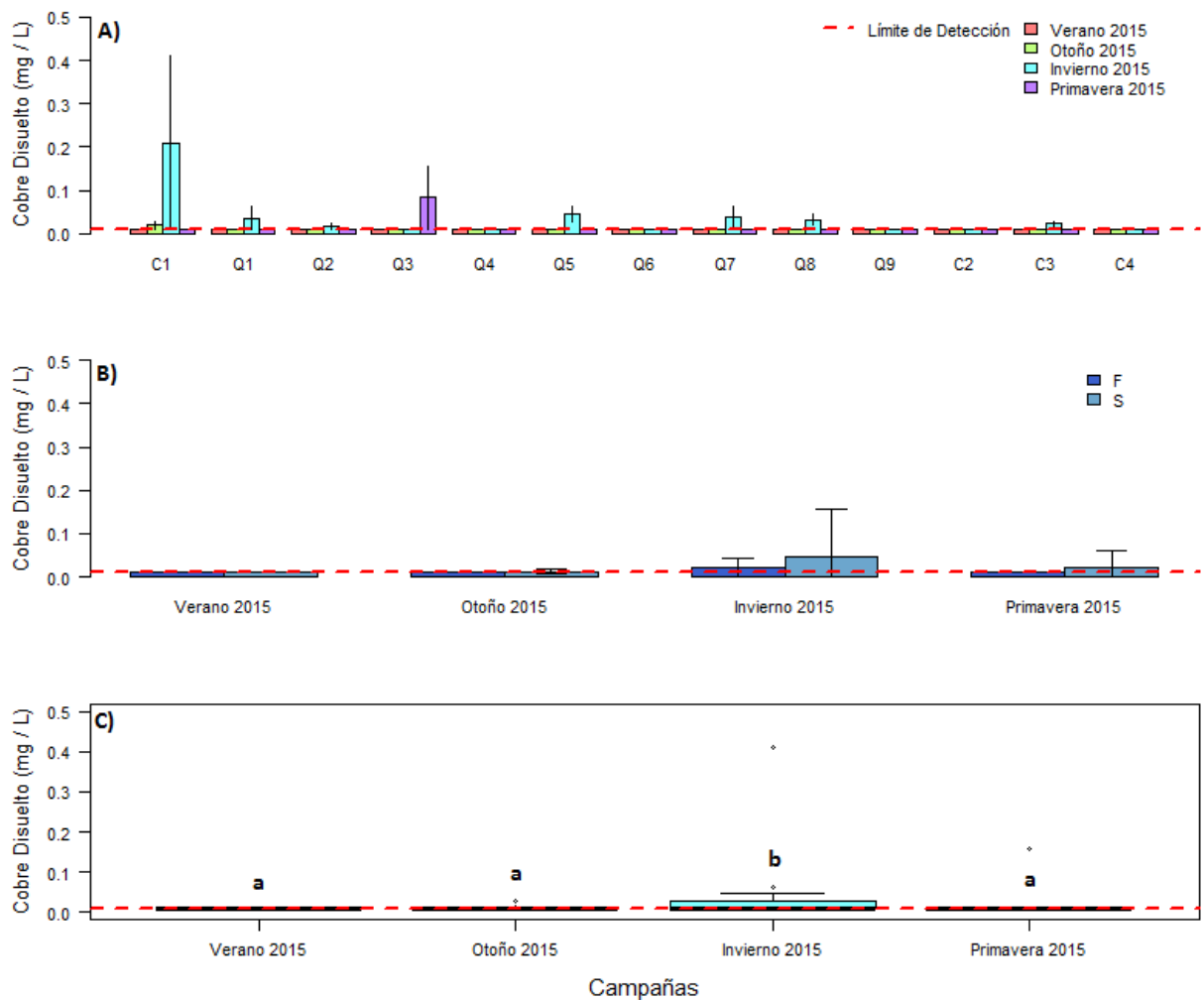
El análisis espacial de los niveles de Cu disuelto en agua de mar durante el periodo de estudio revela concentraciones preferentemente bajo el límite de detección de la metodología empleada ($< 0,01$ mg Cu/l), en la mayoría de estaciones y estratos evaluados durante las cuatro campañas estacionales llevadas a cabo durante el 2015 (Figura 3.2.10-112 A-B y Anexo 3.2.10-3). Los registros cuantificables de Cu fueron escasos y limitados por ejemplo a la estación Q1 en otoño, Q3 en primavera y determinadas estaciones en invierno en el sector centro-sur del área costera evaluada.

El análisis por estrato reveló que la concentración de Cu disuelto en agua de mar durante la campaña verano, registró valores inferiores al límite de detección en ambos estratos de profundidad (superficie y fondo), mientras que las campañas otoño y primavera presentaron esta condición sólo en el estrato de fondo. En efecto, las campañas que registraron valores cuantificables presentaron una concentración superficial promedio de $0,012 \pm 0,005$ mg Cu/l en otoño, $0,048 \pm 0,110$ mg Cu/l durante invierno y $0,021 \pm 0,041$ mg Cu/l en primavera, con un rango absoluto de variación entre $0,010 - 0,029$ mg Cu/l; $0,010 - 0,410$ mg Cu/l y $0,010 - 0,157$ mg Cu/l en otoño, invierno y primavera, respectivamente, mientras que en fondo la campaña de invierno registró una concentración promedio de $0,022 \pm 0,020$ mg Cu/l, con un valor máximo de $0,062$ mg Cu/l (Tabla 3.2.10-54 y Figura 3.2.10-112 B). El valor promedio de este analito entre estratos de la columna de agua evaluados, no mostró diferencias significativas entre campañas estacionales (ANOVA de dos vías ($p=0,585$)).

La concentración promedio de Cu presentó diferencias estadísticamente significativas entre las cuatro campañas de Línea de Base (Kruskal Wallis; $X^2 = 20,22$; $p = 0,0001528$), siendo invierno la que presentó la mayor concentración promedio respecto de las demás campañas (Prueba de comparaciones múltiples, Dunn; $p < 0,02$; Figura 3.2.10-112 C).

De acuerdo a los rangos de variación informados para la concentración del Cu en el área y período de estudio, estos resultados son superiores a los reportados en la Línea de Base de Puerto Patillos (2004) y Línea de Base de Puerto Patache (2009); aunque también se aprecian dentro del rango de fluctuación de la Línea de Base de Puerto Pacífico (2014) y Línea de Base de Puerto Iquique (2011; Tabla 3.2.10-54 y Anexo 3.2.10-2).

Figura 3.2.10-112. Concentración de cobre disuelto en agua de mar: (A) por estación de muestreo y campaña estacional. (B) concentración promedio por estrato de profundidad (superficie/fondo). (C) Box plot de concentración promedio (\pm DS) por campaña estacional (Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.



Fuente: Elaboración propia.

– Hierro disuelto (Fe)

El análisis espacial de los niveles de Cu disuelto en agua de mar durante el periodo de estudio reveló, al igual que para los metales disueltos descritos anteriormente, concentraciones preferentemente bajo el límite de detección de la metodología empleada ($< 0,03$ mg Fe/l), en la mayoría de estaciones evaluadas (Figura 3.2.10-113 A-B y Anexo 3.2.10-3), por ejemplo, en verano e invierno sólo se registró un valor cuantificable para cada campaña, correspondiendo a las estación Q2F y C1S, respectivamente, dispuestas en el sector sur del área costera evaluada.

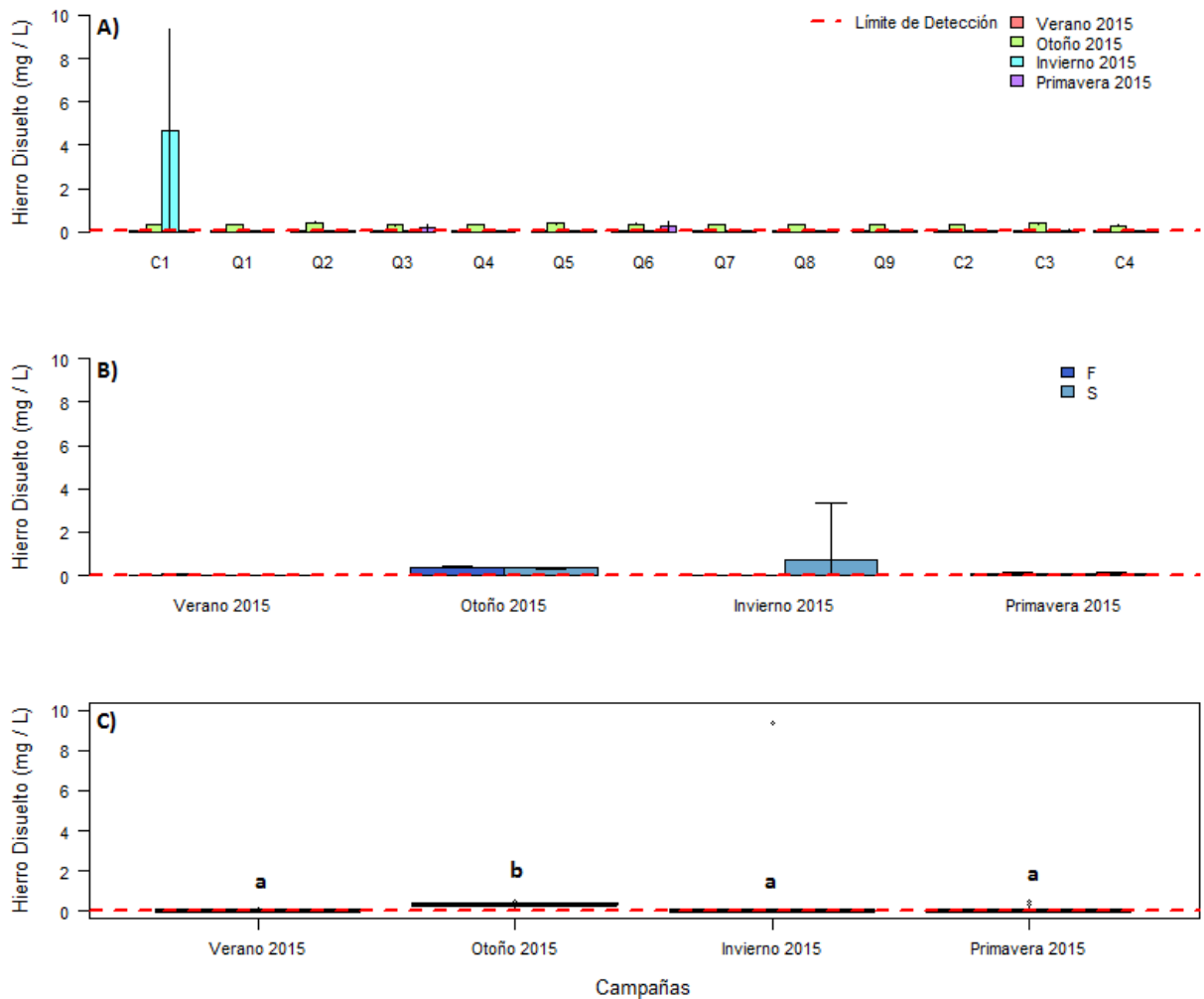
Con relación a la profundidad de muestreo, la concentración del Fe superficial durante la campaña de verano 2015 presentó valores bajo el LD de la metodología utilizadas en todas las estaciones

evaluadas ($<0,03$ mg Fe/l), mientras que durante las campañas de otoño, invierno y primavera, se registraron concentraciones promedio de $0,350 \pm 0,042$ mg Fe/l; $0,746 \pm 2,582$ mg Fe/l y $0,063 \pm 0,094$ mg Fe/l, respectivamente. Por su parte, en el estrato de fondo se obtuvo un promedio de $0,036 \pm 0,022$ mg Fe/l para la campaña de verano, $0,369 \pm 0,037$ mg Fe/l durante otoño y $0,064 \pm 0,121$ mg Fe/l en primavera, mientras que en invierno todas las estaciones monitoreadas registraron valores bajo el límite de detección (Figura 3.2.10-113 B). En base a todos los registros obtenidos en las distintas estaciones, profundidades y campañas evaluadas, el rango absoluto de variación fluctuó entre valores bajo el LD de la metodología empleada y $9,339$ mg/l en la estación C1 durante la campaña invernal (Tabla 3.2.10-54 y Figura 3.2.10-113). El valor promedio de este analito entre estratos de la columna de agua evaluados, no mostró diferencias significativas entre campañas estacionales (ANOVA de dos vías ($p=0,397$)).

Se observaron diferencias estadísticamente significativas en la concentración promedio del Fe entre campañas evaluadas (Kruskal Wallis; $X^2 = 76,827$; $p = 2,2E-16$; Figura 3.2.10-113 C), siendo significativamente superior durante la campaña de otoño.

Comparativamente, el rango de variación registrado en este estudio durante las cuatro campañas estacionales ($<0,03$ mg Fe/l – $9,339$ mg Fe/l) es superior al informado en la Línea de Base de Puerto Pacífico (2014; $0,023$ – $0,103$ mg Fe/l; Tabla 3.2.10-54 y Anexo 3.2.10-2).

Figura 3.2.10-113. Concentración de hierro disuelto (Fe) en agua de mar: (A) por estación de muestreo y campaña estacional. (B) concentración promedio por estrato de profundidad (superficie/fondo). (C) Box plot de concentración promedio (\pm DS) por campaña estacional (Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.



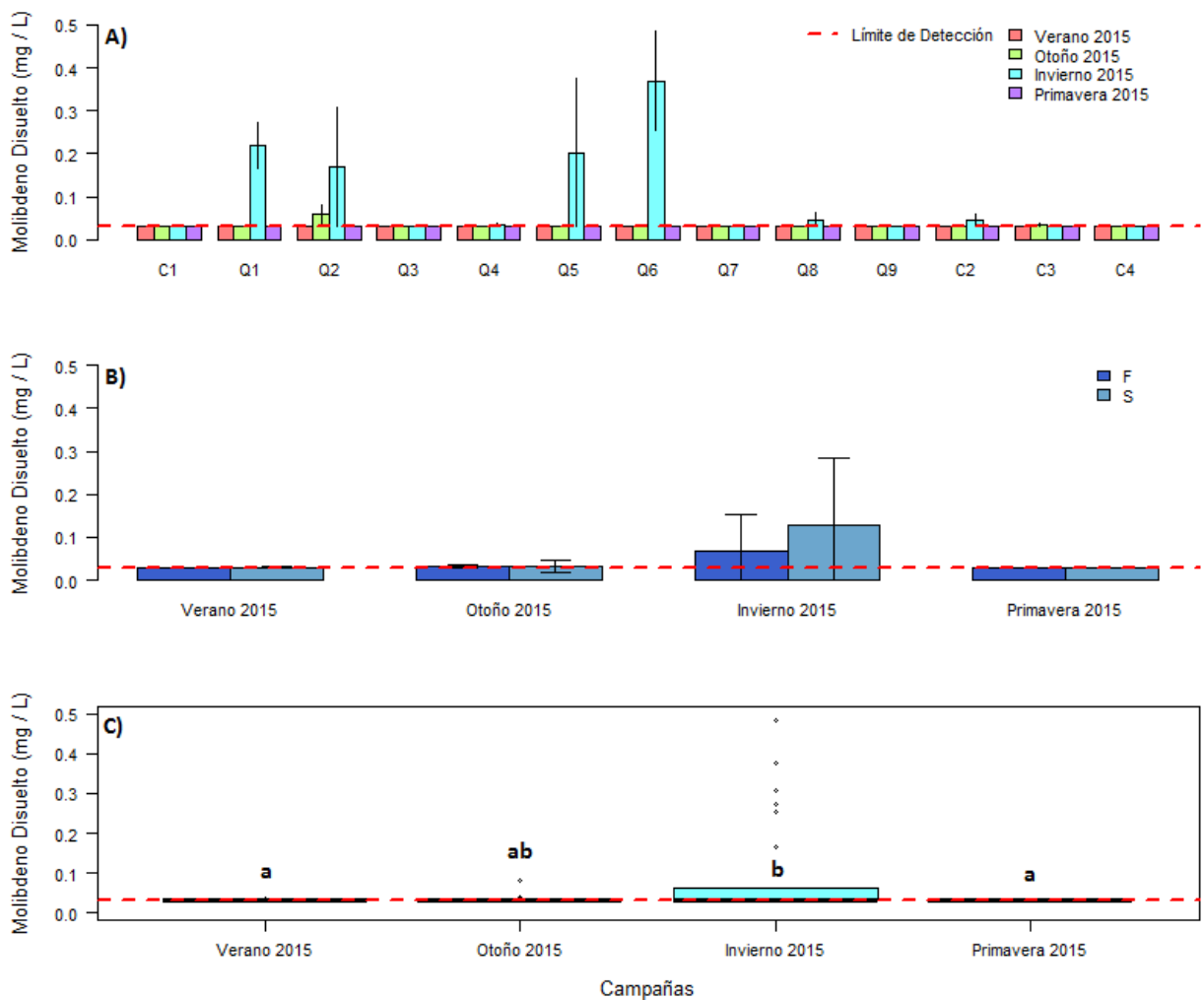
Fuente: Elaboración propia.

– Molibdeno disuelto (Mo)

Manteniendo la tendencia descrita por los metales disueltos descritos en los párrafos precedentes, el Mo disuelto en agua de mar registró preferentemente valores bajo el L.D. de la metodología aplicada por ALS Patagonia (<0,03 mg Mo/l). Es así como en la campaña de primavera todas las estaciones y estratos presentaron esta condición y en verano y otoño se reportaron únicamente un valor cuantificable para cada una de ellas (Q8S y Q2F, respectivamente); destacan eso sí los registros obtenidos en la campaña de invierno con máximos

puntuales en Q1, Q2, Q5 y Q6, emplazados en la zona centro-sur del área costera evaluada (Figura 3.2.10-114 A y Anexo 3.2.10-3).

Figura 3.2.10-114. Concentración de molibdeno disuelto (Mo) en agua de mar: (A) por estación de muestreo y campaña estacional. (B) concentración promedio por estrato de profundidad (superficie/fondo). (C) Box plot de concentración promedio (\pm DS) por campaña estacional (Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.



Fuente: Elaboración propia.

Conforme a lo informado por el laboratorio analítico (ALS Patagonia), la concentración de Mo registrada en la columna de agua presentó en verano, otoño e invierno un promedio superficial de $0,0303 \pm 0,0011$ mg Mo/l; $0,0338 \pm 0,0139$ mg Mo/l y $0,1283 \pm 0,1577$ mg Mo/l, respectivamente, mientras que en fondo se obtuvo una concentración promedio de $0,0301 \pm 0,0003$ mg Mo/l en verano; $0,0314 \pm 0,0028$ mg Mo/l durante otoño y $0,0665 \pm 0,0875$ mg/l en la campaña de invierno, con un rango de variación absoluta en verano, otoño e invierno de 0,0300

– 0,0340 mg Mo/l, 0,0300 – 0,0800 mg Mo/l y 0,0300 – 0,4840 mg Mo/l, respectivamente; mientras que en fondo este rango fluctuó entre 0,0300 – 0,0310 mg Mo/l, 0,0300 – 0,0380 mg Mo/l y 0,0300 – 0,2720 mg Mo/l, para el mismo período antes mencionado (Tabla 3.2.10-54 y Figura 3.2.10-113 B). El valor promedio de este analito entre estratos de la columna de agua evaluados, no mostró diferencias significativas entre campañas estacionales (ANOVA de dos vías ($p=0,207$)).

En términos estadísticos, la concentración promedio de Mo disuelto en agua de mar reportó diferencias significativas entre las campañas estacionales (Kruskal Wallis; $X^2 = 15,46$; $p = 0,001463$; Figura 3.2.10-114 C).

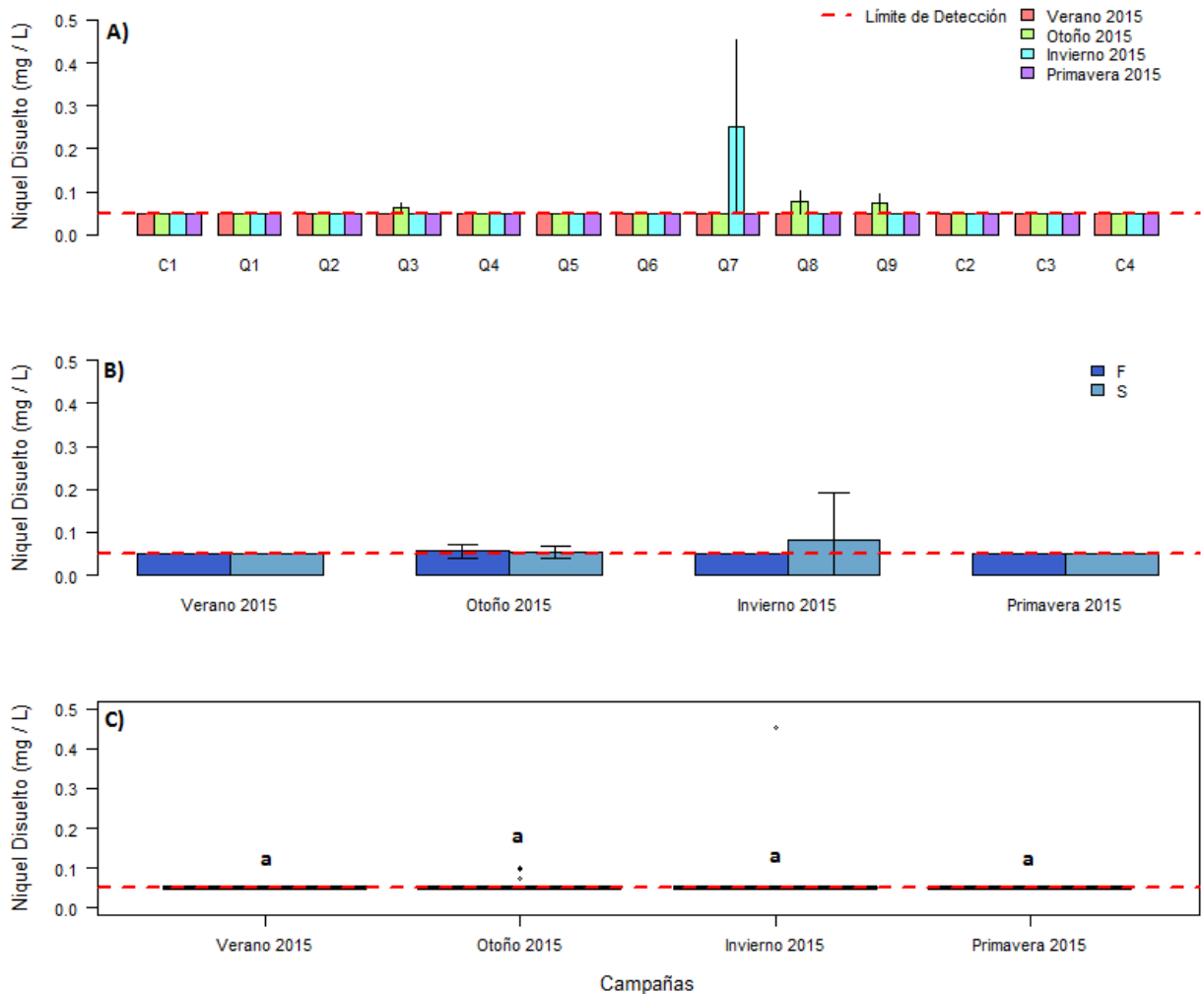
– Níquel disuelto (Ni)

En Ni disuelto mostró escasos valores cuantificables a lo largo del periodo de estudio, siendo los más destacables los registros obtenidos en las estaciones Q7 (invierno), Q3, Q8 y Q9 en la campaña de otoño 2015 (Figura 3.2.10-115 A y Anexo 3.2.10-3). Durante las campañas de verano y primavera todas las estaciones y estratos de muestreo presentaron valores inferiores al límite de detección de la metodología analítica empleada por el laboratorio ($<0,05$ mg Ni/l; Figura 3.2.10-115 A-B).

El análisis por estrato muestra una concentración superficial promedio de $0,054 \pm 0,013$ mg Ni/l y $0,081 \pm 0,111$ mg Ni/l, con un rango absoluto de variación entre $< 0,05 - 0,096$ mg Ni/l y $< 0,05 - 0,452$ mg Ni/l, en otoño e invierno, respectivamente. Mientras que en fondo la campaña de otoño registró una concentración promedio de $0,056 \pm 0,015$ mg Ni/l con una fluctuación correspondiente a $< 0,05$ y $0,102$ mg Ni/l (Tabla 3.2.10-54 y Figura 3.2.10-115 B). El valor promedio de este analito entre estratos de la columna de agua evaluados, no mostró diferencias significativas entre campañas estacionales (ANOVA de dos vías ($p=0,549$)).

La concentración de Níquel disuelto en agua de mar no presentó diferencias estadísticamente significativas entre campañas estacionales (Kruskal Wallis; $X^2 = 6,06$; $p = 0,1087$; Figura 3.2.10-115 C).

Figura 3.2.10-115. Concentración de níquel disuelto (Ni) en agua de mar: (A) por estación de muestreo y campaña estacional. (B) concentración promedio por estrato de profundidad (superficie/fondo). (C) Box plot de concentración promedio (\pm DS) por campaña estacional (Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.

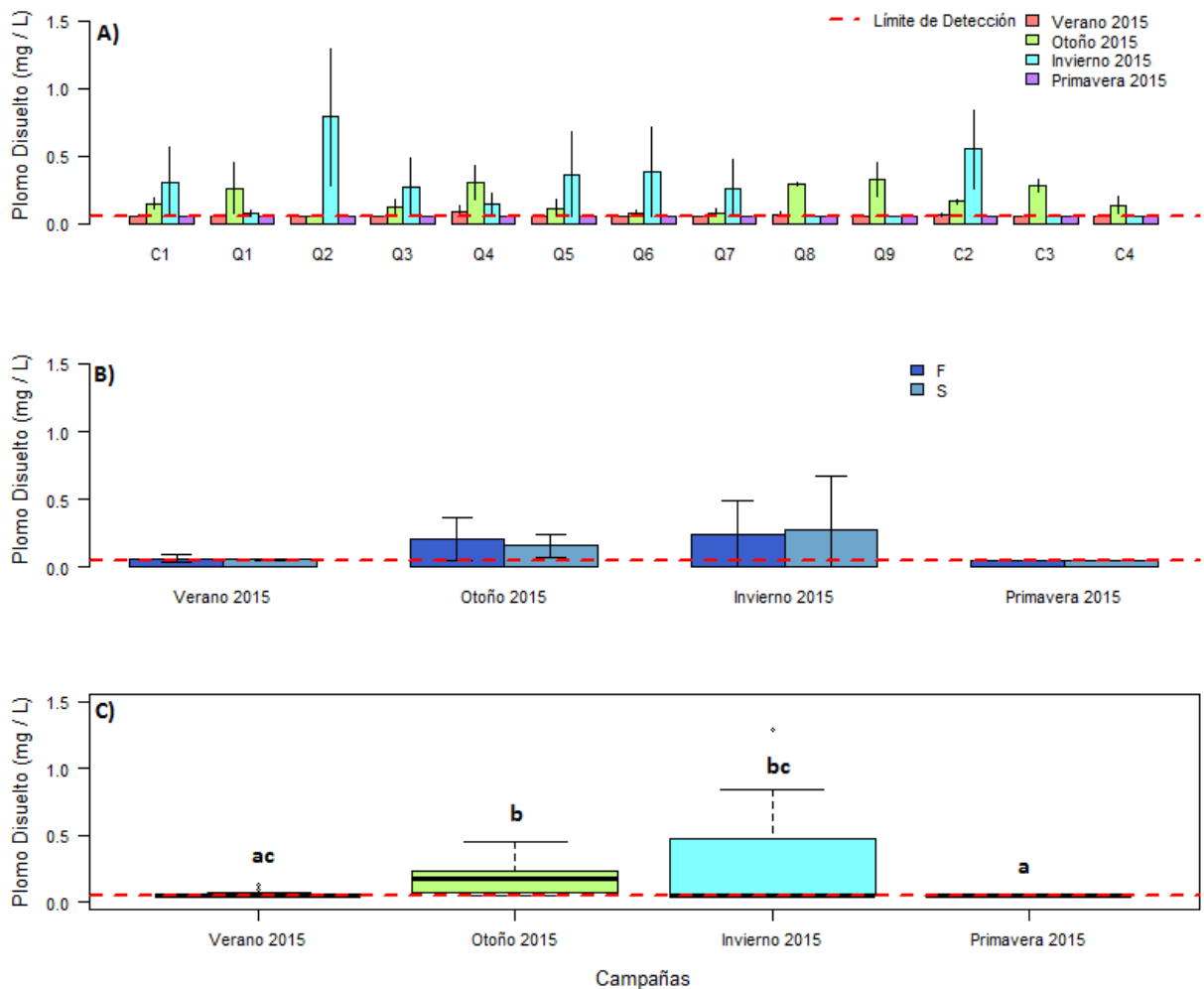


Fuente: Elaboración propia.

– Plomo disuelto (Pb)

Los niveles de Pb disuelto en agua de mar mostraron importante variabilidad espacial de aquellas concentraciones cuantificables, pero sin una tendencia evidente a lo largo del borde costero evaluado (Figura 3.2.10-116 A); solo en campaña de primavera 2015 presentaron concentraciones inferiores al límite de detección de la metodología empleada por el laboratorio analítico (<0,05 mg/l; Figura 3.2.10-116 A y Anexo 3.2.10-3).

Figura 3.2.10-116. Concentración de plomo disuelto (Pb) en agua de mar: (A) por estación de muestreo y campaña estacional. (B) concentración promedio por estrato de profundidad (superficie/fondo). (C) Box plot de concentración promedio (\pm DS) por campaña estacional (Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.



Fuente: Elaboración propia.

El análisis por estrato (superficie – fondo), muestra una leve tendencia a registrar las mayores concentraciones promedio para este analito en el estrato de fondo para las campañas de verano y otoño 2015; mientras que para la campaña de invierno este patrón se invierte, siendo el estrato superficial el que exhibe el mayor promedio. Durante las campañas verano, otoño e invierno, se registró una concentración superficial promedio para el Pb de $0,053 \pm 0,006$ mg/l; $0,157 \pm 0,088$ mg/l y $0,276 \pm 0,395$ mg/l, con un rango absoluto de variación que fluctuó entre $0,050 - 0,067$ mg/l, $0,050 - 0,329$ mg/l y $0,05 - 1,291$ mg/l, respectivamente. Mientras que el estrato de fondo, presentó una concentración promedio de $0,063 \pm 0,024$ mg/l en verano, $0,206 \pm 0,155$ mg/l en

otoño y $0,237 \pm 0,254$ mg/l durante la campaña invierno, con una fluctuación absoluta de $0,050 - 0,130$ mg/l, $0,050 - 0,451$ mg/l y $0,050 - 0,712$ mg/l en verano, otoño e invierno, respectivamente (Tabla 3.2.10-54 y Figura 3.2.10-116B). Las tendencias comentadas respecto del valor promedio de este analito entre estratos de la columna de agua evaluados, no mostró diferencias significativas entre campañas estacionales (ANOVA de dos vías ($p=0,824$)).

La concentración promedio de Pb disuelto en agua de mar, presentó diferencias estadísticamente significativas entre las campañas estacionales (Kruskal Wallis; $X^2 = 36,042$; $p = 7,337E-08$; Figura 3.2.10-116 C).

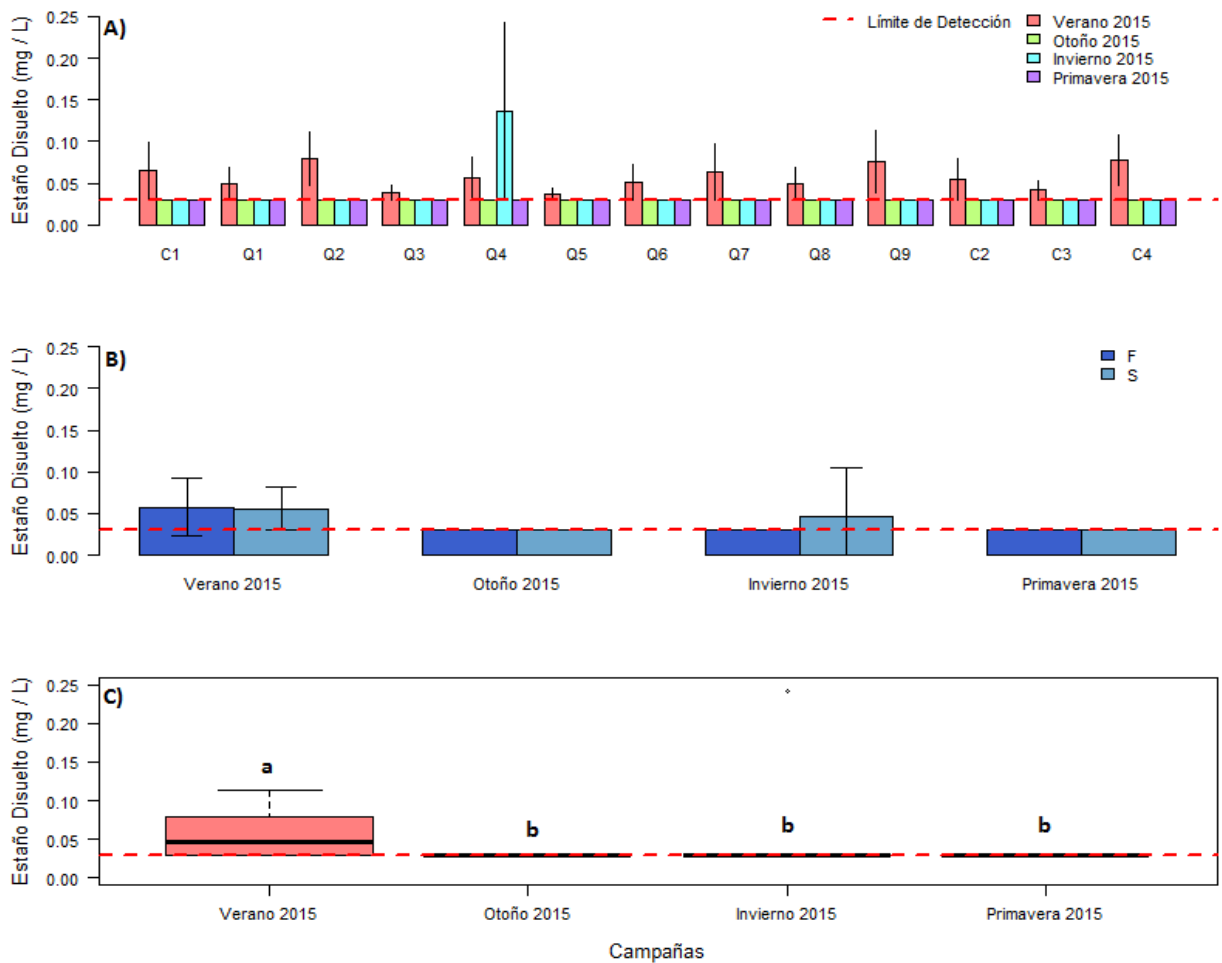
– Estaño disuelto (Sn)

La totalidad de estaciones y estratos evaluados en la columna de agua, mostraron concentraciones bajo el límite de detección de la metodología empleada por el laboratorio analítico ($<0,03$ mg Sn/l), sin embargo, durante verano e invierno se obtuvieron niveles de Sn que se distribuyeron heterogéneamente entre el área costera evaluada, pero sin una tendencia espacial evidente (Figura 3.2.10-117 A y Anexo 3.2.10-3).

Por su parte, los estratos de profundidad evaluados presentaron también tendencias variables, por ejemplo, durante la campaña de verano los mayores niveles de Sn ocurren en el estrato de fondo, mientras que para la campaña de invierno son en superficie (ver Tabla 3.2.10-54 y Figura 3.2.10-117 B). En términos promedio, durante la campaña de verano se registró una concentración de $0,056 \pm 0,026$ mg Sn/l en superficie y $0,058 \pm 0,034$ mg Sn/l en fondo; mientras que en invierno la concentración promedio fue de $0,046 \pm 0,059$ mg Sn/l en el estrato superficial; y de valores bajo el LD para el estrato fondo (Tabla 3.2.10-54 y Figura 3.2.10-117 B). El valor promedio de este analito entre estratos de la columna de agua evaluados, no mostró diferencias significativas entre campañas estacionales (ANOVA de dos vías ($p=0,791$)).

La concentración promedio de Sn disuelto en agua de mar registró diferencias estadísticamente significativas entre campañas (Kruskal Wallis; $X^2 = 49,669$; $p = 9,397E-11$), siendo superiores durante la época estival (Prueba de comparaciones múltiples, Dunn, $p < 0,01$; Figura 3.2.10-117 C).

Figura 3.2.10-117. Concentración de estaño disuelto (Sn) en agua de mar: (A) por estación de muestreo y campaña estacional. (B) concentración promedio por estrato de profundidad (superficie/fondo). (C) Box plot de concentración promedio (\pm DS) por campaña estacional (Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.



Fuente: Elaboración propia.

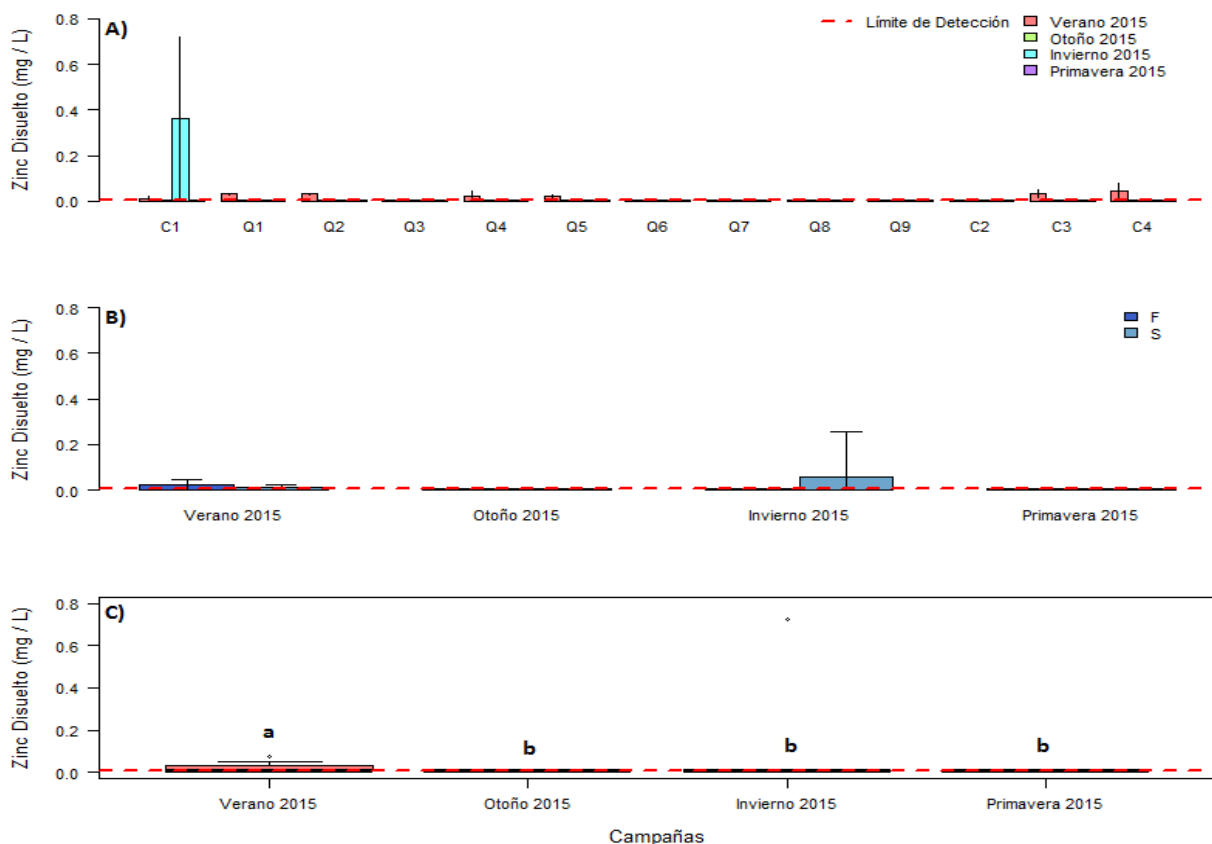
– Zinc disuelto (Zn)

El comportamiento de la concentración del cinc en el agua de mar muestra valores preferentemente bajo el límite de detección de la metodología empleada por el laboratorio analítico ($<0,005$ mg Zn/l; Figura 3.2.10-118 A y Anexo 3.2.10-3), dicha condición se registró por ejemplo para la totalidad de estaciones y estratos evaluados en otoño y primavera de 2015. La concentración superficial promedio de este analito registrada durante verano, presentó un valor de $0,011 \pm 0,010$ mg Zn/l, y de $0,024 \pm 0,023$ mg Zn/l en fondo. En términos absolutos, esta campaña presentó una fluctuación entre $0,005 - 0,034$ mg/l y entre $0,005 - 0,078$ mg Zn/l para superficie y fondo, respectivamente. Por su parte, en invierno y para el estrato superficial, se

obtuvo una concentración promedio de $0,060 \pm 0,199$ mg Zn/l con una variación absoluta entre 0,005 - 0,722 mg Zn/l, mientras que fondo registró todos los valores inferiores al límite de detección ($<0,005$ mg Zn/l). De esta forma, se evidencia una tendencia diferente para ambas campañas, ya que mientras en verano es superior el promedio de fondo, en invierno lo es el de superficie (Tabla 3.2.10-54 y Figura 3.2.10-118 B). No obstante lo anteriormente expuesto, es posible establecer que en conformidad con los análisis estadísticos efectuados, el valor promedio de este analito entre estratos de la columna de agua evaluados, no mostró diferencias significativas entre campañas estacionales (ANOVA de dos vías ($p=0,718$)).

En términos estadísticos, la concentración promedio de Zn disuelto en agua de mar presentó diferencias significativas entre las campañas analizadas (Kruskal Wallis; $X^2 = 42,03$; $p = 3,954E-09$), registrando la mayor concentración promedio durante la campaña de verano (Prueba de comparaciones múltiples, Dunn, $p < 0,01$; Figura 3.2.10-118 C).

Figura 3.2.10-118. Concentración de zinc disuelto (Zn) en agua de mar: (A) por estación de muestreo y campaña estacional. (B) concentración promedio por estrato de profundidad (superficie/fondo). (C) Box plot de concentración promedio (\pm DS) por campaña estacional (Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.



Fuente: Elaboración propia.

d) Calidad química de los sedimentos intermareales

La Tabla 3.2.10-55 resume la estadística básica de los diferentes analitos químicos empleados para la evaluación de la calidad de sedimentos intermareales en el área costera evaluada durante las campañas de verano, otoño, invierno y primavera de 2015.

En la Tabla 3.2.10-55, se aprecia la estadística básica de la caracterización química de los sedimentos intermareales del área costera evaluada durante las cuatro campañas estacionales de línea de base. Conforme a dichos antecedentes, cinco (5) de los treinta (30) analitos evaluados por el laboratorio analítico ALS Patagonia S.A., exhibieron niveles no detectables durante todas las campañas evaluadas y en la totalidad de las estaciones muestreadas, es decir, presentaron registros bajo el límite de detección (< L.D.) de las respectivas metodologías aplicadas. Los analitos correspondieron a: plata (< 2 mg/kg), berilio (< 0,5 mg/kg), molibdeno (< 4 mg/kg), plomo (< 30 mg/kg) y antimonio (< 10 mg/kg). En estos casos donde se registraron valores < L.D., los reportes tabulados se muestran con sus respectivos límites de detección para cada elemento, y no serán representados gráficamente debido a que no presentan variabilidad espacial ni temporal.

Tabla 3.2.10-55. Estadística básica de calidad química de los sedimentos intermareales por campaña. Teck – QB2, 2015.

Estadígrafo	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Li
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Verano 2015															
Promedio	< 2,0	4.230	5,6	14,5	< 0,5	< 20,0	153.423	0,55	3,1	11,8	11,6	6.039	< 0,025	527	4,3
Desvest	0	1.120	1,4	2,9	0	0	27.702	0,13	1,3	3,7	5,9	2.575	0	174	3,9
Min	< 2,0	2.790	5,0	10,8	< 0,5	< 20,0	111.262	0,50	2,0	7,1	4,5	3.568	< 0,025	200	2,0
Max	< 2,0	5.713	8,4	17,9	< 0,5	< 20,0	189.207	0,81	5,6	15,9	19,3	10.612	< 0,025	704	12,1
Otoño 2015															
Promedio	< 2,0	5.257	6,0	15,8	< 0,5	< 20,0	169.370	< 0,50	3,8	16,7	11,1	6.335	< 0,025	665	4,5
Desvest	0	748	2,3	3,1	0	0	26.489	0	1,9	8,5	5,5	2.445	0	207	3,7
Min	< 2,0	4.372	5,0	11,0	< 0,5	< 20,0	143.208	< 0,50	2,5	7,8	5,1	4.390	< 0,025	323	2,0
Max	< 2,0	5.986	10,1	18,9	< 0,5	< 20,0	205.762	< 0,50	7,3	27,2	17,6	10.555	< 0,025	883	10,8
Invierno 2015															
Promedio	< 2,0	4.833	5,0	13,1	< 0,5	< 20,0	186.208	< 0,50	4,1	14,7	12,4	7.266	0,032	491	4,6
Desvest	0	1.541	0,1	2,1	0	0	35.309	0	2,4	6,2	7,6	3.781	0,0075	162	3,6
Min	< 2,0	3.411	5,0	10,5	< 0,5	< 20,0	146.777	< 0,50	2,7	7,5	4,5	4.357	< 0,025	214	2,0
Max	< 2,0	7.234	5,2	15,3	< 0,5	< 20,0	234.800	< 0,50	8,3	20,7	22,0	13.627	0,042	608	10,7
Primavera 2015															
Promedio	< 2,0	3.886	< 5,0	17,0	< 0,5	20,18	149.401	0,60	3,0	18,3	19,0	6.225	< 0,025	772	6,6
Desvest	0	265	0	3,0	0	0,45	24.090	0,10	0,8	9,8	16,1	1.287	0	289	1,6
Min	< 2,0	3.613	< 5,0	12,5	< 0,5	20,00	121.063	0,50	2,5	9,5	6,9	5.028	< 0,025	220	5,3
Max	< 2,0	4.222	< 5,0	20,6	< 0,5	21,10	190.077	0,70	4,5	30,1	50,2	8.166	< 0,025	1.014	9,4

Fuente: elaboración del consultor en base a lo reportado por el laboratorio analítico ALS Patagonia.

Continuación Tabla 3.2.10-55

Estadígrafo	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	Pb	P	Sb	Se	Sn	Sr	Ti	Tl	V	Zn
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Verano 2015															
Promedio	4.990	93,4	< 4,0	4.470	< 5,0	< 30	2.974	< 10	5,08	5,2	952	435	< 50,0	24,07	12,22
Desvest	2.565	55,4	0	597	0	0	2.118	0	4,35	0,3	142	200	0	10,39	6,33
Min	3.646	58,6	< 4,0	3.350	< 5,0	< 30	514	< 10	< 2,00	< 5,0	797	300	< 50,0	12,70	8,09
Max	10.205	204,3	< 4,0	5.048	< 5,0	< 30	5.587	< 10	12,60	5,7	1.134	836	< 50,0	39,10	25,00
Otoño 2015															
Promedio	5.742	115,0	< 4,0	4.259	< 5,0	< 30	3.479	< 10	2,44	< 5,0	1.067	436	157,98	23,02	13,24
Desvest	2.334	52,3	0	1.279	0	0	3.202	0	0,70	0	225	211	241,45	8,24	5,76
Min	4.347	63,0	< 4,0	2.670	< 5,0	< 30	443	< 10	< 2,00	< 5,0	812	227	< 50,0	16,60	9,40
Max	9.896	195,4	< 4,0	5.895	< 5,0	< 30	7.011	< 10	3,59	< 5,0	1.391	785	589,90	36,80	23,40
Invierno 2015															
Promedio	5.486	109,4	< 4,0	3.725	5,8	< 30	3.246	< 10	3,73	< 5,0	845	418	86,48	27,40	14,47
Desvest	3.225	59,3	0	693	1,9	0	3.245	0	2,13	0	78	234	78,42	11,71	7,93
Min	3.705	66,4	< 4,0	3.055	< 5,0	< 30	517	< 10	< 2,00	< 5,0	770	289	< 50,0	16,00	9,64
Max	11.242	212,9	< 4,0	4.586	9,2	< 30	7.187	< 10	7,04	< 5,0	963	834	226,70	43,90	28,50
Primavera 2015															
Promedio	5.617	111,2	< 4,0	5.520	5,3	< 30	7.699	< 10	< 2,00	< 5,0	1.165	252	< 50,0	17,82	17,65
Desvest	1.429	41,5	0	886	0,4	0	6.749	0	0	0	198	18	0	2,24	3,93
Min	4.337	62,9	< 4,0	4.866	< 5,0	< 30	742	< 10	< 2,00	< 5,0	957	237	< 50,0	14,80	13,60
Max	8.403	169,7	< 4,0	7.163	6,0	< 30	16.009	< 10	< 2,00	< 5,0	1.486	286	< 50,0	21,50	22,00

NOTA: Devest=desviación estándar; Min=concentración mínima puntual; Max= concentración máxima puntual. Ag – Plata; Al – Aluminio; As – Arsénico; Ba – Bario; Be – Berilio; Bi – Bismuto; Ca – Calcio; Cd – Cadmio; Co – Cobalto; Cr – Cromo; Cu – Cobre; Fe – Hierro; Hg – Mercurio; K – Potasio; Li – Litio; Mg – Magnesio; Mn – Manganeseo; Mo – Molibdeno; Na – Sodio; Ni – Níquel; Pb – Plomo; P – Fósforo; Sb – Antimonio; Se – Selenio; Sn – Estaño; Sr – Estroncio; Ti – Titanio; Tl – Talio; V – Vanadio y Zn – Zinc.

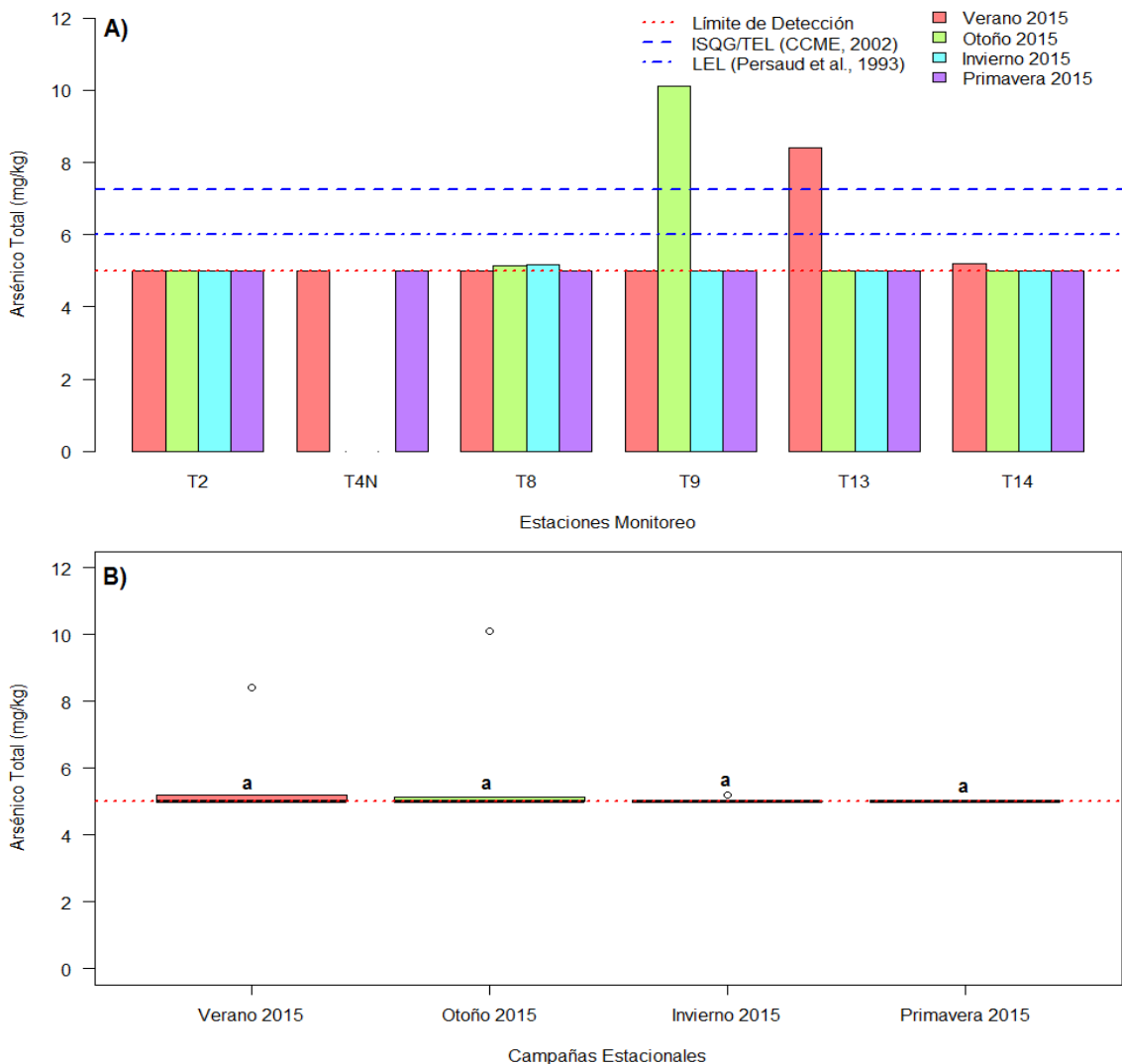
Fuente: elaboración del consultor en base a lo reportado por el laboratorio analítico ALS Patagonia.

d.1) Metales (fracción total)

– Arsénico (As)

Durante el período de estudio, las concentraciones de este analito en los sedimentos intermareales evaluados estuvieron bajo el límite de detección de la metodología empleada (< 5,0 mg/kg) en la mayoría de los transectos evaluados, sin embargo, se observaron valores cuantificables en T8 (campañas de otoño e invierno), T9 (otoño), T13 (verano) y T14 (verano), siendo T9-otoño la que presentó la mayor concentración registrada durante las cuatro campañas de Línea de Base, con 10,2 mg/kg (Tabla 3.2.10-55 y Figura 3.2.10-119 A).

Figura 3.2.10-119. (A) Concentración de Arsénico total por punto de muestreo intermareal durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (± DS) por campaña de monitoreo (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.



Fuente: Elaboración propia.

El análisis estacional revela que no se detectaron diferencias significativas para la concentración promedio de As por transecto entre campañas estacionales evaluadas (Prueba de Kruskal-Wallis, $X^2 = 2,9671$; $p = 0,3967$; ver Figura 3.2.10-119 B).

De acuerdo a los estándares de calidad consultados, las máximas concentraciones puntuales registradas durante el otoño 2015 en el nivel inferior del transecto T9 (10,2 mg/kg) T13 durante el verano (8,4 mg/kg), superan los umbrales ISQG/TEL establecidos en la Guía Canadiense de Calidad de Sedimentos para este elemento (7,24 mg/kg; CCME, 2002), y también sobrepasan el nivel de más bajo efecto (LEL) según la Guía para la Protección y Manejo de Calidad de Sedimentos Acuáticos en Ontario (6 ug As/g (ppm)); Persaud *et al.*, 1993). En consecuencia con lo anterior, con excepción de la concentración media de As informada para otoño (que fue igual al valor umbral LEL (6 ppm)), las tres campañas restantes presentaron concentración promedio bajo los umbrales de calidad referenciados. A nivel de concentraciones puntuales es posible establecer que solo dos transectos sobrepasaron los umbrales ISQG/TEL y LEL (T9 en otoño y T13 en verano), pero ninguno sobrepasó los niveles de efectos probables (PEL; CCME, 2002) o de efectos severos SEL (Persaud *et al.*, 1993).

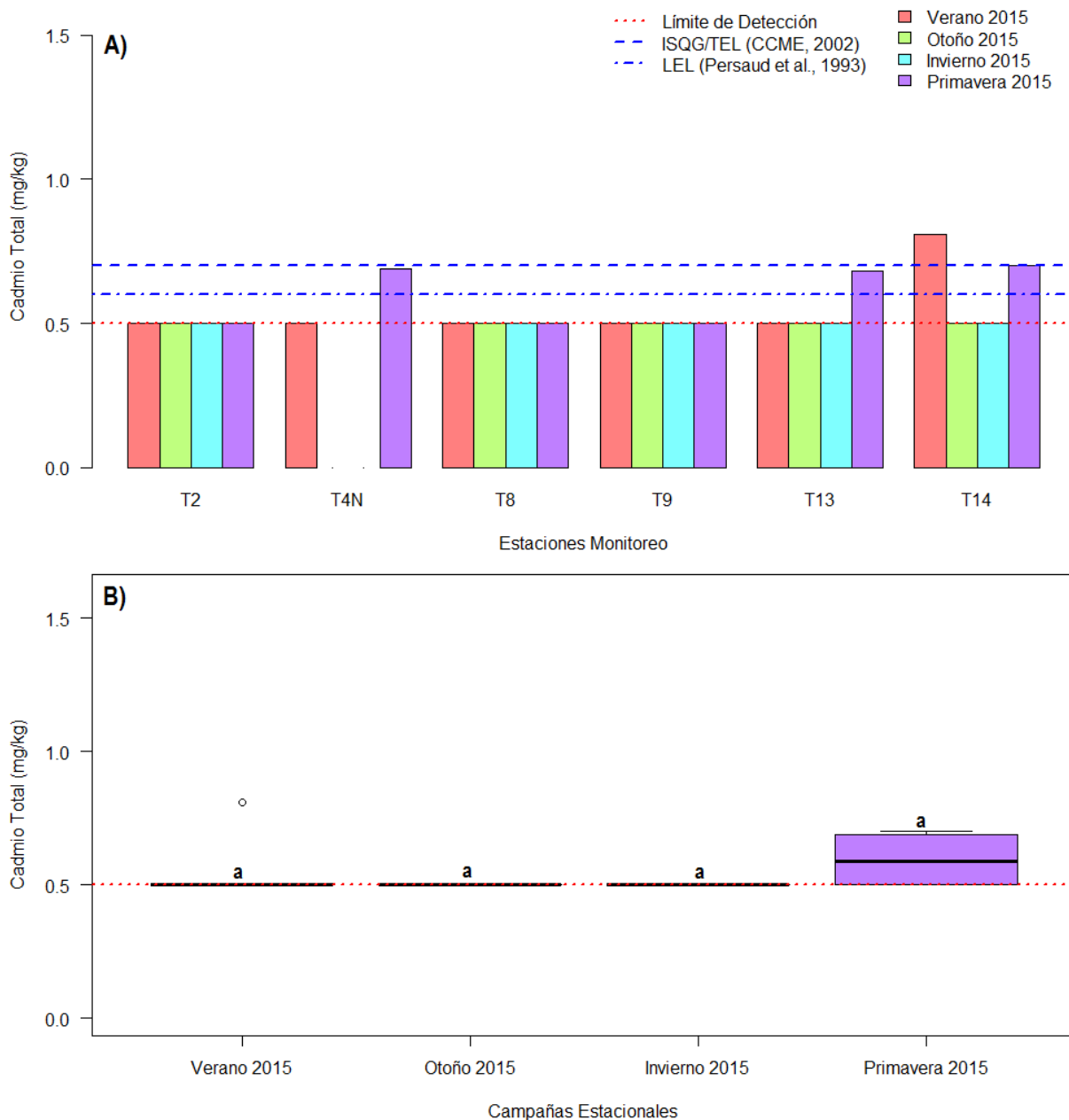
– Cadmio (Cd)

En términos generales, la concentración del Cd presentó niveles cuantificables en dos de las cuatro campañas estacionales realizadas; específicamente el transecto T14 durante el verano presentó el mayor registro de todo el período de estudio con 0,81 mg/kg; mientras que durante la primavera 2015 los transectos T4, T13 y T14 reportaron niveles cuantificables (0,69 mg/kg; 0,68 mg/kg y 0,70 mg/kg, respectivamente). Durante las campañas y transectos restantes, solo se obtuvieron registros bajo el límite de detección de la metodología empleada (< 0,5 mg/kg; más detalle ver Tabla 3.2.10-55 y Figura 3.2.10-120 A). Debido a la escasa variabilidad en la concentración de este analito en el tiempo, no se observaron diferencias significativas para el promedio del Cd entre las distintas campañas evaluadas (Prueba de Kruskal-Wallis, $X^2 = 5,4158$; $p = 0,1438$; ver Figura 3.2.10-120 B).

La Guía Canadiense de Calidad de Sedimentos (CCME, 2002), ha establecido para el Cadmio valores umbral (ISQG/TEL) y de efectos probables (PEL) de 0,7 mg Cd/Kg y 4,2 mg Cd/Kg, respectivamente; por su parte, la Guía para la Protección y Manejo de Calidad de Sedimentos Acuáticos en Ontario (Persaud *et al.*, 1993) ha establecido como límite de más bajo efecto (LEL) un valor de 0,6 ug/g (ppm) y como límite de efectos severos (SEL) una concentración de 10 ug/g (ppm). En consecuencia, con excepción de la concentración media de Cd informada para verano (que fue igual al valor umbral LEL (0,6 ppm), todas las otras campañas presentaron concentración promedio intermareal bajo los umbrales de calidad referenciados. A nivel de concentraciones puntuales, es posible establecer que en cuatro transectos se superó el nivel de más bajo efecto LEL (0,6 mg Cd/kg; T4, T13 y T14 de la campaña de primavera 2015 y solo T14 en verano 2015); cabe destacar también, que este último transecto (T14 – verano) superó el nivel umbral ISQG/TEL (0,7 mg Cd/kg) propuesto por el Gobierno de Canadá (CCME, 2002).

Figura 3.2.10-120 A), pero nunca se sobrepasó los niveles de efectos probables (PEL; CCME, 2002) o de efectos severos SEL (Persaud *et al.*, 1993).

Figura 3.2.10-120. (A) Concentración de Cadmio total por punto de muestreo intermareal durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (\pm DS) por campaña de monitoreo (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.



Fuente: Elaboración propia.

– Cromo (Cr)

Los registros de Cr total obtenidos durante las cuatro campañas estacionales de Línea de Base, variaron ampliamente entre los transectos monitoreados, con un rango absoluto de 7,13 – 30,1 mg/kg, entre T8 (campaña de verano) y T14 (campaña de primavera), respectivamente. En términos generales, se puede apreciar una tendencia a observar mayores concentraciones en los transectos T13 y T14 (playa Chauca) en todas las campañas evaluadas (más detalle ver Tabla 3.2.10-55 y Figura 3.2.10-121 A). A pesar de observar diferencias en la concentración promedio del Cr total entre las campañas estacionales de Línea de Base evaluadas, éstas diferencias no fueron estadísticamente significativas (Prueba de ANOVA, $p = 0,477$; ver Figura 3.2.10-121 B).

Dentro de los niveles internacionales de calidad de sedimentos respecto del cromo total para proteger la vida marina, es posible indicar que la Guía Canadiense de Calidad de Sedimentos ha establecido valores umbral (ISQG/TEL) y de efectos probables (PEL) de 52,3 y 160 mg/kg, respectivamente (CCME, 2002); por su parte la Guía para la Protección y Manejo de Calidad de Sedimentos Acuáticos en Ontario (Persaud *et al.*, 1993) ha establecido como límite de más bajo efecto (LEL) un valor de 26 ug/g (ppm) y como límite de efectos severos (SEL) una concentración de 110 ug/g (ppm). En consecuencia con lo anterior, la concentración promedio de Cr total de las cuatro campañas efectuadas en el ámbito de la presente línea de base fue inferior a los estándares de calidad consultados; a nivel puntual, es posible mencionar que los transectos T13 y T14 durante la campaña de primavera 2015, y T14 durante otoño 2015 superaron el LEL (Figura 3.2.10-121 A), pero no el nivel ISQG/TEL (CCME, 2012).

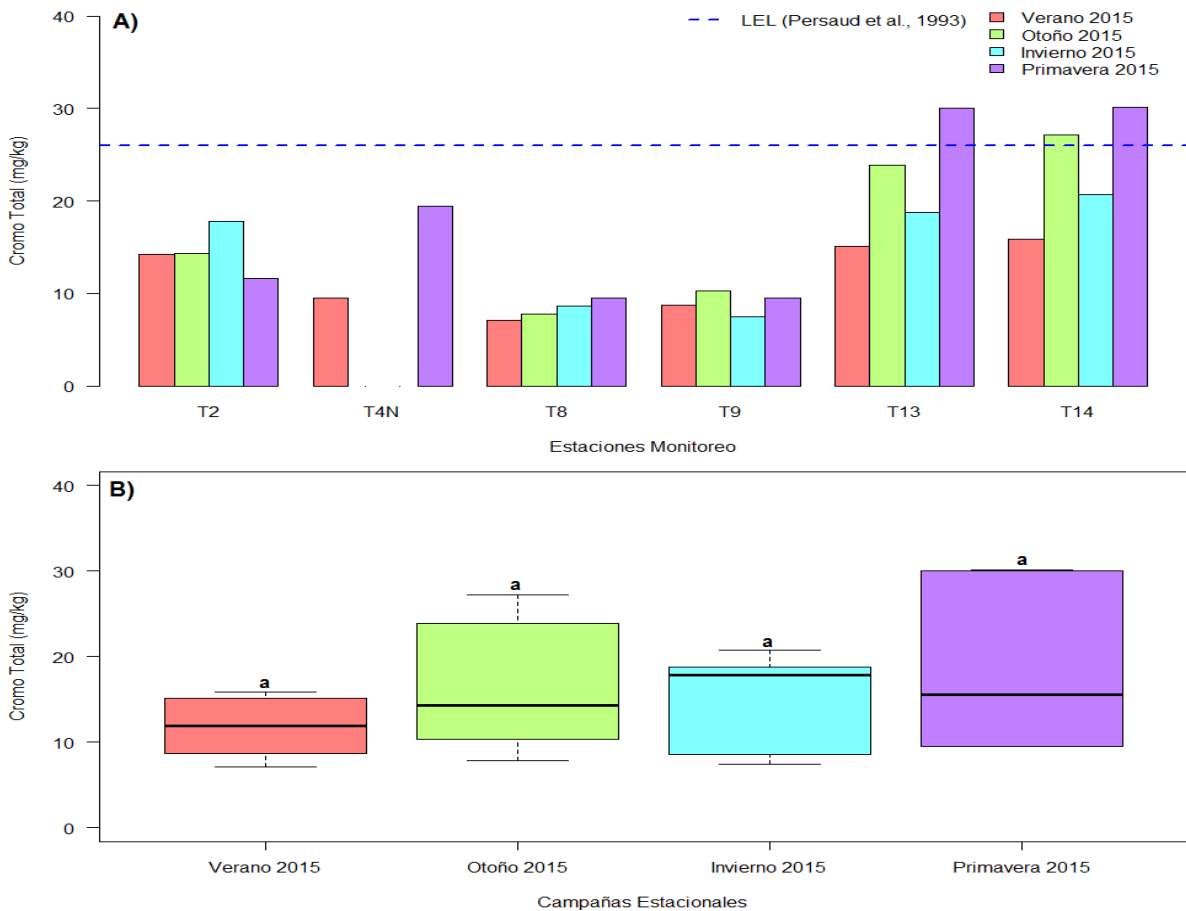
– Cobre (Cu)

Según lo informado por el laboratorio analítico, el Cu reportado en el transecto T4 durante la campaña de verano 2015 mostró la mayor concentración de todo el período de estudio con 50,20 mg/kg, mientras que los menores valores se observaron en T13 durante verano e invierno 2015 (4,5 mg/kg; más detalle ver Tabla 3.2.10-55 y Figura 3.2.10-122 A). En términos generales, para la concentración de Cu se aprecia una tendencia a la disminución desde los transectos monitoreados al norte del área costera evaluada (T2 – playa Chanavayita) hacia los evaluados al sur de la misma (T13 y T14 – playa Chauca), siendo estos últimos los que presentaron los menores registros de todos los transectos y campañas evaluadas (ver Plano 3.2.10-03, Tabla 3.2.10-55 y Figura 3.2.10-122 A). En relación a la Figura 3.2.10-122 B, se puede apreciar que la concentración promedio del Cu se mantiene relativamente similar entre las campañas evaluadas; los análisis estadísticos efectuados no arrojaron diferencias significativas para el promedio de Cu entre campañas (Prueba de Kruskal-Wallis, $X^2 = 1,5882$; $p = 0,6621$; ver Figura 3.2.10-122 B).

Dentro de los niveles internacionales de calidad de sedimentos respecto del cobre para proteger la vida marina, es posible indicar que la Guía Canadiense de Calidad de Sedimentos (CCME,

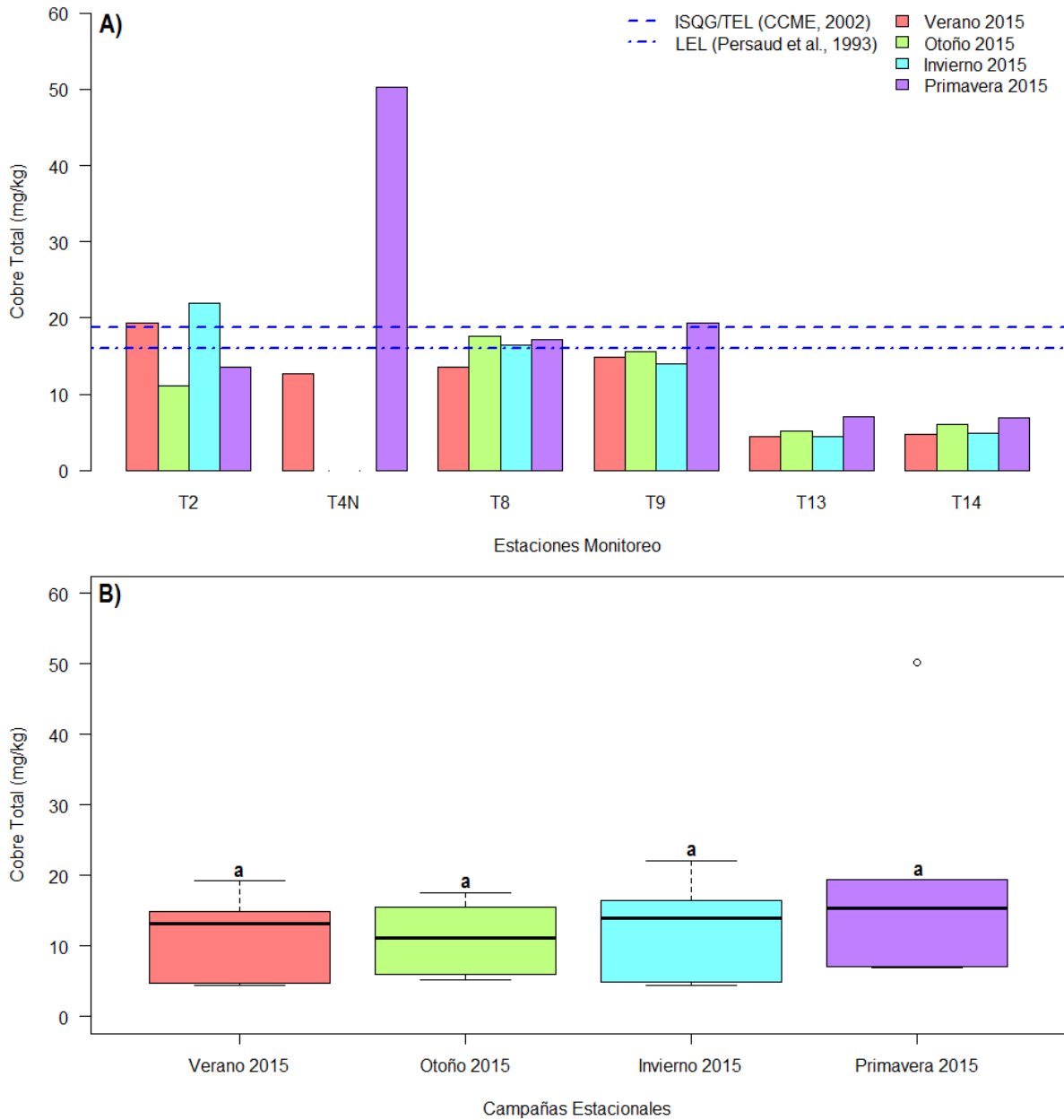
2002), ha establecido valores umbral (ISQG/TEL) y de efectos probables (PEL) de 18,7 y 108 mg Cu/kg, respectivamente; por su parte la Guía para la Protección y Manejo de Calidad de Sedimentos Acuáticos en Ontario (Persaud *et al.* 1993), ha establecido como límite de más bajo efecto (LEL) un valor de 16 ug/g (ppm) y como límite de efectos severos (SEL) una concentración de 110 ug/g (ppm). En consecuencia, con excepción de la concentración media de Cu informada para primavera 2015 (que presentó un promedio de 19 mgCu/kg), el resto de campañas presentaron concentración promedio intermareal bajo los umbrales de calidad referenciados. A nivel de puntual por transecto, es posible mencionar que siete (7) puntos de muestreo intermareales evaluados a lo largo de la Línea de Base marina (T2_{ver-inv}; T4_{pri}; T8_{oto-inv-pri} y T9_{pri}; Figura 3.2.10-122 A), presentaron un nivel superior al umbral LEL, mientras que cuatro (4) de ellos superaron el umbral ISQG/TEL (T2_{ver-inv}; T4_{pri} y T9_{pri}; Figura 3.2.10-122 A) Sin embargo, ninguno sobrepasó el valor umbral SEL o PEL, de efectos severos o probables sobre la biota, respectivamente.

Figura 3.2.10-121. (A) Concentración de Cromo total por punto de muestreo intermareal durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (± DS) por campaña de monitoreo (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas (α = 0,05)). Teck – QB2, 2015.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.2.10-122. (A) Concentración de Cobre total por punto de muestreo intermareal durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (\pm DS) por campaña de monitoreo (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.



Fuente: Elaboración propia.

– Hierro (Fe)

Durante las cuatro campañas de Línea de Base evaluadas en el presente estudio, las concentraciones de Fe en sedimentos intermareales exhibieron un patrón de distribución similar al cobre, el cual indica una disminución de sus valores desde T2 (playa Chanavayita) hacia T13 y T14 (playa Chauca), variando en términos absolutos entre 3.568 (0,3%) – 13.627 (1,3%) mg/kg, en los transectos T13_{ver} y T2_{inv}, respectivamente (ver Figura 3.2.10-123 A). A pesar de estas variaciones entre transectos y campañas evaluadas, no fue posible observar diferencias significativas entre la concentración promedio de este analito y las campañas estacionales (Prueba de Kruskal-Wallis, $X^2 = 0,52095$; $p = 0,9143$; más detalle ver Tabla 3.2.10-55 y Figura 3.2.10-123 B).

La Guía para la Protección y Manejo de Calidad de Sedimentos Acuáticos en Ontario, estableció como valores de calidad de sedimentos para el hierro, límites de 2% (20.000 mg/kg) como de más bajo efecto sobre la biota (LEL), y 4% (40.000 mg/kg) como límite de efectos severos (SEL; Persaud *et al.*, 1993), en consecuencia, ninguna concentración promedio por campaña ni tampoco concentraciones puntuales por transecto supera los valores de referencia de calidad consultados.

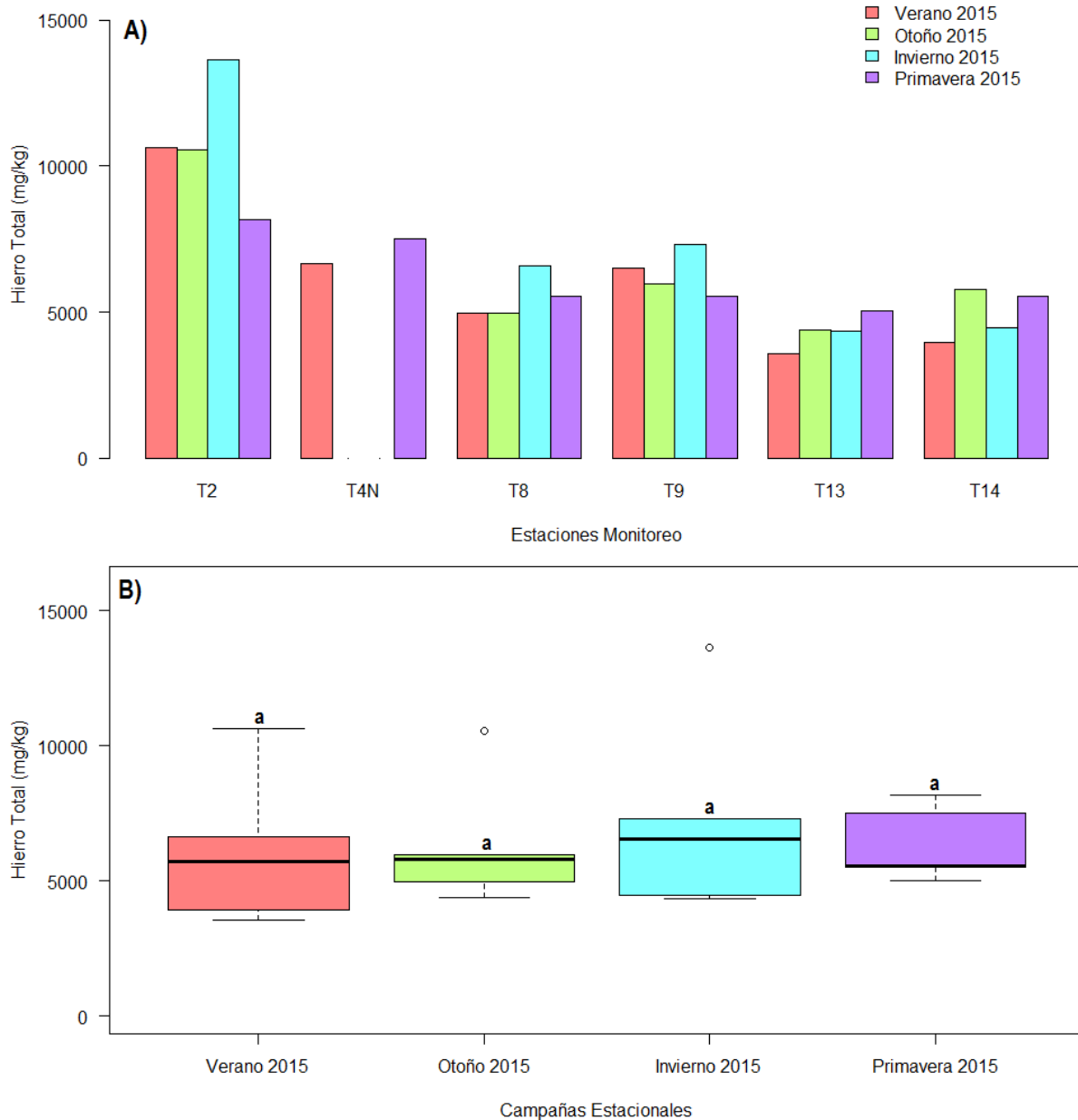
– Mercurio (Hg)

La concentración del mercurio total reportada en la presente línea de base, indica que la mayoría de las estaciones muestreadas durante las cuatro campañas estacionales, exhibe niveles bajo el límite de detección de la metodología empleada (< 0,025 mg/kg); sin embargo, durante la campaña de invierno 2015 se reportan tres (3) niveles cuantificables, correspondiendo éstos a T9 (0,031 mg/kg), T13 (0,042 mg/kg) y T14 (0,037 mg/kg; más detalle ver Tabla 3.2.10-55 y Figura 3.2.10-124 A), todos ellos emplazados hacia el sector sur del área costera evaluada.

Debido a lo anterior, se detectaron diferencias significativas en la concentración promedio de Hg entre las distintas campañas analizadas, siendo mayor durante el invierno 2015 (Prueba de Kruskal-Wallis, $X^2 = 11,202$; $p = 0,01068$; más detalle ver Tabla 3.2.10-55 y Figura 3.2.10-124 B).

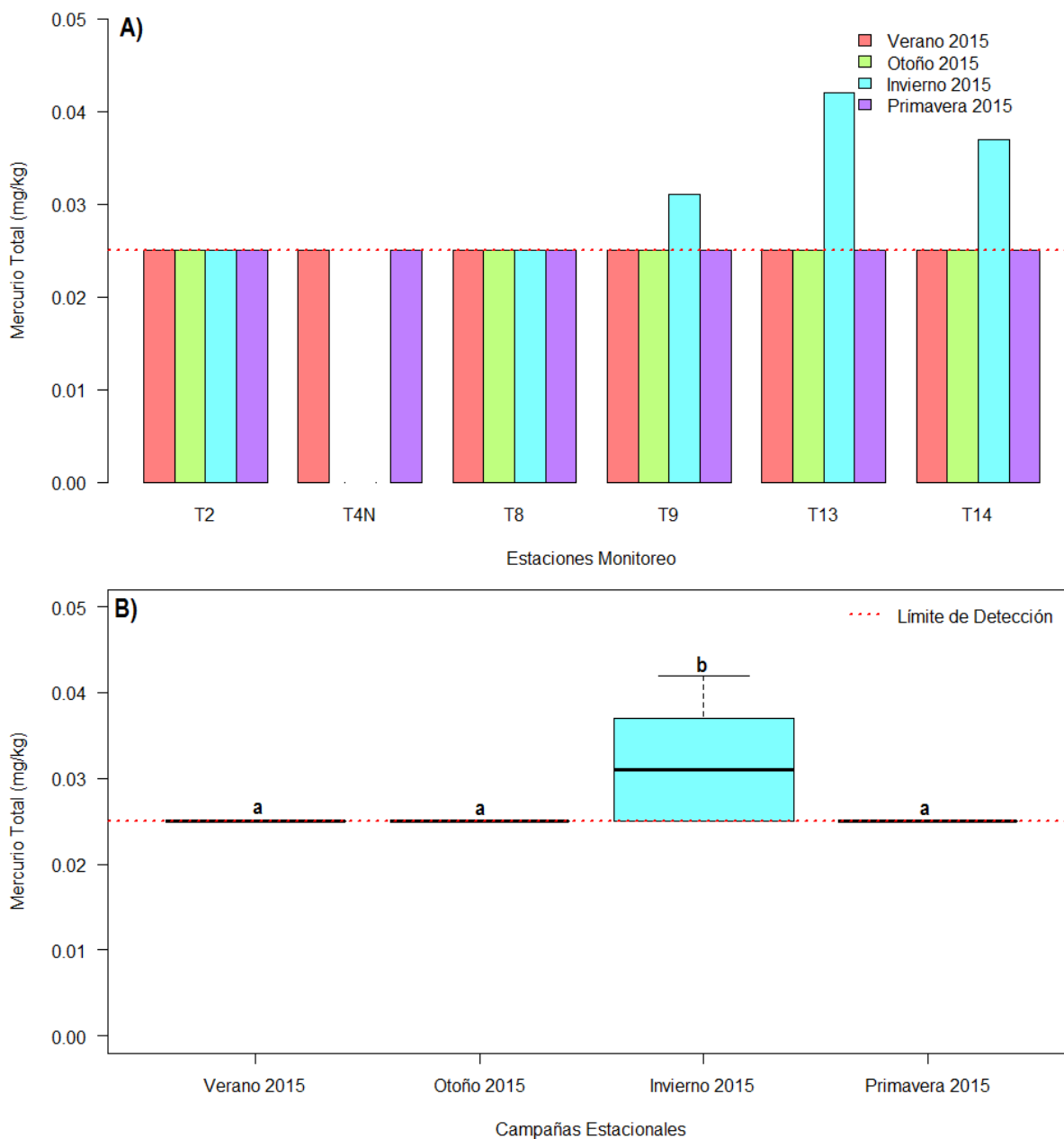
Dentro de los niveles internacionales de calidad de sedimentos respecto del mercurio para proteger la vida marina, es posible indicar que la Guía Canadiense de Calidad de Sedimentos (CCME, 2002), ha establecido valores umbral (ISQG/TEL) y de efectos probables (PEL) de 0,13 y 0,70 mgHg/kg, respectivamente; por su parte la Guía para la Protección y Manejo de Calidad de Sedimentos Acuáticos en Ontario (Persaud *et al.*, 1993), ha establecido como límite de más bajo efecto (LEL) un valor de 0,20 µg Hg/g (ppm) y como límite de efectos severos (SEL) una concentración de 2,0 µg Hg/g (ppm). En consecuencia, ninguna concentración promedio por campaña ni tampoco concentración puntual por transecto, sobrepasó dichos valores referenciales de calidad.

Figura 3.2.10-123. (A) Concentración de Hierro total por punto de muestreo intermareal durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (\pm DS) por campaña de monitoreo (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.2.10-124. (A) Concentración de Mercurio total por punto de muestreo intermareal durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (\pm DS) por campaña de monitoreo (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.



Fuente: Elaboración propia.

– Níquel (Ni)

La concentración de Ni durante las cuatro campañas de línea base presentó un comportamiento similar al mercurio, ya que solamente se reportan 3 transectos con valores cuantificables durante todo el período de estudio, correspondiendo estos a T2_{inv} (9,17 mg/kg), T13_{pri} (5,6 mg/kg) y T14_{pri} (5,97 mg/kg). Los registros restantes (transectos y campañas) exhibieron valores bajo el límite de detección de la metodología empleada (< 5 mg/kg; más detalle ver Tabla 3.2.10-55 y Figura 3.2.10-125 A).

Debido a la escasa variabilidad en la concentración de este analito durante todo el período de estudio, no se observaron diferencias significativas para el promedio del Ni entre las distintas campañas estacionales efectuadas en el ámbito de la presente Línea de Base (Prueba de Kruskal-Wallis, $\chi^2 = 3,5144$; $p = 0,3189$; más detalle ver Figura 3.2.10-125 B).

Dentro de los niveles internacionales de calidad de sedimentos respecto del níquel para proteger la vida marina, es posible indicar que la Guía para la Protección y Manejo de Calidad de Sedimentos Acuáticos en Ontario (Persaud *et al.*, 1993), ha establecido como límite de más bajo efecto (LEL) un valor de 16 $\mu\text{g Ni/g}$ (ppm), y como límite de efectos severos (SEL) una concentración de 75 $\mu\text{g Ni/g}$ (ppm). En consecuencia, ningún registro promedio (por campaña) ni puntual (por transecto) evaluado durante la presente Línea de Base, sobrepasó dichos valores referenciales de calidad.

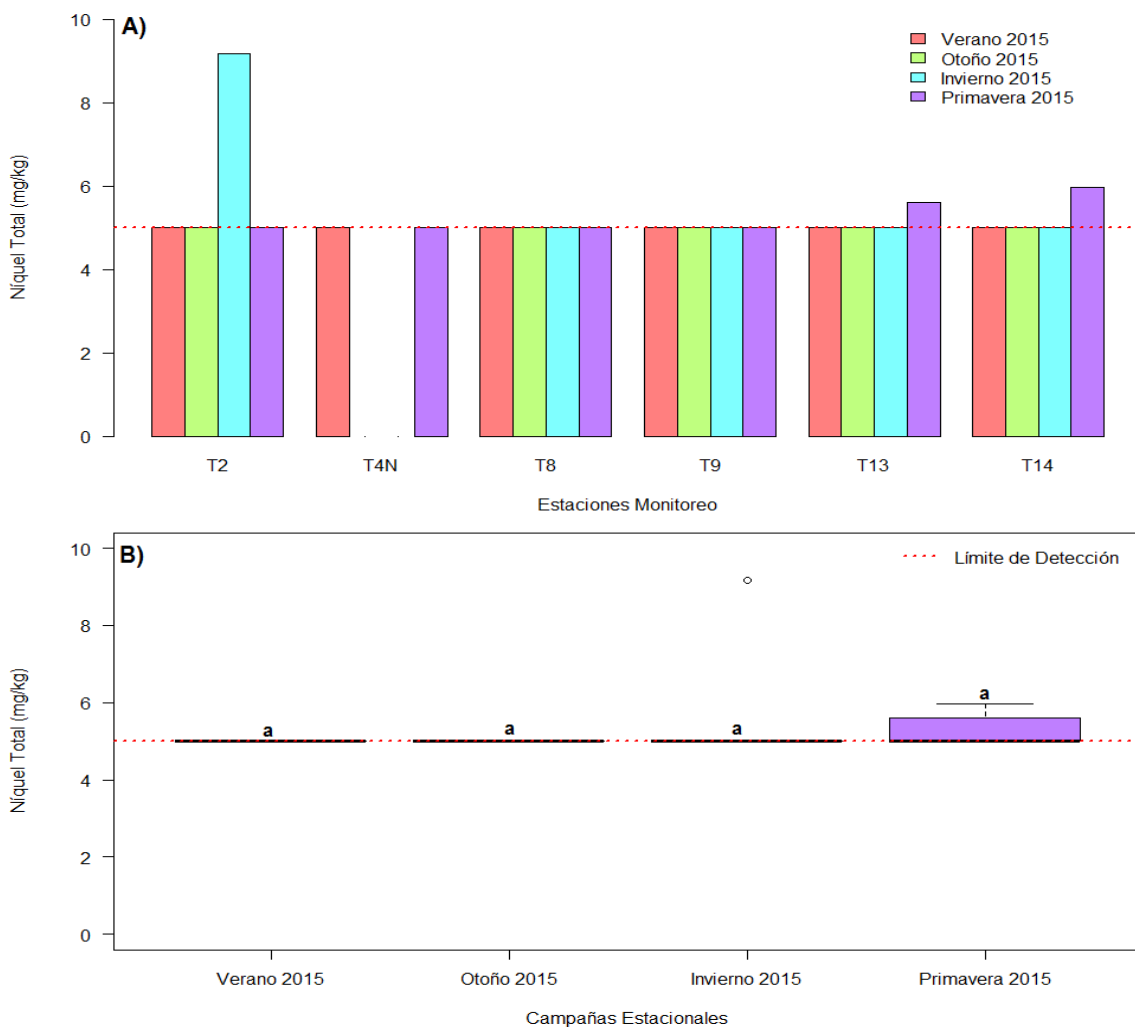
– Fósforo (P)

Los niveles de fósforo total en sedimentos intermareales reportados en el presente estudio, fluctuaron espacialmente entre transectos evaluados en cada campaña estacional, por ejemplo, fue posible apreciar una tendencia para la concentración diferencial de este analito, el cual tiende a aumentar desde los transectos ubicados al norte del área costera evaluada (T2 – playa Chanavayita) hacia los transectos dispuestos al sur del área (T13 y T14 – playa Chauca; más detalle ver Tabla 3.2.10-55 y Figura 3.2.10-126 A). Debido a esto, las mayores concentraciones del P en el área costera evaluada se reportaron en los transectos T13 y T14 durante la campaña de primavera 2015, con registros de 16.009 mg P/kg y 15.699 mg P/kg, respectivamente. Es probable que el guano depositado sobre la playa por centenares de aves migratorias que ocupan ese lugar para descansar y alimentarse tenga alguna relación con los niveles de este analito en playa Chauca, de esta forma aves como gaviotas garuma, rayadores, gaviotín de Franklin, entre otros, pueden aportar gran cantidad de desechos fosfatados al medio circundante (Anderson & Polis, 1999).

A pesar de observar algunas tendencias espaciales para la concentración del P en el área costera evaluada, no se pudieron apreciar éstas tendencias en términos temporales, motivo por el cual la concentración promedio de este analito no fue estadísticamente diferente entre las cuatro campañas estacionales analizadas (Prueba de ANOVA, $p = 0,226$; más detalle ver Figura 3.2.10-126 B).

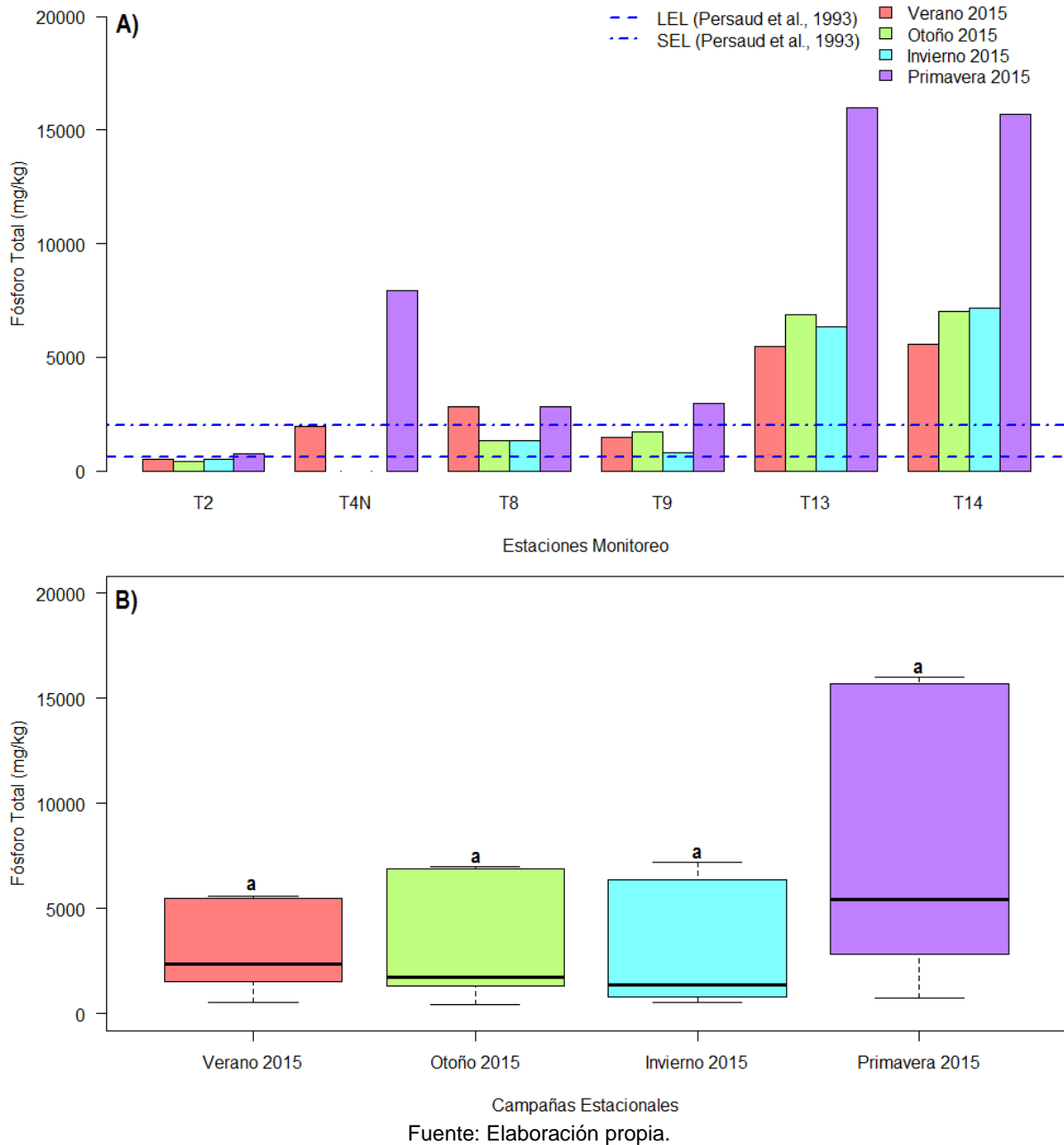
Dentro de los niveles internacionales de calidad de sedimentos respecto del fósforo total para proteger la vida marina, es posible indicar que la Guía para la Protección y Manejo de Calidad de Sedimentos Acuáticos en Ontario (Persaud *et al.*, 1993), ha establecido como límite de más bajo efecto (LEL) un valor de 600 µg P/g (ppm), y como límite de efectos severos (SEL) una concentración de 2.000 µg P/g (ppm). En consecuencia, con excepción de la concentración media de fósforo total informada para primavera 2015 (que presentó un promedio de 7.699 mg P/kg), el resto de campañas presentaron concentración promedio intermareal bajo los umbrales de calidad referenciados. A nivel puntual (por transecto), todos los puntos intermareales evaluados durante las cuatro campañas de Línea de Base (a excepción de T2) presentaron concentraciones que superaron el nivel LEL; mientras que los transectos T4_{pri}, T8_{ver-pri}, T9_{pri}, T13_{ver-oto-inv-pri} y T14_{ver-oto-inv-pri}, superaron el nivel SEL de efectos severos sobre la vida marina (ver Figura 3.2.10-126 A).

Figura 3.2.10-125. (A) Concentración de Níquel total por punto de muestreo intermareal durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (± DS) por campaña de monitoreo (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas (α = 0,05)). Teck – QB2, 2015.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.2.10-126. (A) Concentración de Fósforo total por punto de muestreo intermareal durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (\pm DS) por campaña de monitoreo (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.

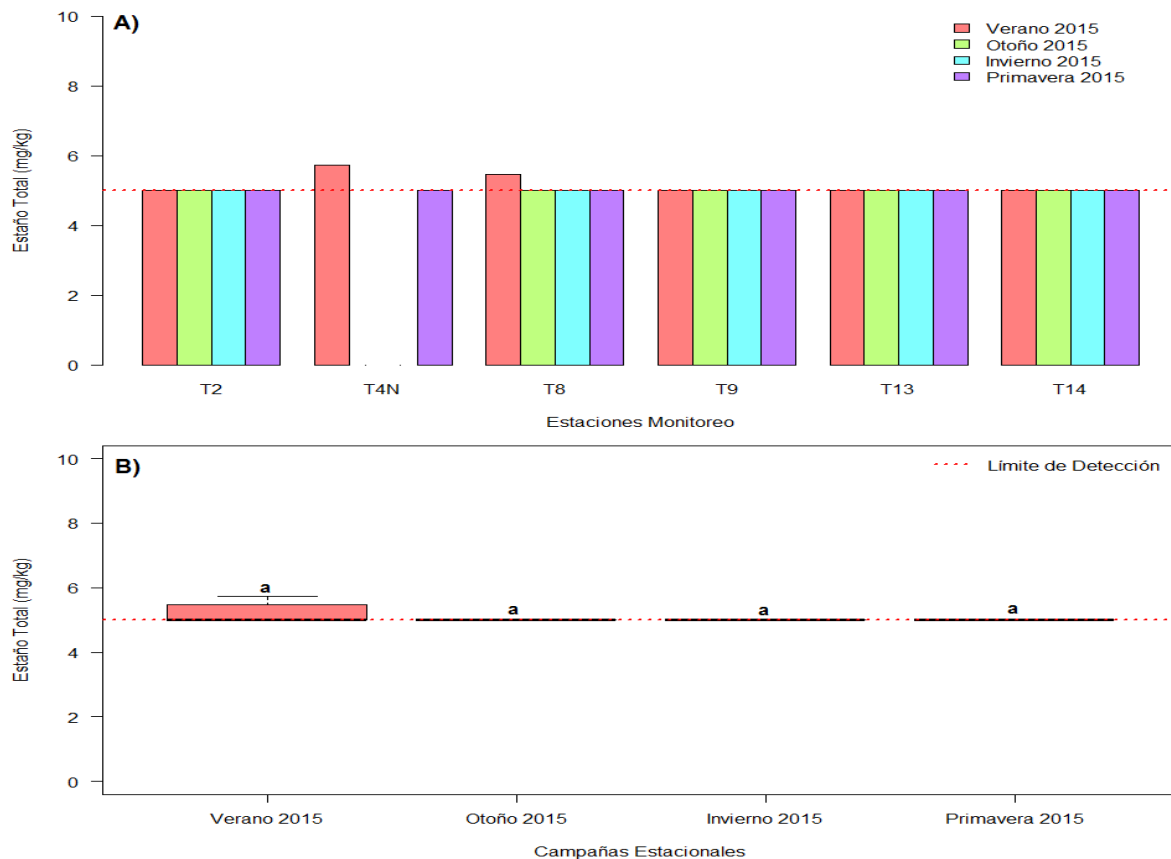


– Estaño (Sn)

La concentración de Sn en los sedimentos intermareales del área costera evaluada, presentó en la mayoría de las estaciones y campañas analizadas valores bajo el límite de detección de la metodología empleada (< 5,0 mg/kg), a excepción de los transectos T4 y T8 durante el verano 2015, donde se exhibieron registros de 5,73 mg/kg y 5,47 mg/kg, respectivamente (más detalle ver Tabla 3.2.10-55 y Figura 3.2.10-127 A).

No se apreciaron diferencias significativas en la concentración promedio de este analito entre las distintas campañas estacionales evaluadas (Prueba de Kruskal-Wallis, $\chi^2 = 5,5873$; $p = 0,1335$). Este elemento no presenta valores de referencia en la normativa consultada.

Figura 3.2.10-127. (A) Concentración de Estaño total por punto de muestreo intermareal durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (\pm DS) por campaña de monitoreo (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.



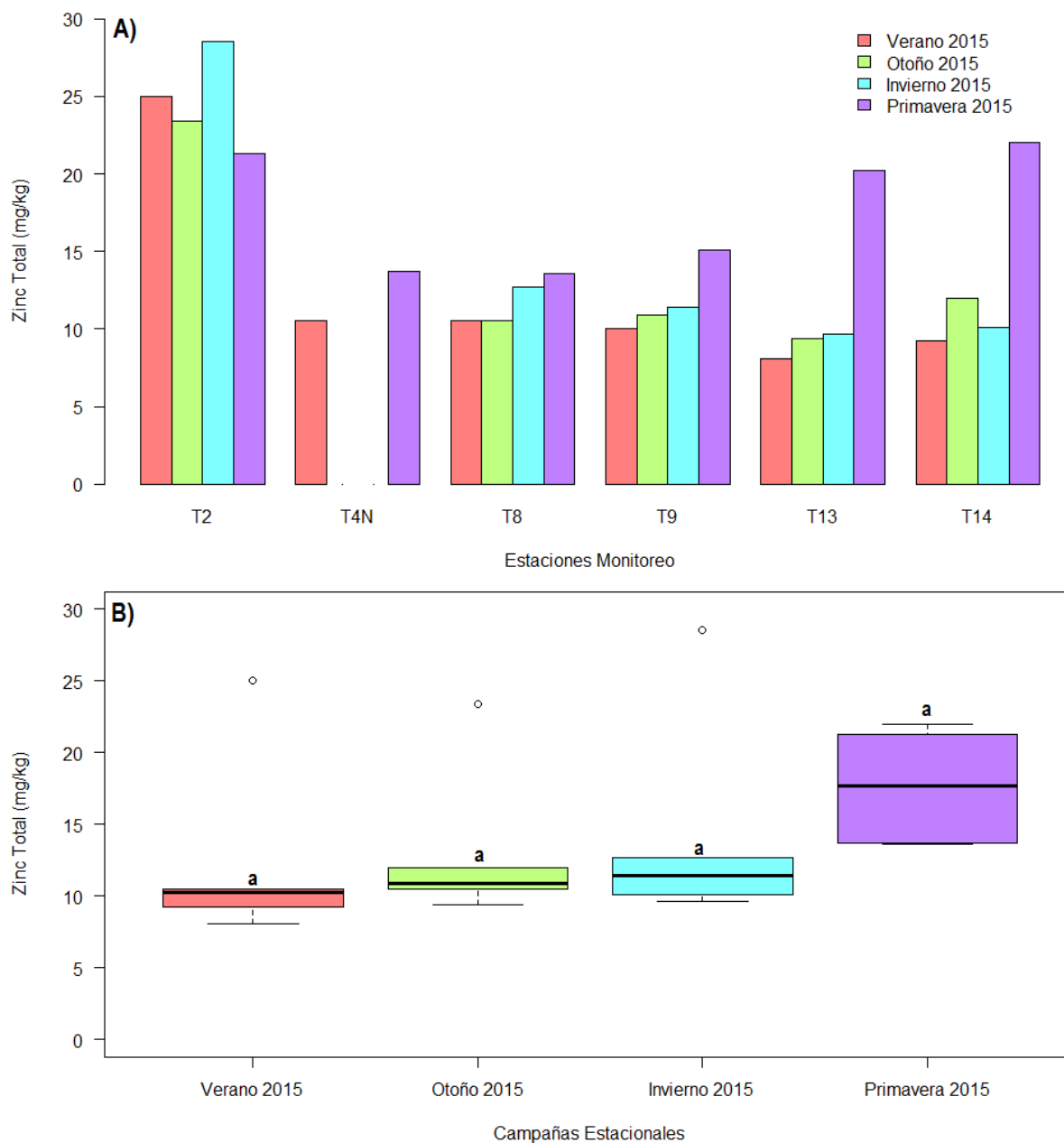
Fuente: Elaboración propia.

– Cinc (Zn)

En el ambiente intermareal bajo del área costera evaluada, el Zn mostró un rango absoluto de variación entre 8,09 – 28,50 mg/kg entre los transectos T13_{ver} y T2_{inv}, respectivamente (ver Figura 3.2.10-128 A), registrándose un promedio para el verano de 12,22 ± 6,33 mg/kg; en otoño de 13,24 ± 5,76 mg/kg; en invierno de 14,47 ± 7,93 mg/kg y en primavera de 17,65 ± 3,93 mg/kg. La concentración de este analito se mantuvo constante en la mayoría de los transectos evaluados, y con el máximo para cada campaña reportado en T2 (más detalle ver Tabla 3.2.10-55 y Figura 3.2.10-128 A). En términos estacionales, la concentración promedio del cinc durante la primavera fue levemente mayor que lo observado para las campañas de verano, otoño e invierno 2015; sin embargo, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas (Prueba de Kruskal-Wallis, $X^2 = 5,9542$; $p = 0,1139$; ver Figura 3.2.10-128 B).

Dentro de los niveles internacionales de calidad de sedimentos respecto del cinc para proteger la biota marina, es posible indicar que la Guía Canadiense de Calidad de Sedimentos (CCME, 2002), ha establecido valores umbral (ISQG/TEL) y de efectos probables (PEL) de 124 y 271 mg Zn/kg, respectivamente; por su parte la Guía para la Protección y Manejo de Calidad de Sedimentos Acuáticos en Ontario (Persaud *et al.*, 1993), ha establecido como límite de más bajo efecto (LEL) un valor de 120 µg Zn/g (ppm) y como límite de efectos severos (SEL) una concentración de 820 µg Zn/g (ppm). En consecuencia, ninguna concentración promedio por campaña ni tampoco puntual (por transecto), sobrepasó dichos valores referenciales de calidad.

Figura 3.2.10-128. (A) Concentración de Zinc total por punto de muestreo intermareal durante las cuatro campañas estacionales; y (B) concentración promedio (\pm DS) por campaña de monitoreo (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.



Fuente: Elaboración propia.

e) Granulometría y M.O.T. en sedimentos intermareales

– Granulometría

El comportamiento estacional de las propiedades texturales (Wenworth, 1922) de los sedimentos intermareales de las cuatro playas evaluadas en el área de estudio, mostró en términos generales la predominancia porcentual de la componente arena en sus distintas fracciones (desde arena muy gruesa hasta arena muy fina), en los tres niveles mareales (alto, medio bajo), durante las cuatro campañas estacionales, y con porcentajes superiores al 90% en la mayoría de los puntos de muestreo (ver Anexo 3.2.10-3).

La excepción a esta tendencia se registró principalmente en los transectos T1, T2 y T3 emplazados en playa Chanavayita, donde la componente arena alcanza valores menores y la componente grava adquiere mayor importancia relativa y superándola en algunos puntos de muestreo (por ejemplo, $T3_{\text{medio}}$ en verano e invierno, $T1_{\text{Bajo}}$ durante otoño, y $T2_{\text{Bajo}} - T3_{\text{superior y medio}}$ en primavera, todas ellas con aporte relativo superior al 50%. Producto de esta condición, la playa de Chanavayita registró un diámetro medio preferentemente clasificado en la categoría de arenas gruesas y muy gruesas en los tres niveles mareales durante todo el periodo de estudio (cuatro campañas estacionales), en torno al cual se apreció un amplio rango de dispersión pues los valores de desviación estándar en torno dicho tamaño medio, como medida del grado de selección, se clasificaron preferentemente como moderadamente seleccionada durante las primeras tres campañas estacionales (verano, otoño e invierno), y pobremente seleccionadas durante la primavera.

La playa de Bahía Patillo (transectos T4, T5 y T6, ubicados al norte del actual proyecto), solo pudo ser evaluada en las condiciones estacionales de verano y primavera 2015 pues en otoño e invierno la playa se modificó en términos morfológicos desapareciendo el material sedimentario dando lugar a un sustrato conformado principalmente por piedras y bolones. En verano y primavera la clasificación textural de esos sedimentos intermareales presentó predominancia porcentual de las fracciones más finas de las arenas lo que condicionó que su diámetro medio fuese preferentemente categorizado como arena fina en la gran mayoría de los puntos de muestreo en los tres niveles mareales de estos transectos, en torno al cual se apreció un bajo nivel de dispersión ya que el *sorting* o grado de selección calculado fue en general moderadamente bien seleccionado.

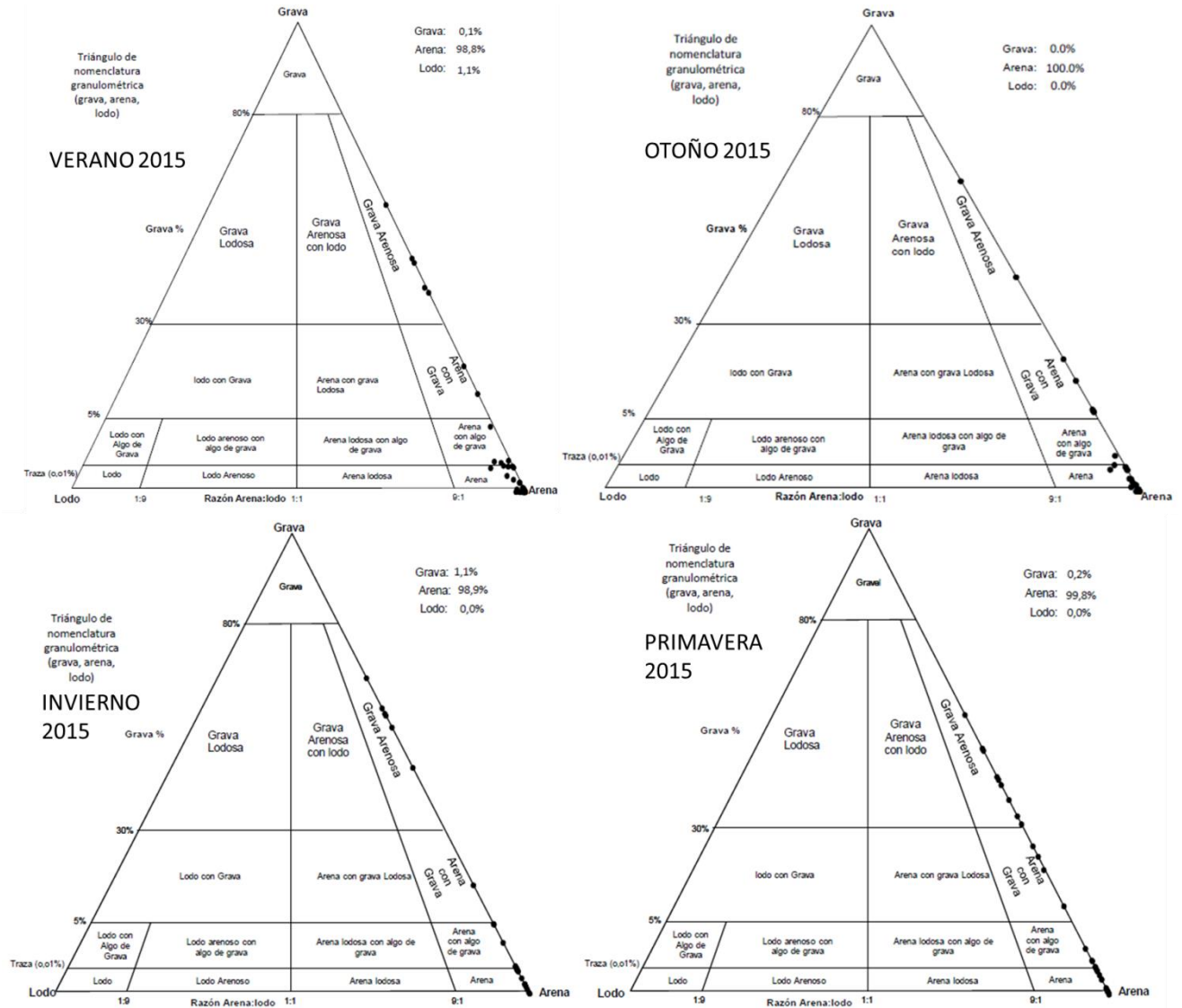
Respecto de playa de caleta Cádiz (transectos T7, T8 y T9), durante las campañas de verano, otoño e invierno, el diámetro medio de grano varió entre arena media y arena fina en todas las estaciones y niveles mareales, y un grado de selección entre moderadamente seleccionado y moderadamente bien seleccionado. En primavera sin embargo, los sedimentos intermareales de Cádiz mostraron una mayor fluctuación del diámetro medio y *sorting* con presencia de arenas finas, medias, gruesas y muy gruesas, entre pobremente seleccionadas y moderadamente bien seleccionadas.

Playa Chauca por su parte (transectos desde T10 hasta T15), registró un diámetro medio de grano de arena fina en la casi totalidad de niveles mareales y transectos evaluados durante las cuatro campañas estacionales, en torno al cual se apreció un bajo rango de dispersión pues los valores de desviación estándar en torno al tamaño medio del grano, como medida del grado de selección, se clasificaron preferentemente como bien seleccionados, es decir, el tamaño medio es representativo de las muestras colectadas en esta playa.

La fracción limo-arcilla (fango) estuvo escasamente representada en los fondos sedimentarios de las cuatro playas, alcanzando por lo general porcentajes menores que 1% en la casi totalidad de transectos y niveles mareales evaluados durante todo el periodo de estudio; el máximo puntual de fango fue de 3,73% en el nivel bajo del transecto T9 durante la campaña estival 2015.

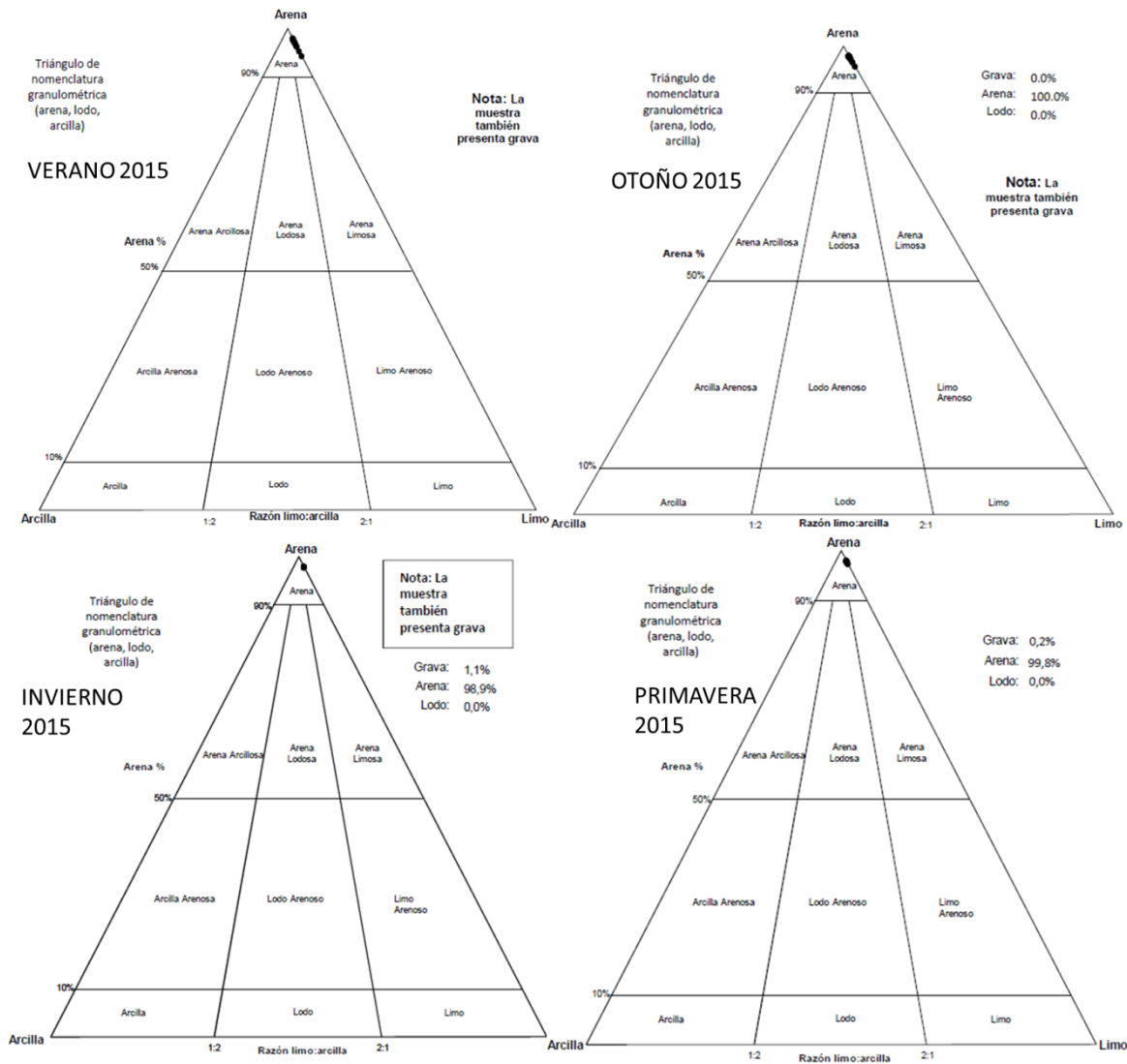
Por otra parte, al realizar un análisis de proporción de clases granulométricas, empleado para ello los diagramas de clasificación textural según metodología de Folk (Diagrama triangular de grava-lodo-arena (GLA) y arena-arcilla-limo (AAL); Folk,1954); Figura 3.2.10-129 y Figura 3.2.10-130), permite corroborar la importancia de la fracción arena lo largo de las cuatro campañas estacionales, junto con la importancia relativa de la componente grava solo en algunos puntos de muestreo (fracción relevante principalmente en el nivel bajo de los transectos T1, T2 y T3 de playa Chanavayita), y la casi nula presencia de la fracción fango (limo-arcilla), pues durante las cuatro campañas las estaciones se clasifican preferentemente en las categorías arena, arena con algo de grava, y arena con grava según el diagrama GLA (Figura 3.2.10-129), y en la categoría arenas según el diagrama AAL (Figura 3.2.10-129).

Figura 3.2.10-129. Triángulo de composición textural de grava, lodo, arena (GLA) y Triángulo de composición textural de arena, arcilla, limo (AAL). Panel superior: Verano y otoño 2015; Panel inferior: invierno y primavera 2015. Teck – QB2.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.2.10-130. Triángulo de la composición textural de grava, lodo, arena (GLA) y Triángulo de la composición textural de arena, arcilla, limo (AAL). Panel superior: Verano y otoño 2015; Panel inferior: invierno y primavera 2015. Teck – QB2.



Fuente: Elaboración propia.

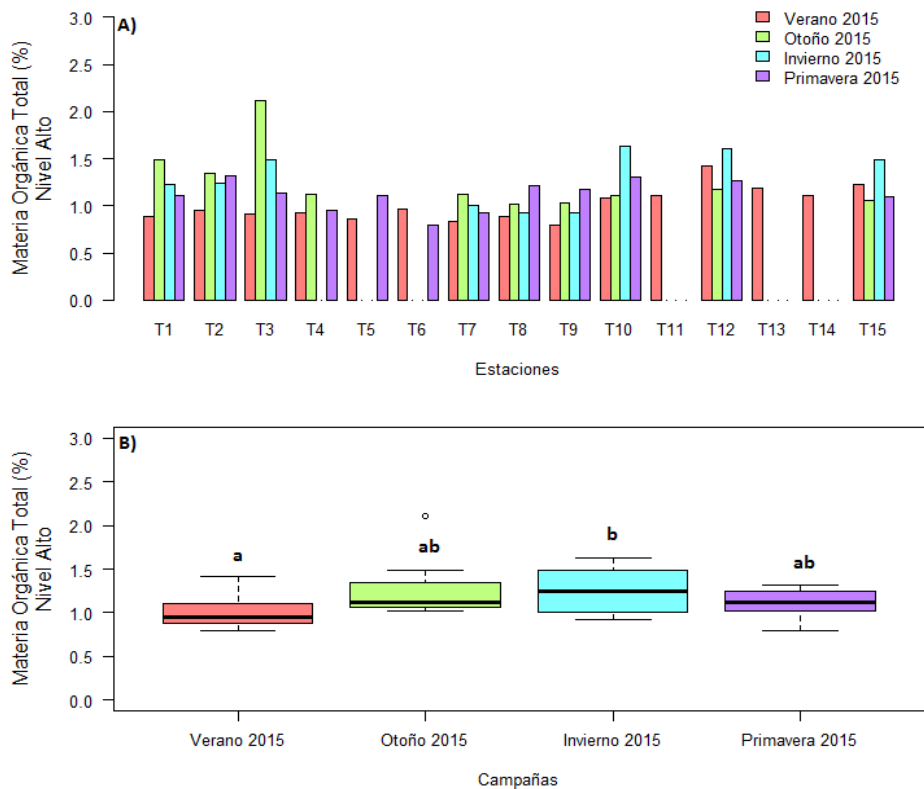
– Materia Orgánica Total (M.O.T.)

En el nivel intermareal alto (Figura 3.2.10-131), el promedio de M.O.T. entre campañas estacionales fue en verano de $1,01 \pm 0,17\%$ y variando entre 0,8 (T9) – 1,42% (T12); en otoño promedió $1,26 \pm 0,33\%$ fluctuando en términos absolutos entre 1,02 (T8) y 2,11% (T3); en invierno el promedio fue $1,28 \pm 0,28\%$ (variando entre 0,92 y 1,63% en T9 y T10, respectivamente); y finalmente en primavera fue $1,12 \pm 0,16\%$ variando entre 0,8 y 1,32% en

T6 y T2, respectivamente. Se observaron diferencias significativas entre campañas estacionales (Test de Kruskal Wallis, $p=0,02405$), donde el promedio de invierno fue estadísticamente superior al registrado en verano (Test de comparaciones múltiples de Dunn, $p= 0,041$).

En términos espaciales para este nivel mareal alto, y considerando la totalidad de transectos por cada playa evaluada, es posible determinar que el contenido promedio de M.O.T. mostró una mayor representatividad porcentual en Playa Chanavayita (T1, T2 y T3) y Playa Chauca (desde T10 hasta T15), con $1,27 \pm 0,34\%$ y $1,26 \pm 0,19\%$, respectivamente; promedios menores se registraron en Palaya Patillo (T4, T5 y T6) con $0,96 \pm 0,12\%$, y playa Cñaño (T7, T8 y T9) con $0,99 \pm 0,13\%$.

Figura 3.2.10-131. Porcentaje de M.O.T. en sedimentos del nivel intermareal alto. Se detallan los resultados individuales por transecto (A), y el promedio por campaña estacional (B). Teck – QB2, 2015.



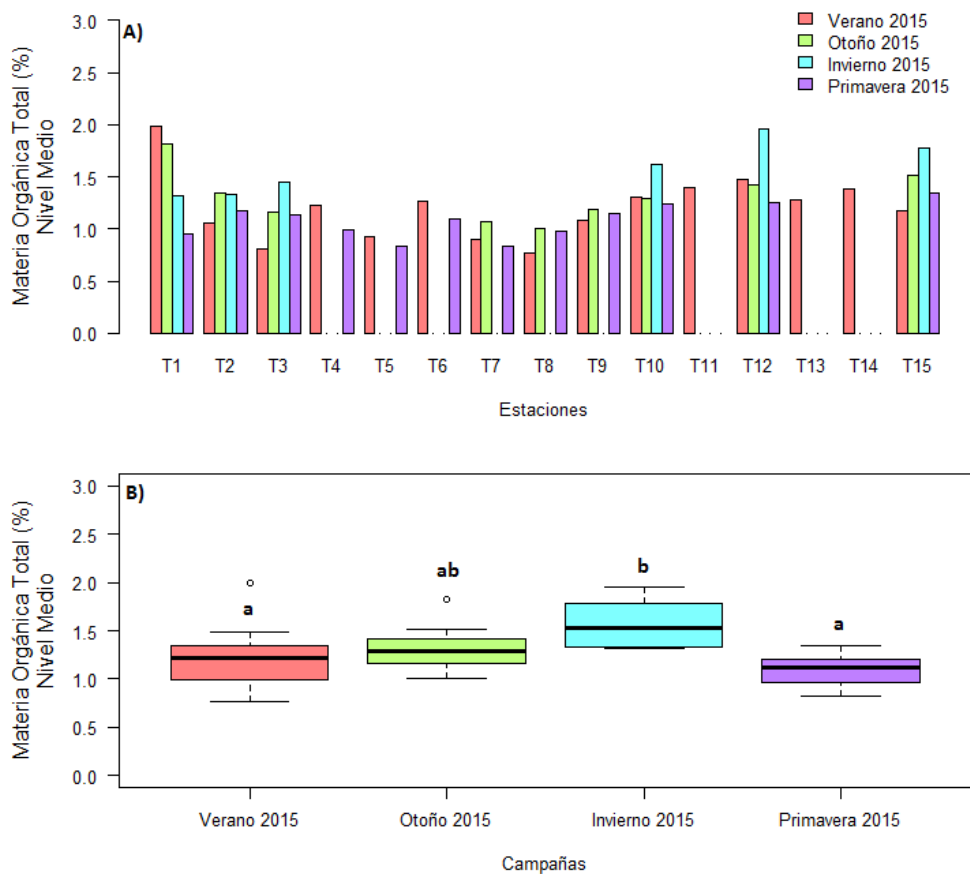
Fuente: Elaboración propia.

En el nivel intermareal medio (Figura 3.2.10-132), el promedio de M.O.T. entre campañas estacionales fue en verano de $1,20 \pm 0,31\%$ y variando entre 0,8 (T8) – $1,42\%$ (T1); en otoño promedió $1,31 \pm 0,25\%$ fluctuando en términos absolutos entre 1,0 (T8) y $1,82\%$ (T1); en invierno el promedio fue $1,58 \pm 0,26\%$ (variando entre 1,32 y $1,96\%$ en T1 y T12,

respectivamente); y finalmente en primavera fue $1,08 \pm 0,16\%$ variando entre 0,83 y 1,35% en T7 y T15, respectivamente. Se observaron diferencias significativas entre campañas estacionales (Test de ANOVA, $p=0,00356$), donde el promedio de invierno fue estadísticamente superior al registrado en verano y primavera (Test de comparaciones múltiples de Tukey; $p=0,02135$ (verano); $p=0,00224$ (primavera)).

En términos espaciales para este nivel mareal medio, y considerando la totalidad de transectos por cada playa evaluada, es posible determinar que el contenido promedio de M.O.T. mostró una mayor representatividad porcentual en Playa Chanavayita (T1, T2 y T3) y Playa Chauca (desde T10 hasta T15), con $1,30 \pm 0,34\%$ y $1,43 \pm 0,22\%$, respectivamente; promedios menores se registraron en Palaya Patillo (T4, T5 y T6) con $1,06 \pm 0,17\%$, y playa Cñaamo (T7, T8 y T9) con $1,0 \pm 0,14\%$.

Figura 3.2.10-132. Porcentaje de M.O.T. en sedimentos del nivel intermareal medio. Se detallan los resultados individuales por transecto (A), y el promedio por campaña estacional (B). Teck – QB2, 2015.

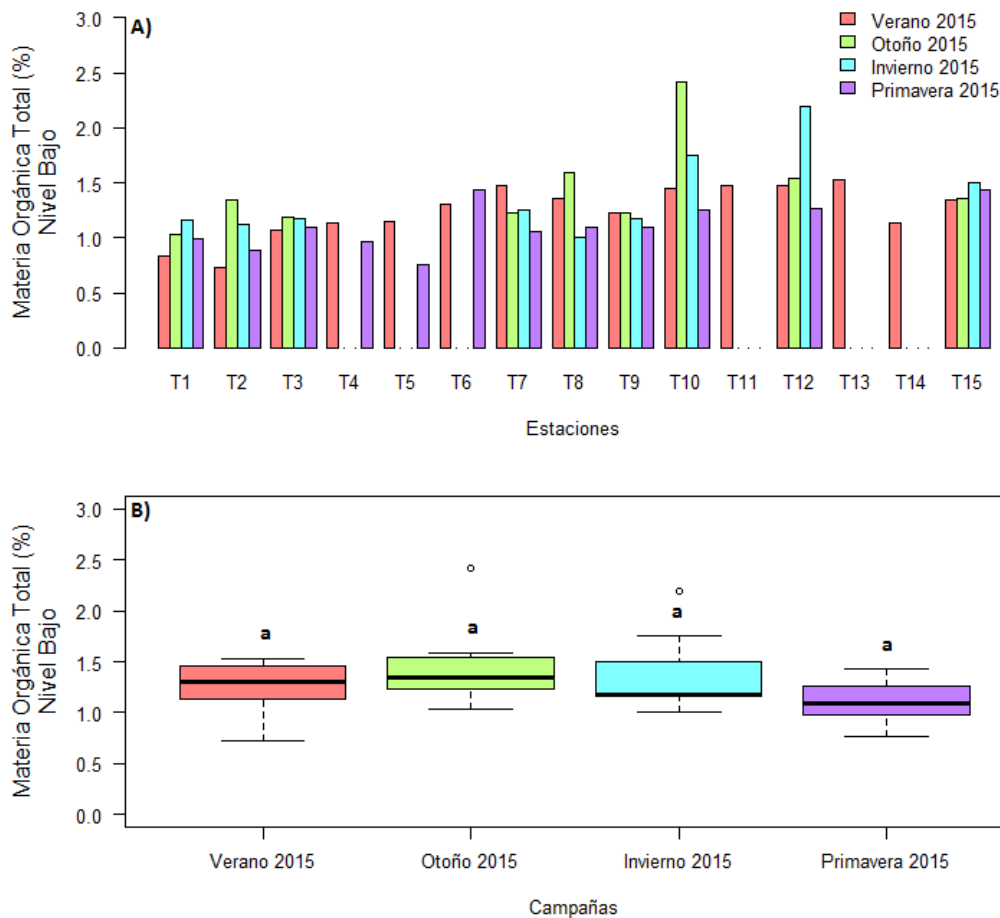


Fuente: Elaboración propia.

En el nivel intermareal bajo (Figura 3.2.10-133), el promedio de M.O.T. entre campañas estacionales fue en verano de $1,25 \pm 0,24\%$ y variando entre $0,73$ (T2) – $1,53\%$ (T13); en otoño promedió $1,44 \pm 0,41\%$ fluctuando en términos absolutos entre $1,03$ (T1) y $2,42\%$ (T10); en invierno el promedio fue $1,37 \pm 0,38\%$ (variando entre $1,01$ y $2,2\%$ en T8 y T12, respectivamente); y finalmente en primavera fue $1,11 \pm 0,20\%$ variando entre $0,76$ y $1,43\%$ en T5 y T6-T15, respectivamente. No se observaron diferencias significativas entre campañas estacionales (Test de Kruskal Wallis, $p=0,07556$).

En términos espaciales para este nivel mareal bajo, y considerando la totalidad de transectos por cada playa evaluada, es posible determinar que el contenido promedio de M.O.T. mostró una mayor representatividad porcentual en playa Chauca con $1,54 \pm 0,35\%$, seguido de Cádiz con $1,23 \pm 0,17\%$, playa Patillo con $1,13 \pm 0,24\%$ y finalmente playa Chanavayita con $1,05 \pm 0,17\%$.

Figura 3.2.10-133. Porcentaje de M.O.T. en sedimentos del nivel intermareal bajo. Se detallan los resultados individuales por transecto (A), y el promedio por campaña estacional (B). Teck – QB2, 2015.



Fuente: Elaboración propia.

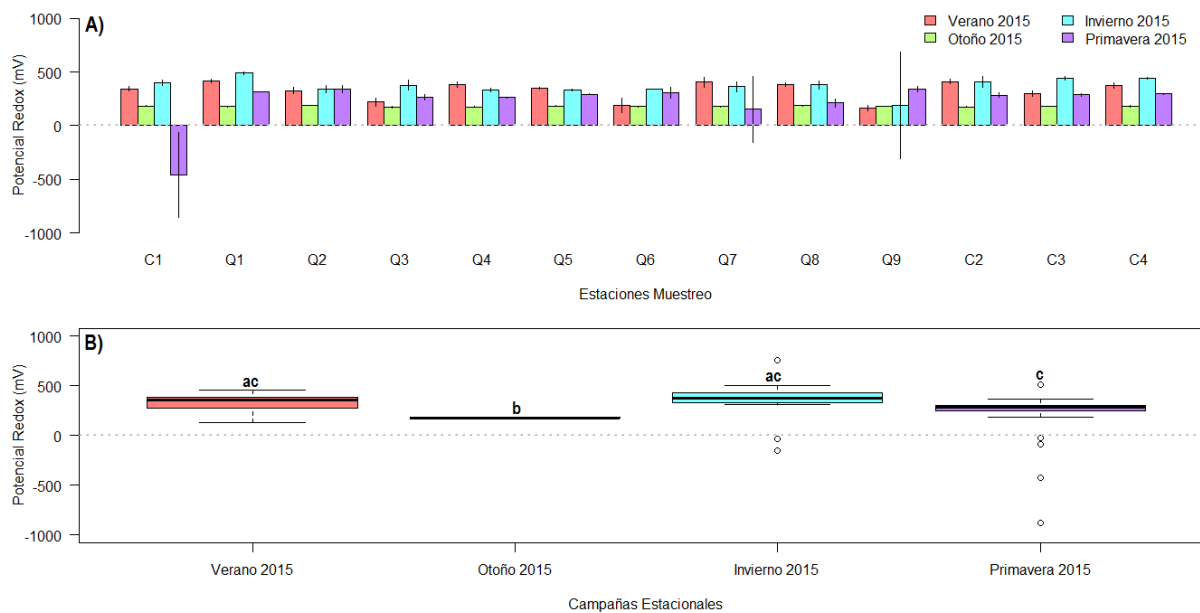
f) Calidad química de los sedimentos submareales

f.1) Mediciones *in situ*• Potencial Redox_{NHE} (mV)

Las mediciones del Potencial Redox (NHE) en el área costera evaluada durante las cuatro campañas estacionales de Línea de Base, presentaron un comportamiento irregular sin un patrón evidente en términos espaciales ni temporales (entre campañas), no obstante, prevalecieron los promedios positivos de esta variable en la casi totalidad de estaciones de muestreo, registrándose promedios negativos solo en la estación C1 durante la primavera (en cada estación se obtuvieron 3 registros para la obtención del promedio a lo largo del presente estudio). El rango absoluto de variación del promedio de esta variable por estación de muestreo en el total de campañas estacionales efectuadas fluctuó entre $-462,00 \pm 227,54$ mV en C1 durante la campaña de primavera; y $490,77 \pm 7,82$ mV en Q1 durante el invierno del 2015 (más detalle ver Figura 3.2.10-134 A).

Los registros promedio de Potencial Redox agrupados por campañas de monitoreo permiten establecer un rango de variación entre $371 \pm 138,2$ mV en la campaña estival y $179,8 \pm 5,56$ mV en otoño; las pruebas estadísticas efectuadas establecen que las variaciones de los registros promedio de esta variable muestran diferencias significativas (Prueba de Kruskal-Wallis; $\chi^2 = 74,787$; $p = 4,024e-16$), siendo menores en otoño y significativamente mayores en invierno y verano (Prueba de comparaciones múltiples de Dunn, $p < 0,002$); más detalle ver Figura 3.2.10-134 B).

Figura 3.2.10-134. Registros promedio (± DS) de potencial redox por estaciones de muestreo (panel A), y entre campañas estacionales (panel B). Teck – QB2, 2015.



Fuente: Elaboración propia.

- Analitos informados por laboratorio analítico (ALS Patagonia S.A.)

La Tabla 3.2.10-56 muestra la estadística básica de la caracterización química de los sedimentos submareales del área costera evaluada durante las cuatro (4) campañas estacionales de Línea de Base. Conforme a dichos antecedentes, veinticuatro (24) de los cincuenta y ocho (58) analitos evaluados por este laboratorio exhibieron niveles no detectables en todas las campañas y en la totalidad de las estaciones muestreadas, es decir, presentaron registros bajo el límite de detección (< L.D.) de las respectivas metodologías aplicadas. Estos analitos fueron los siguientes: 2 metilnaftaleno (< 0,05 mg/kg), acenafteno (< 0,05 mg/kg), acenaftileno (< 0,05 mg/kg), acridina (< 0,05 mg/kg), antraceno (< 0,05 mg/kg), benzo (a) antraceno (< 0,05 mg/kg), benzo (b) pireno (< 0,05 mg/kg), benzo (b) fluoranteno (< 0,05 mg/kg), benzo (g,h,i) perileno (< 0,05 mg/kg), benzo (k) fluoranteno (< 0,05 mg/kg), criseno (< 0,05 mg/kg), dibenzo (a) antraceno (< 0,05 mg/kg), F2 C10-C16 (< 0,05 mg/kg), fenantreno (< 0,05 mg/kg), fluoranteno (< 0,05 mg/kg), fluoreno (< 0,05 mg/kg), indeno (123-cd) pireno (< 0,05 mg/kg), naftaleno (< 0,05 mg/kg), pireno (< 0,05 mg/kg), quinolina (< 0,05 mg/kg), plata (< 2 mg/kg), molibdeno (< 4 mg/kg), plomo (< 30 mg/kg) y antimonio (< 10 mg/kg).

En los casos anteriormente descritos, con registros de analitos bajo el L.D. (“<”), los valores tabulados se muestran con sus respectivos límites de detección para cada elemento, y no serán representados gráficamente debido a que no presentan variabilidad (más detalle ver Tabla 3.2.10-56).

Tabla 3.2.10-56. Estadística básica de la calidad química de los sedimentos marinos submareales. Todas las concentraciones expresadas en mg/kg con excepción del carbono (inorgánico, orgánico y total) que están expresadas en porcentaje Teck – QB2, 2015.

Estadígrafo	2 Metilnaftaleno	Acenafteno	Acenaftileno	Acridina	Antraceno	Azufre - Sulfuro Calculado	Azufre Total	Benzeno (a) antraceno	Benzo (a) Pireno	Benzo (b) Fluoranteno	Benzo (ghi) perileno	Benzo (k) Fluoranteno	Carbono Inorgánico	Carbono Orgánico total	Carbono Total
Campaña Verano															
Promedio	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	2.425	2.900	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	7,39	1,64	9,04
Desvest	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	555	631	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50	0,65	1,95
Min	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	1.505	1.800	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	4,41	0,82	5,20
Max	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	3.435	4.100	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	9,60	3,29	11,80
Campaña Otoño															
Promedio	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	2.164	2.631	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	7,02	1,05	8,08
Desvest	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	418	470	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,69	0,43	1,92
Min	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	1.297	1.700	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	3,59	0,17	3,80
Max	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	2.619	3.100	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	9,10	1,83	10,50
Campaña Invierno															
Promedio	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	915	1.377	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	8,37	1,70	6,67
Desvest	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	425	442	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,88	0,34	1,88
Min	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	454	1.000	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	5,40	1,30	3,19
Max	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	1.715	2.200	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	11,70	2,51	9,86
Campaña Primavera															
Promedio	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	1.030	1.415	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	6,99	1,15	8,15
Desvest	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	385	406	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,61	0,38	1,86
Min	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	316	700	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	3,47	0,47	4,00
Max	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	1.963	2.400	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	9,33	1,70	10,4

(Continuación Tabla 3.2.10-56)

Estadígrafo	Criseno	Cromo VI	Dibenzo (a) antraceno	F2 C10-C16	F3 C16-C34	Fenantreno	Fluoranteno	Fluoreno	Indeno (123-cd) pireno	Naftaleno	Pireno	quinolina	Sulfato-S Disponible	Aluminio. Total (Al)	Antimonio. Total (Sb)
Campaña Verano															
Promedio	<0,05	0,11	<0,05	<50	61	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	475	5.318	<10
Desvest	0,00	0,03	0,00	0	18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	101	2.671	0
Min	<0,05	0,10	<0,05	<50	50	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	295	1.285	<10
Max	<0,05	0,18	<0,05	<50	111	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	665	11.709	<10
Campaña Otoño															
Promedio	<0,05	0,10	<0,05	<50	<50	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	467	3.095	<10
Desvest	0,00	0,01	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	82	1.227	0
Min	<0,05	0,10	<0,05	<50	<50	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	285	1.279	<10
Max	<0,05	0,13	<0,05	<50	<50	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	579	5.326	<10
Campaña Invierno															
Promedio	<0,05	0,16	<0,05	<50	<50	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	462	3.201	<10
Desvest	0,00	0,13	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	104	2.732	0
Min	<0,05	0,10	<0,05	<50	<50	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	287	< 50	<10
Max	<0,05	0,55	<0,05	<50	<50	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	612	10.892	<10
Campaña Primavera															
Promedio	<0,05	0,12	<0,05	<50	<50	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	385	3.017	<10
Desvest	0,00	0,05	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	71	2.027	0
Min	<0,05	< 0,1	<0,05	<50	<50	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	278	391,2	<10
Max	<0,05	0,27	<0,05	<50	<50	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	520	6.346	<10

(Continuación Tabla 3.2.10-56)

Estadígrafo	Arsénico. Total (As)	Bario. Total (Ba)	Berilio. Total (Be)	Bismuto. Total (Bi)	Cadmio. Total (Cd)	Calcio. Total (Ca)	Cobalto. Total (Co)	Cobre. Total (Cu)	Cromo. Total (Cr)	Estaño. Total (Sn)	Estroncio. Total (Sr)	Fosforo. Total (P)	Hierro. Total (Fe)	Litio. Total (Li)
Campaña Verano														
Promedio	5,69	20,72	<0,5	<20	1,01	250.350	2,60	16,53	16,00	< 5,00	2.039,62	1.388,70	9.001	4,33
Desvest	2,00	4,09	0,0	0	0,74	67.027	0,98	8,84	7,66	0	482,53	536,44	5.691	5,69
Min	< 5,00	13,30	<0,5	<20	<0,5	109.036	<2,00	4,20	5,25	< 5,00	1.358,00	771,40	1.704	< 2,00
Max	12,10	25,20	<0,5	<20	2,83	364.925	5,13	35,80	26,50	< 5,00	3.218,00	2.698,00	19.649	23,00
Campaña Otoño														
Promedio	7,68	20,26	<0,5	<20	0,60	275.288	3,04	15,75	12,71	< 5,00	1.703,34	999,42	5.399	2,59
Desvest	4,24	5,43	0,0	0	0,35	66.972	1,11	6,58	6,61	0	485,29	493,44	3.778	1,30
Min	< 5,00	14,60	<0,5	<20	<0,5	115.313	<2,00	8,51	2,60	< 5,00	641,40	381,80	1.433	< 2,00
Max	19,80	34,90	<0,5	<20	1,76	356.299	5,59	29,90	22,20	< 5,00	2.344,00	1.993,00	12.752	6,34
Campaña Invierno														
Promedio	5,25	16,10	<0,5	<20	0,59	293.555	2,63	13,90	10,65	5,45	1.434,81	999,61	4.869	2,50
Desvest	0,54	5,90	0,0	0	0,24	80.603	1,29	10,35	6,80	0,96	691,96	566,96	4.995	0,78
Min	< 5,00	< 1,00	<0,5	<20	<0,5	146.496	<2,00	< 1,00	< 2,00	< 5,00	< 0,50	< 50,00	< 50	< 2,00
Max	6,79	26,20	<0,5	<20	1,35	445.636	6,34	42,30	22,00	8,43	2.518,00	2.121,00	19.634	4,69
Campaña Primavera														
Promedio	5,24	15,74	<0,5	29,02	0,57	269.931	2,78	16,23	11,66	5,56	1.773	901	4.005	4,22
Desvest	0,56	3,81	0,0	17,17	0,19	64.099	1,32	7,42	6,44	1,67	538	794	3.043	3,45
Min	< 5	9,22	<0,5	<20	<0,5	202.755	<2,00	4,82	2,51	< 5,00	1.099	328,6	896,6	2,13
Max	6,92	25	<0,5	62,4	1,18	384.843	6,79	24,3	21	11	2.826	2.453	11.208	15,3

(Continuación Tabla 3.2.10-56)

Estadígrafo	Magnesio. Total (Mg)	Manganeso. Total (Mn)	Mercurio Total (Hg)	Molibdeno. Total (Mo)	Níquel. Total (Ni)	Plata. Total (Ag)	Plomo. Total (Pb)	Potasio. Total (K)	Selenio. Total (Se)	Sodio. Total (Na)	Talio. Total (Tl)	Titanio. Total (Ti)	Vanadio. Total (V)	Zinc. Total (Zn)
Campaña Verano														
Promedio	5.636	75,69	<0,025	<4	5,15	<2	<30	719,92	2,01	9.934	<50	327,02	48,81	3,16
Desvest	1.281	54,16	0,000	0	0,30	0	0	165,68	0,04	3.392	0	179,76	33,57	2,72
Min	4.702	19,60	<0,025	<4	<5,00	<2	<30	510,40	<2,00	4.496	<50	78,60	8,96	< 1,00
Max	9.727	208,60	<0,025	<4	5,77	<2	<30	971,10	2,15	16.039	<50	637,80	121,60	8,20
Campaña Otoño														
Promedio	4.451	45,62	0,050	<4	<5,00	<2	<30	554,55	5,68	6.729	116,22	165,43	34,52	7,03
Desvest	661	35,23	0,019	0	0,00	0	0	162,65	4,95	1.589	113,88	109,82	23,05	3,06
Min	3.433	12,10	0,026	<4	<5,00	<2	<30	318,20	<2,00	2.957	50,00	35,70	11,00	1,81
Max	6.219	136,70	0,085	<4	<5,00	<2	<30	917,50	15,40	8.887	402,80	427,60	89,50	13,50
Campaña Invierno														
Promedio	3.604	34,55	0,056	<4	5,08	<2	<30	573,41	6,73	6.905	110,98	161,63	32,08	7,13
Desvest	1.268	25,99	0,021	0	0,30	0	0	236,36	2,82	2.999	102,63	140,82	34,61	4,09
Min	< 50	< 1,00	0,035	<4	<5,00	<2	<30	200,00	<2,00	200	50,00	< 1,00	< 2,00	< 1,00
Max	5.038	87,60	0,115	<4	6,08	<2	<30	1.111,00	13,00	11.049	407,90	442,70	140,40	14,40
Campaña Primavera														
Promedio	4.886	49,99	<0,025	<4	5,25	<2	<30	716	2,61	9.116	<50	41	21,45	14,34
Desvest	2.058	62,07	0	0	0,73	0	0	321	2,19	2.794	0	57	17,96	6,38
Min	2.854	8,05	<0,025	<4	<5,0	<2	<30	360,9	<2	4.644	<50	< 1	5,31	8,7
Max	10.588	246,4	<0,025	<4	7,58	<2	<30	1479	9,88	14.061	< 50	165	71,3	30,7

Fuente: elaboración del consultor en base a lo informado por laboratorio analítico ALS Patagonia.

Respecto de los analitos evaluados que presentaron valores cuantificables en, al menos, una de las estaciones y campañas estacionales evaluadas, es decir, niveles por sobre el límite de detección de la respectiva metodología aplicada por el laboratorio analítico (ALS Patagonia), el detalle del comportamiento estacional de las concentraciones y su estadística básica es el siguiente. Para la descripción que se entrega a continuación se han seleccionado parámetros físico-químicos y metales (fracción total) relevantes respecto de la naturaleza del proyecto.

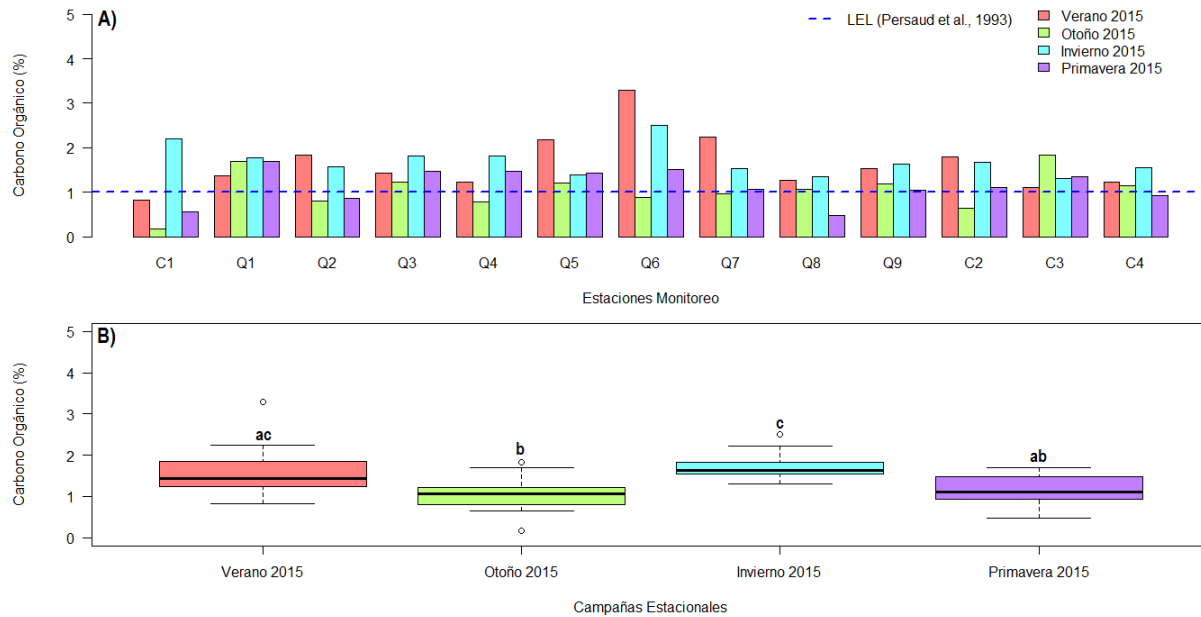
Se entrega también un breve análisis de la significancia ambiental de los niveles o concentraciones registradas en esta campaña para aquellos analitos que presentaron niveles de referencia en la normativa de calidad consultada.

- Carbono Orgánico Total (COT)

Las concentraciones de COT reportadas por ALS Patagonia indican un amplio rango de variación entre las distintas estaciones y campañas evaluadas, con promedios estacionales que fluctuaron entre $1,70 \pm 0,34$ % y $1,05 \pm 0,43$ % en invierno y otoño, respectivamente, detectándose diferencias significativas entre campañas estacionales (Prueba de Kruskal-Wallis; $X^2 = 17,837$; $p = 0,0004752$), donde los niveles reportados para invierno son significativamente superiores respecto del otoño y primavera (Prueba de comparaciones múltiples de Dunn, $p < 0,04$; más detalle ver Figura 3.2.10-135 A y B). Por su parte el rango absoluto de variación de este elemento (considerando la totalidad de estaciones), fluctuó entre un máximo de 3,29% y un mínimo de 1,7 % en verano y primavera, respectivamente.

Dentro de los niveles internacionales de calidad de sedimentos respecto del COT para proteger la vida marina, es posible indicar que la Guía para la Protección y Manejo de Calidad de Sedimentos Acuáticos en Ontario (Persaud *et al.*, 1993), ha establecido como límite de más bajo efecto (LEL) un valor de 1% y como límite de efectos severos (SEL) un valor de 10%. En consecuencia con lo anterior, el nivel promedio de COT registrado en la totalidad de las campañas estacionales sobrepasa levemente el umbral LEL pero ninguno supera el umbral de referencia SEL o de efectos severos. A nivel de estaciones de muestreo, es posible establecer que las estaciones Q1, Q3, Q5, Q9 y C3 superaron el umbral LEL en todas las campañas estacionales efectuadas (Figura 3.2.10-135 A).

Figura 3.2.10-135. (A) Concentración de Carbono Orgánico Total por estación de muestreo durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (\pm DS) por campaña estacional (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.

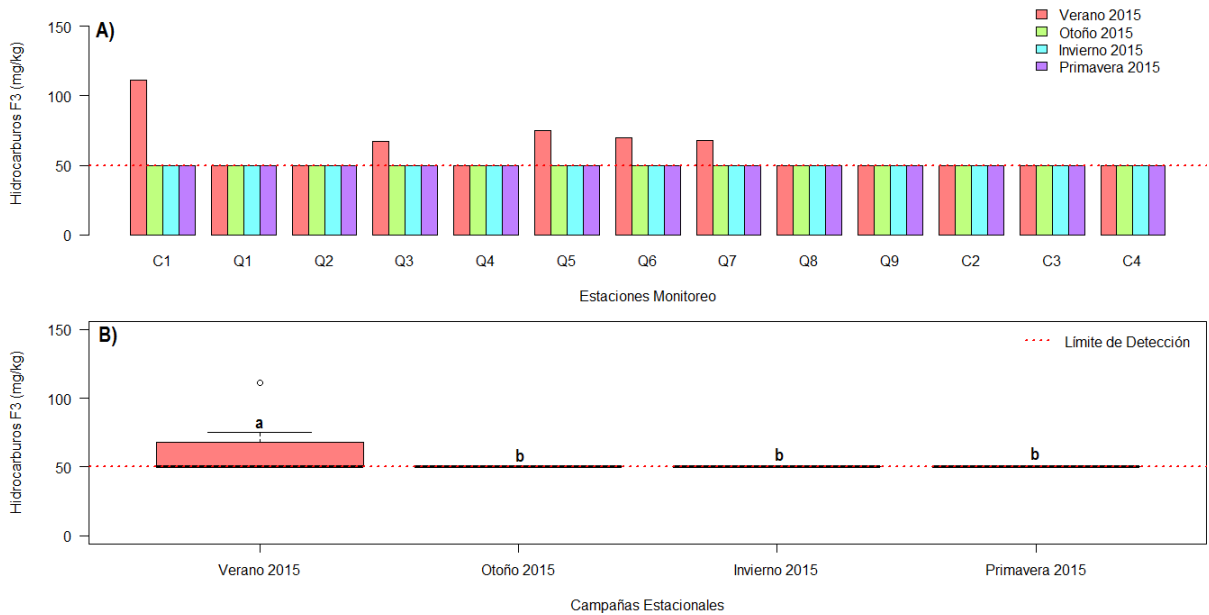


Fuente: Elaboración propia.

▪ Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH), fracción F3 (C16-C34)

La concentración de TPH obtenida en tres (3) de las cuatro (4) campañas de línea de base, presentó para todas las estaciones evaluadas niveles bajo el límite de detección de la metodología empleada (< 50 mg/kg), correspondiendo éstas a las campañas de otoño, invierno y primavera del 2015. Durante la campaña estival, se informan 5 niveles cuantificables para este analito, donde el mayor valor se observa en C1 con 111 mg/kg, seguido de Q5 (75 mg/kg), Q6 (70 mg/kg), Q7 (68 mg/kg) y Q3 con 67 mg/kg (más detalle ver Tabla 3.2.10-56 y Figura 3.2.10-136 A), registrándose un promedio de 61 ± 18 mgTPH/kg; Figura 3.2.10-136 B), que es significativamente superior respecto del resto de campañas (Prueba de Kruskal-Wallis; $\chi^2 = 16,223$; $p = 0,00102$, test a posteriori: Prueba de comparaciones múltiples de Dunn, $p = 0,006$).

Figura 3.2.10-136. (A) Concentración de Hidrocarburos fracción F3 (C16-C34) por estación de muestreo durante las cuatro campañas; (B) concentración promedio (\pm DS) por cada campaña estacional (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.



Fuente: Elaboración propia.

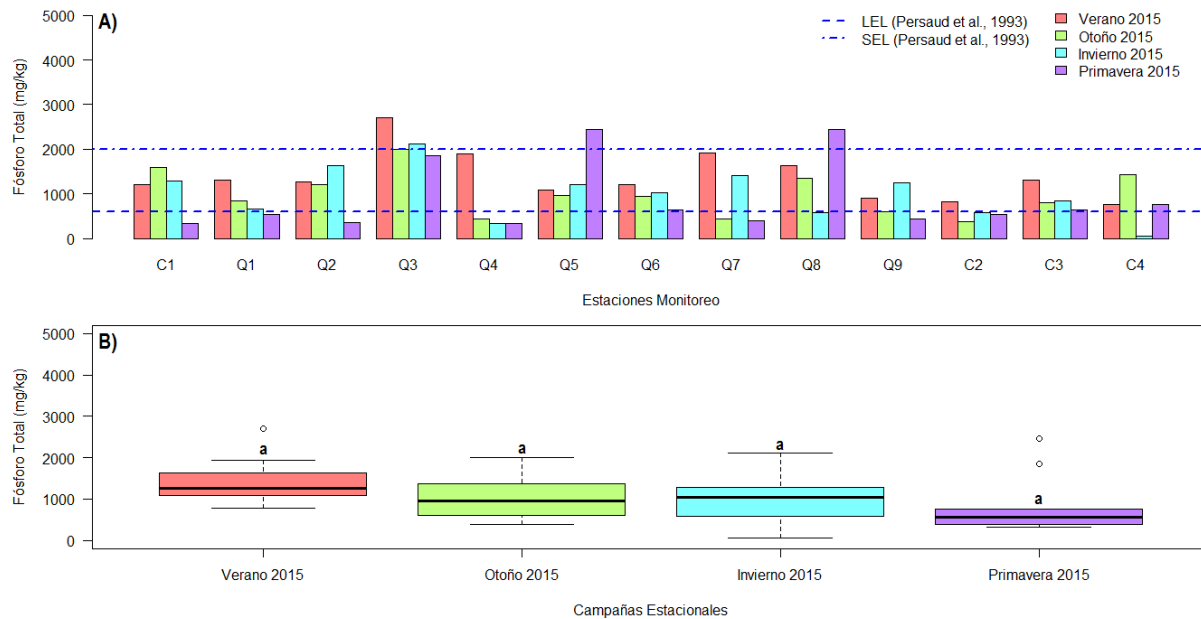
▪ Fósforo Total (P)

Los niveles del fósforo total presentes en los sedimentos submareales del área costera evaluada, se mostraron variables entre las distintas estaciones monitoreadas durante las cuatro campañas de línea de base. De este modo, la concentración del fósforo total en verano 2015 fluctuó en términos absolutos entre 771,40 – 2.698 mg P/kg en las estaciones C4 y Q3, respectivamente; en otoño varió entre 381,80 – 1.993,0 mg P/kg en las estaciones C2 y Q3, respectivamente; en invierno varió entre 2015 la concentración varió entre registros bajo el límite de detección de la metodología empleada (< 50,0 mg P/kg) y 2.121,0 mg P/kg en las estaciones C4 y Q3, respectivamente, y finalmente, en la campaña de primavera el rango de variación fluctuó entre 328,6 y 2.453 mg P/kg (más detalle ver Tabla 3.2.10-56 y Figura 3.2.10-137 A). No obstante lo anterior, las pruebas estadísticas no registraron diferencias significativas para la concentración promedio del fósforo total entre las distintas campañas estacionales evaluadas (Prueba de Kruskal-Wallis $p = 0,0537$; ver Figura 3.2.10-137 B).

Dentro de los niveles internacionales de calidad de sedimentos respecto del fósforo total para proteger la vida marina, es posible indicar que la Guía para la Protección y Manejo de Calidad de Sedimentos Acuáticos en Ontario (Persaud *et al.*, 1993), ha establecido como límite de más bajo efecto (LEL) un valor de 600 mg P/kg (ppm), y como límite de efectos severos (SEL) un

valor de 2.000 mg P/kg. En consecuencia con lo anterior, el nivel promedio de fósforo total registrado en la totalidad de campañas estacionales sobrepasa el umbral LEL pero ninguno supera el umbral de referencia SEL o de efectos severos. A nivel de estaciones de muestreo, es posible establecer que de un total de cincuenta y dos (52) registros de fósforo total obtenidos durante este estudio, treinta y siete (37) de ellos superan el nivel de más bajo efecto (LEL = 600 mg/kg), mientras que de éstos solo cuatro (4) superan el nivel de efectos severos sobre la vida acuática (SEL = 2.000 mg P/kg; más detalle ver Figura 3.2.10-137 A).

Figura 3.2.10-137. (A) Concentración de Fósforo Total por estación de muestreo durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (± DS) por campaña estacional (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)).Teck – QB2, 2015.



Fuente: Elaboración propia.

- Metales (fracción total)
 - Arsénico (As)

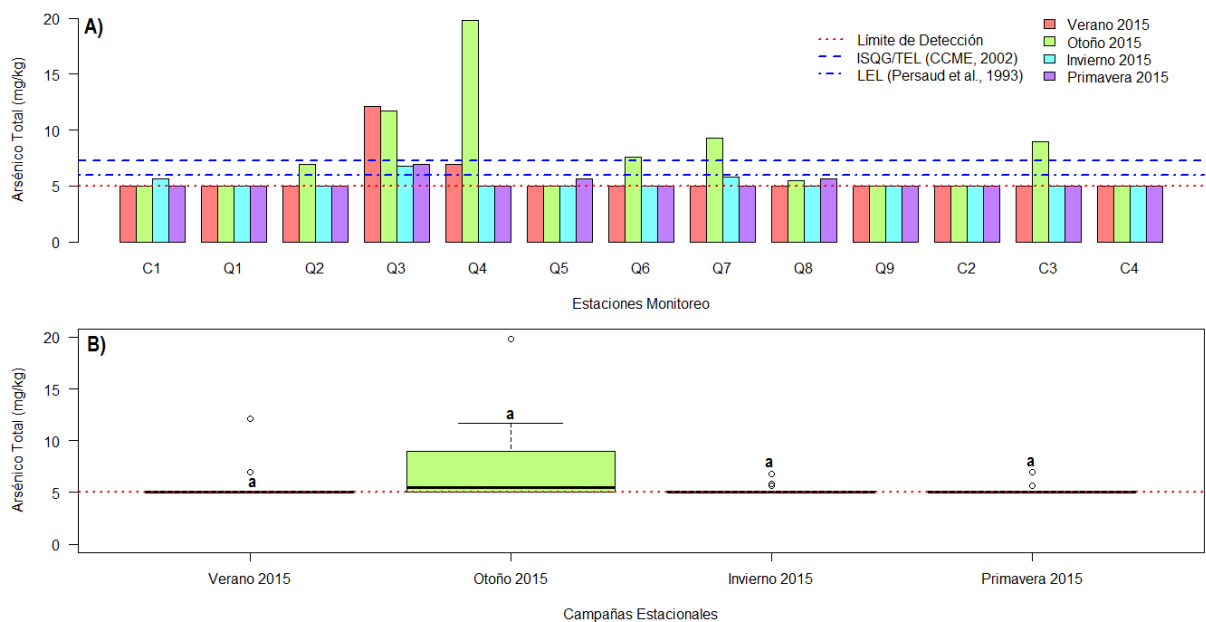
La concentración de arsénico en los sedimentos submareales superficiales, varió entre las distintas estaciones monitoreadas en cada una de las campañas estacionales de Línea de Base. Por ejemplo, para las cuatro campañas evaluadas el rango absoluto de variación estuvo dado en su límite inferior por el LD de la metodología empleada (< 5,00 mg As/kg), mientras que el rango superior fue de 12,10 mg As/kg para el verano; 19,80 mg As/kg en otoño; 6,79 mg As/kg en invierno y de 6,92 mg As/kg durante la primavera del 2015 (ver Tabla 3.2.10-56). No se observó una clara tendencia para la concentración de este analito en términos espaciales

(estaciones) ni temporales (campañas), sin embargo, es posible destacar que las estaciones Q1, Q9, C2 y C4 presentaron niveles bajo el límite de detección de la metodología empleada en las cuatro campañas de Línea de Base evaluadas (Figura 3.2.10-119 A).

La concentración promedio de arsénico por campaña estacional varió entre $7,68 \pm 4,24$ mg As/kg (campaña otoño) y $5,24 \pm 0,56$ mg As/kg (campaña de primavera), no registrándose diferencias significativas de acuerdo a las pruebas estadísticas efectuadas (Prueba de Kruskal-Wallis; $p = 0,07356$; Figura 3.2.10-119 B).

De acuerdo a los estándares de calidad consultados, solo la concentración promedio obtenida en la campaña de otoño 2015 registró niveles basales de As superiores al umbral ISQG/TEL establecido por la Guía Canadiense de Calidad de Sedimentos (CCME, 2002) para este elemento (7,24 mg As/kg), y también superó el umbral LEL establecido en la Guía para la Protección y Manejo de Calidad de Sedimentos Acuáticos en Ontario (Persaud *et al.*, 1993; 6 ug/g (ppm)), no obstante nunca se superó el nivel de efectos probables PEL (41,6 mg As/kg) ni SEL (33 mg As/kg). En análisis por estaciones revela que Q3 y Q4 de la campaña de verano 2015, y las estaciones Q2, Q3, Q4, Q6, Q7 y C3 de la campaña de otoño 2015, mostraron niveles de As superiores al nivel de mínimo efecto establecido por el Estado de Ontario (LEL; 6 mg/kg; Persaud *et al.*, 1993), mientras que Q3 en verano y Q3, Q4, Q6, Q7 y C3 (otoño) superaron el umbral ISQG/TEL establecido en la Guía Canadiense de Calidad de Sedimentos (CCME, 2002) para este elemento.

Figura 3.2.10-138. (A) Concentración de Arsénico total por estación de muestreo durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (\pm DS) por cada campaña estacional (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.



Fuente: Elaboración propia.

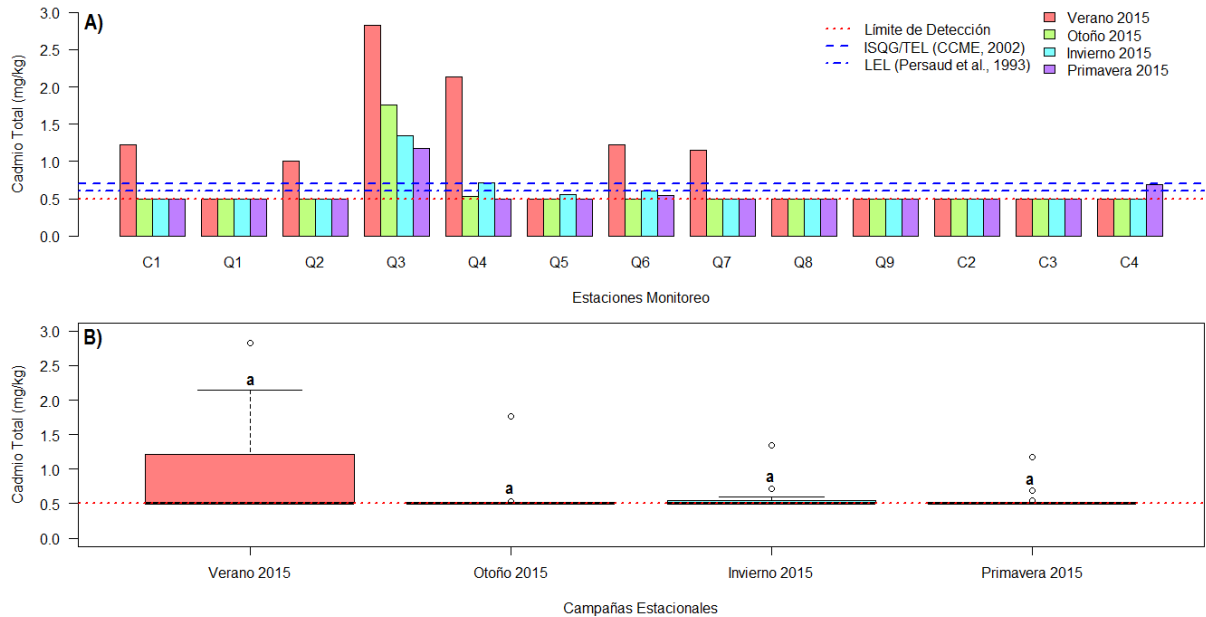
- Cadmio (Cd)

La concentración promedio de Cd en sedimentos submareales superficiales durante la campaña de verano fue $1,01 \pm 0,74$ mg Cd/Kg, y su rango absoluto de variación fluctuó entre 0,5 (correspondiente al límite de detección de la metodología analítica) y 2,83 mg Cd/Kg; en otoño la concentración promedio fluctuó entre $<0,5$ mg Cd/Kg (L.D.) y un máximo de 1,76 mgCd/Kg (estación Q3) y con una concentración promedio de $0,6 \pm 0,35$ mgCd/kg; en invierno la concentración promedio fue de $0,59 \pm 0,24$ mgCd/kg con rango absoluto de variación entre $<0,5$ y 1,35, este último valor también registrado en la estación Q3; finalmente durante la primavera el promedio fue de $0,57 \pm 0,19$ y un rango absoluto de variación entre $<0,5$ y 1,18 mgCd/Kg, este último valor registrado en Q3 (ver Tabla 3.2.10-56 y Figura 3.2.10-139 A). Debido a la baja variabilidad observada para este analito, no se registraron diferencias significativas para la concentración promedio del Cd entre campañas estacionales evaluadas en la presente Línea de Base (Prueba de Kruskal-Wallis; $p = 0,2069$; Figura 3.2.10-139 B).

Las estaciones Q1, Q8, Q9, C2 y C3 presentaron concentraciones bajo el límite de detección de la metodología empleada ($< 0,5$ mg/kg) durante las cuatro campañas estacionales efectuadas.

La Guía Canadiense de Calidad de Sedimentos (CCME, 2002), ha establecido para el Cadmio valores umbral (ISQG/TEL) y de efectos probables (PEL) de 0,7 mg Cd/Kg y 4,2 mg Cd/Kg, respectivamente; por su parte, la Guía para la Protección y Manejo de Calidad de Sedimentos Acuáticos en Ontario (Persaud *et al.*, 1993) ha establecido como límite de más bajo efecto (LEL) un valor de 0,6 $\mu\text{g/g}$ (ppm) y como límite de efectos severos (SEL) una concentración de 10 $\mu\text{g/g}$ (ppm). En consecuencia, las concentraciones promedios de Cd obtenidas por campaña en sedimento submareal durante la época estival, superaron el umbral ISQG/TEL y LEL, pero no los umbrales PEL ni SEL. El análisis por estación de muestreo muestra que las concentraciones submareales de Cd obtenidas en C1_{ver}, Q2_{ver}, Q3_{ver-oto-inv-pri}, Q4_{ver-inv}, Q6_{ver-inv} y Q7_{ver}; fueron al nivel de efectos mínimos sobre la biota (LEL; 0,6 mg/kg), y con excepción de Q6_{inv} superaron también al nivel umbral ISQG/TEL (0,7 mg/kg).

Figura 3.2.10-139. (A) Concentración de Cadmio total por estación de muestreo durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (\pm DS) por campaña estacional (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.



Fuente: Elaboración propia.

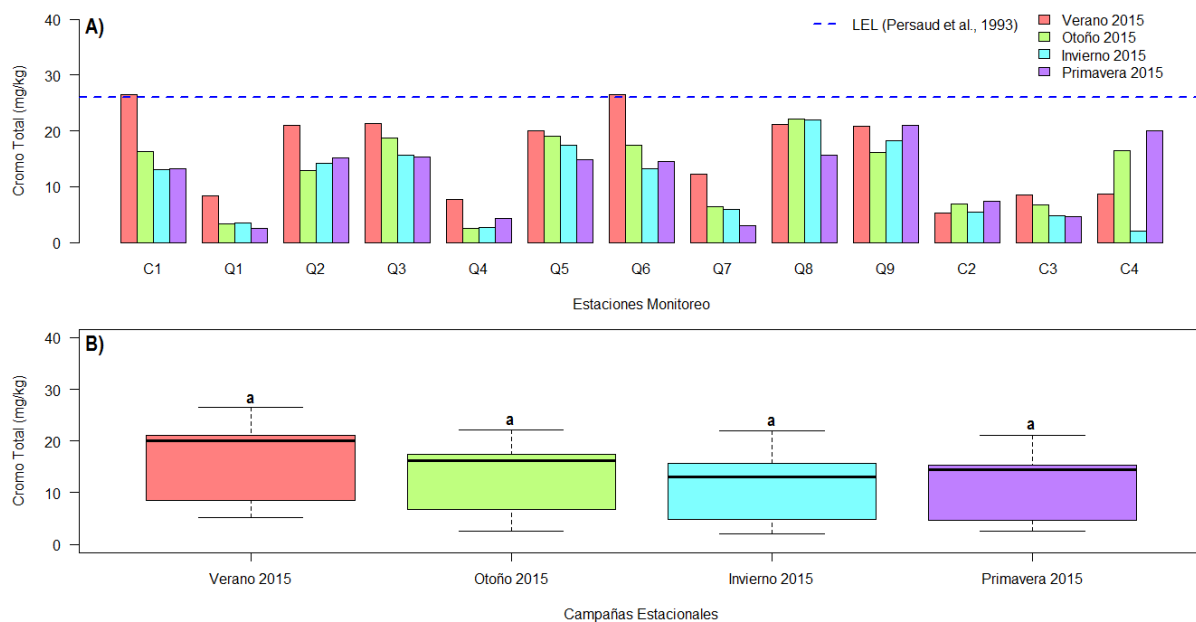
▪ Cromo (Cr)

La concentración promedio de Cr total en sedimentos submareales superficiales fluctuó entre un máximo de $16,00 \pm 7,66$ mg Cr/Kg y un mínimo de $10,35 \pm 6,80$ mg Cr/Kg en las campañas de verano e invierno de 2015, respectivamente. Los análisis estadísticos efectuados no revelaron diferencias significativas para la concentración promedio del Cr total entre campañas estacionales (Prueba de Kruskal-Wallis: $p = 0,1747$; Figura 3.2.10-140 B). A su vez, considerando la totalidad de registros obtenidos para este metal en el presente estudio, el rango absoluto de variación de Cr en sedimentos fluctuó entre el límite de detección de la metodología empleada ($<2,0$ mg Cr/Kg; campaña de invierno), y $26,50$ mg Cr/Kg, este último valor registrado en la campaña de verano.

Dentro de los niveles internacionales de calidad de sedimentos respecto del cromo total para proteger la vida marina, es posible indicar que la Guía Canadiense de Calidad de Sedimentos ha establecido valores umbral (ISQG/TEL) y de efectos probables (PEL) de $52,3$ y 160 mg/kg, respectivamente (CCME, 2002); por su parte la Guía para la Protección y Manejo de Calidad de Sedimentos Acuáticos en Ontario (Persaud *et al.*, 1993) ha establecido como límite de más bajo efecto (LEL) un valor de $26 \mu\text{g/g}$ (ppm) y como límite de efectos severos (SEL) una concentración de $110 \mu\text{g/g}$ (ppm). En consecuencia con lo anterior, la concentración promedio

de cromo total registrada en la totalidad de campañas estacionales es inferior a dichos estándares de referencia; no obstante, se destaca que un par concentraciones puntuales registradas específicamente en verano en las estaciones C1 y Q6 resultan ser levemente superior al nivel LEL de la Guía para la Protección y Manejo de Calidad de Sedimentos Acuáticos en Ontario (Persaud *et al.*, 1993).

Figura 3.2.10-140. (A) Concentración de Cromo total por estación de muestreo durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (\pm DS) por cada campaña estacional (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.



Fuente: Elaboración propia.

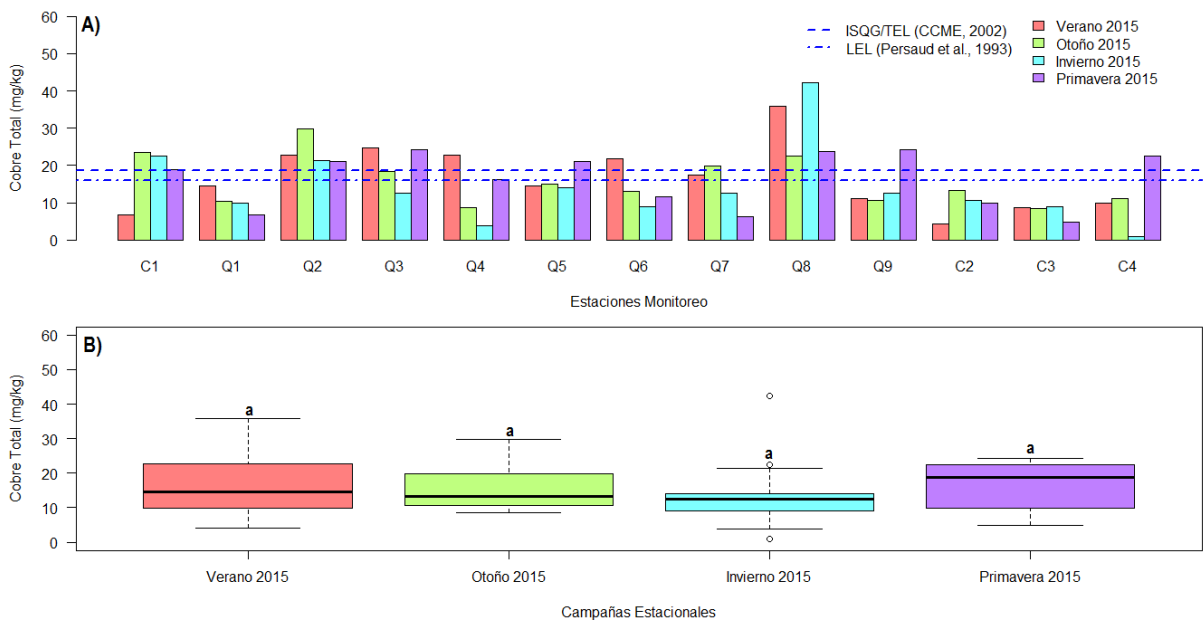
▪ Cobre (Cu)

La concentración promedio de Cu en sedimentos submareales superficiales (ver Tabla 3.2.10-56 y Figura 3.2.10-141 A y B), fue de $16,53 \pm 8,84$ mg Cu/Kg durante el verano; de $15,75 \pm 6,58$ mg Cu/Kg en otoño, $13,90 \pm 10,35$ mg Cu/Kg en invierno y de $16,23 \pm 7,42$ mg Cu/Kg en primavera de 2015. Los análisis estadísticos no arrojaron diferencias significativas entre campañas (Prueba de Kruskal-Wallis ($p = 0,6486$); ver Figura 3.2.10-141 B).

Los niveles de cobre durante las cuatro campañas estacionales de Línea de Base informadas en el presente estudio, fluctuaron en términos absolutos entre $< 1,0$ mg/kg en la estación C4 y $42,30$ mg/kg en la estación Q8, ambos casos correspondientes a la campaña de invierno 2015 (ver Tabla 3.2.10-56 y Figura 3.2.10-141 A).

Dentro de los niveles internacionales de calidad de sedimentos respecto del cobre para proteger la vida marina, es posible indicar que la Guía Canadiense de Calidad de Sedimentos (CCME, 2002), ha establecido valores umbral (ISQG/TEL) y de efectos probables (PEL) de 18,7 y 108 mg Cu/kg, respectivamente; por su parte la Guía para la Protección y Manejo de Calidad de Sedimentos Acuáticos en Ontario (Persaud *et al.* 1993), ha establecido como límite de más bajo efecto (LEL) un valor de 16 µg/g (ppm) y como límite de efectos severos (SEL) una concentración de 110 µg/g (ppm). En consecuencia con lo anterior, la concentración promedio de Cu total registrada en las campañas estacionales de verano y primavera 2015 superaron el umbral LEL pero no el límite PEL (CCME, 2002) ni tampoco los umbrales o límites de efectos probables (PEL) o severos sobre la biota marina (SEL). El análisis por estación de muestreo revela que veintiuna (21) estaciones superaron el valor LEL (de más bajo efecto) y diecinueve (19) estaciones sobrepasaron el umbral ISQG/TEL o de mínimos efectos (18,7 mg/kg; CCME, 2002). Cabe destacar que Q2 y Q8 superaron los dos niveles umbrales (LEL y ISQG/TEL) en las cuatro campañas estacionales de Línea de Base (más detalle ver Figura 3.2.10-141 A).

Figura 3.2.10-141. (A) Concentración de Cobre total por estación de muestreo durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (± ES) por campaña estacional (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas (α = 0,05)). Teck – QB2, 2015.



Fuente: Elaboración propia.

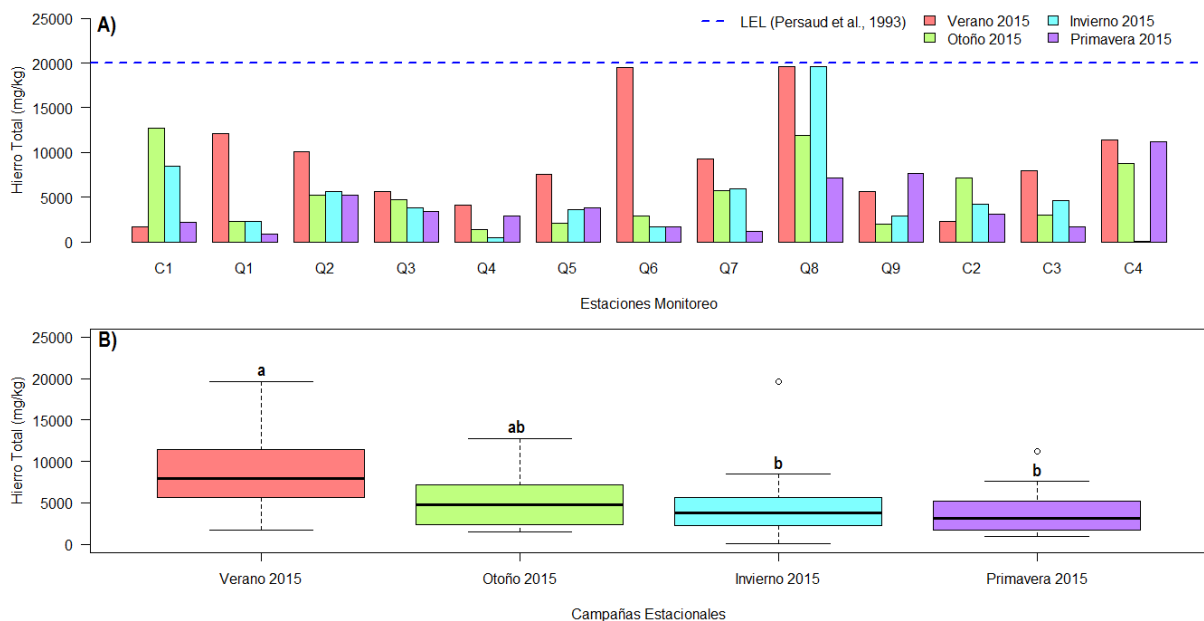
▪ Hierro (Fe)

La concentración promedio de hierro entre campañas estacionales fluctuó entre 9.001 ± 5.691 mg Fe/Kg durante la campaña de verano y 4.005 ± 3.043 mg Fe/Kg en la campaña de primavera

(ver Tabla 3.2.10-56 y Figura 3.2.10-142 A). El promedio de Fe entre campañas estacionales mostró diferencias significativas (Prueba de Kruskal-Wallis $p = 0,04015$; ver Figura 3.2.10-142), siendo superior durante la época estival (Prueba de comparaciones múltiples de Dunn, $p < 0,02$).

La Guía para la Protección y Manejo de Calidad de Sedimentos Acuáticos en Ontario, estableció como valores de calidad de sedimentos para el hierro, límites de 2% (20.000 mg/kg) como de más bajo efecto sobre la biota (LEL), y 4% (40.000 mg/kg) como límite de efectos severos (SEL; Persaud *et al.*, 1993), en consecuencia, ninguna campaña estacional registró niveles promedio que superaran dichos umbrales, ni tampoco lo superaron estaciones puntuales de monitoreo a lo largo del estudio.

Figura 3.2.10-142. (A) Concentración de Hierro total por estación de muestreo durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (\pm DS) por campaña estacional (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.



Fuente: Elaboración propia.

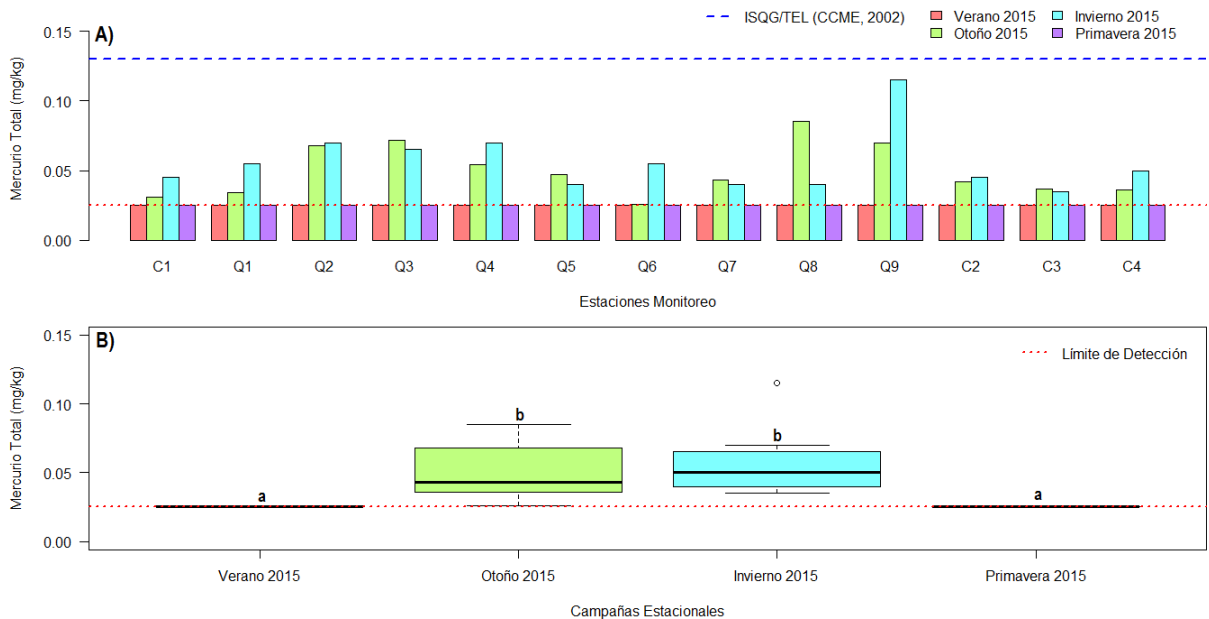
▪ Mercurio (Hg)

Los niveles de mercurio total en los sedimentos submareales superficiales presentaron valores bajo el límite de detección de la metodología empleada ($< 0,025$ mg Hg/kg) en todas las estaciones evaluadas durante las campañas de verano y primavera (ver Tabla 3.2.10-56 y Figura 3.2.10-143 A y B). Por otra parte, durante la campaña de otoño la concentración de Hg fluctuó en términos absolutos entre 0,026 y 0,085 mg Hg/kg en las estaciones Q6 y Q8,

respectivamente; mientras que en la campaña de invierno este analito varió entre 0,035 y 0,115 mg/kg en las estaciones C3 y Q9, respectivamente (Tabla 3.2.10-56). De esta forma, la concentración promedio de Hg fluctuó en un rango entre $0,056 \pm 0,021$ mg Hg/Kg en invierno y $0,025 \pm 0$ mg Hg/Kg en verano y primavera, lo que representa diferencias estadísticas en conformidad con los análisis efectuados (Prueba de Kruskal-Wallis $p = 1,544e-09$; Prueba a posteriori de comparaciones múltiples de Dunn, $p < 0,00001$).

Dentro de los niveles internacionales de calidad de sedimentos respecto del mercurio para proteger la vida marina, es posible indicar que la Guía Canadiense de Calidad de Sedimentos (CCME, 2002), ha establecido valores umbral (ISQG/TEL) y de efectos probables (PEL) de 0,13 y 0,70 mg Hg/kg, respectivamente; por su parte la Guía para la Protección y Manejo de Calidad de Sedimentos Acuáticos en Ontario (Persaud *et al.*, 1993), ha establecido como límite de más bajo efecto (LEL) un valor de 0,20 µg Hg/g (ppm) y como límite de efectos severos (SEL) una concentración de 2,0 µg Hg/g (ppm). En consecuencia, ninguna concentración promedio de las campañas estacionales como tampoco ninguna concentración puntual sobrepasó dichos valores referenciales de calidad.

Figura 3.2.10-143. (A) Concentración de Mercurio total por estación de muestreo durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (\pm ES) por campaña estacional (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.



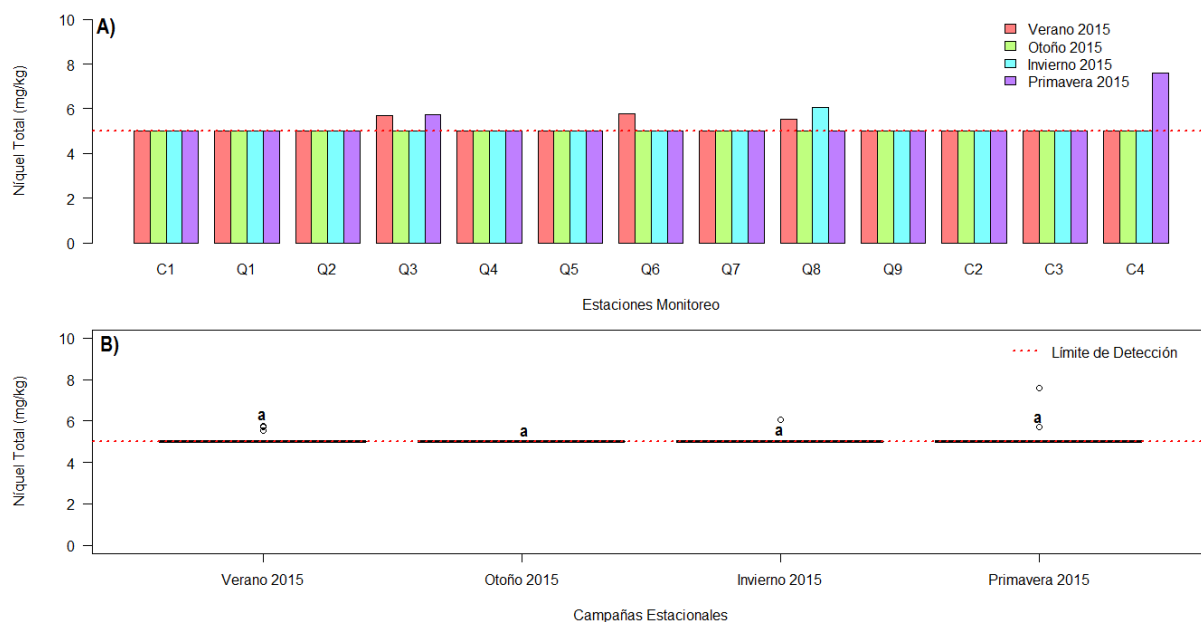
Fuente: Elaboración propia.

▪ Níquel (Ni)

Durante las cuatro campañas de línea de base, solamente se registraron seis (6) estaciones con valores cuantificables para el Ni, correspondiendo a Q3, Q6 y Q8 en la campaña de verano, Q8 para la campaña de invierno, y Q3 y C4 para la primavera del 2015, mientras que para las estaciones y campañas restantes todos las concentraciones se reportan bajo el límite de detección de la metodología empleada (< 5 mg/kg; ver Tabla 3.2.10-56 y Figura 3.2.10-144 A). La concentración promedio de este elemento entre campañas estacionales fluctuó entre 5,25 ± 0,73 mg Ni/Kg en primavera y 5,0 ± 0 mg Ni/Kg en otoño, no registrándose diferencias estadísticas significativas entre campañas (Prueba de Kruskal-Wallis $p = 0,332$; Figura 3.2.10-144 B).

Dentro de los niveles internacionales de calidad de sedimentos respecto del níquel para proteger la vida marina, es posible indicar que la Guía para la Protección y Manejo de Calidad de Sedimentos Acuáticos en Ontario (Persaud *et al.*, 1993), ha establecido como límite de más bajo efecto (LEL) un valor de 16 ugNi/g (ppm), y como límite de efectos severos (SEL) una concentración de 75 µg Ni/g (ppm). En consecuencia, ninguna concentración promedio de las campañas estacionales como tampoco ninguna concentración puntual sobrepasó dichos valores referenciales de calidad.

Figura 3.2.10-144. (A) Concentración de Níquel total por estación de muestreo durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (± DS) por cada campaña estacional (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.



Fuente: Elaboración propia.

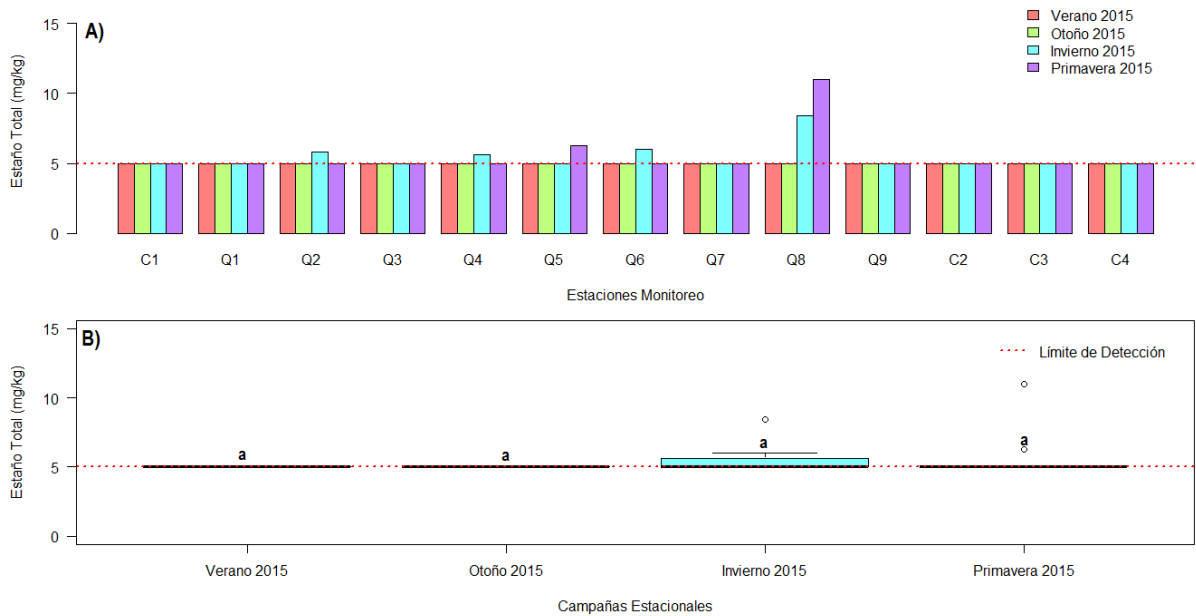
▪ Estaño (Sn)

De similar forma que el níquel, el Estaño total monitoreado en los sedimentos submareales superficiales registró solo seis (6) estaciones con valores cuantificables en las campañas de invierno (Q2, Q4, Q6 y Q8) y primavera (Q5 y Q8); mientras que todo el resto de estaciones y puntos de muestreo registraron concentraciones bajo el límite de detección de la metodología empleada (< 5 mg Sn/kg; ver Tabla 3.2.10-56 y Figura 3.2.10-145 A).

La concentración promedio de este elemento fluctuó entre $5,56 \pm 1,67$ mg Sn/kg en primavera y $5,0 \pm 0$ mg Sn/kg en la campañas de verano y otoño 2015 (ver Figura 3.2.10-145 B), no registrándose diferencias estadísticamente significativas entre campañas (Prueba de Kruskal-Wallis $p = 0,05099$).

Este elemento no presenta valores de referencia en la normativa consultada.

Figura 3.2.10-145. (A) Concentración de Estaño total por cada estación de muestreo durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (\pm DS) por cada campaña estacional (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.



Fuente: Elaboración propia.

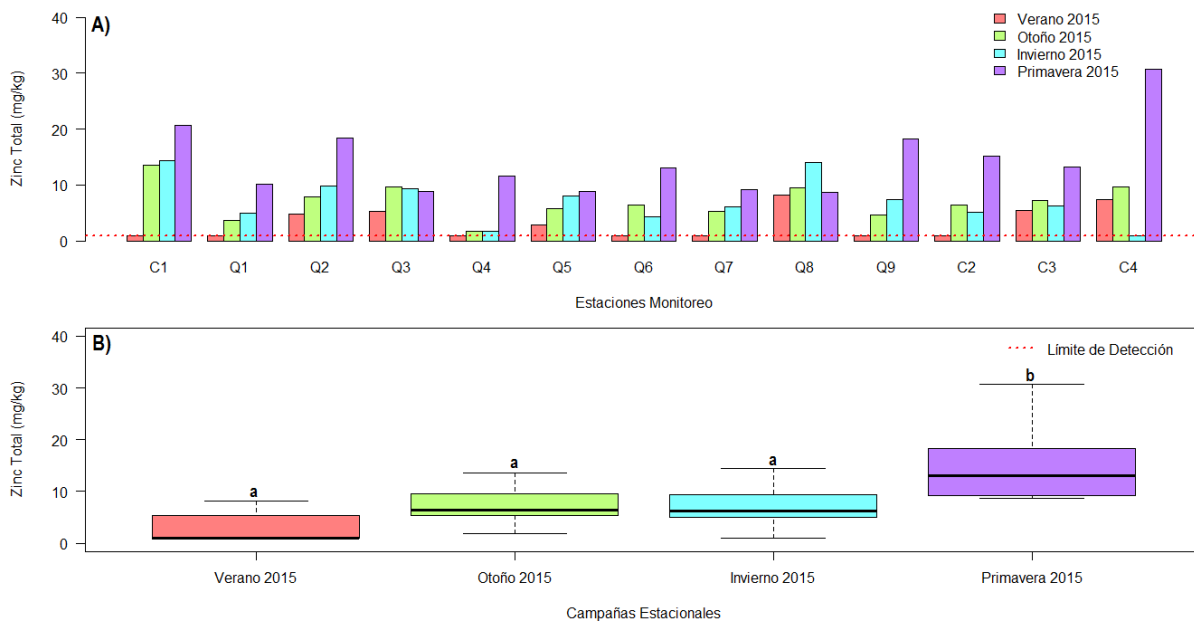
▪ Zinc (Zn)

El rango absoluto de variación de este elemento a lo largo del periodo de estudio fluctuó entre valores bajo el límite de detección de la metodología empleada (< 1,00 mg Zn/kg) en siete (7) estaciones de la campaña de verano y una (1) estación de la campaña de invierno, y un máximo

de 30,7 mg Zn/kg en la estación C4 durante la campaña de primavera (más detalle ver Tabla 3.2.10-56 y Figura 3.2.10-146 A). La concentración promedio del Zn registrada en el área costera evaluada, presenta diferencias significativas entre campañas estacionales de línea de base (Prueba de ANOVA; $p = 6.01E-06$), destacando que el mayor registro promedio se obtuvo en primavera de 2015 con $14,34 \pm 6,38$ mg Zn/kg (Prueba a posteriori de comparaciones múltiples de Dunn, $p < 0.03$).

Dentro de los niveles internacionales de calidad de sedimentos respecto del cinc para proteger la biota marina, es posible indicar que la Guía Canadiense de Calidad de Sedimentos (CCME, 2002), ha establecido valores umbral (ISQG/TEL) y de efectos probables (PEL) de 124 y 271 mg Zn/kg, respectivamente; por su parte la Guía para la Protección y Manejo de Calidad de Sedimentos Acuáticos en Ontario (Persaud *et al.*, 1993), ha establecido como límite de más bajo efecto (LEL) un valor de 120 µg Zn/g (ppm) y como límite de efectos severos (SEL) una concentración de 820 µg Zn/g (ppm). En consecuencia, ninguna concentración promedio de las campañas estacionales como tampoco ninguna concentración puntual sobrepasó dichos valores referenciales de calidad.

Figura 3.2.10-146. (A) Concentración de Cinc total por estación de muestreo durante las cuatro campañas estacionales; (B) concentración promedio (\pm ES) por campaña estacional (Letras diferentes sobre las barras indican diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)). Teck – QB2, 2015.



Fuente: Elaboración propia.

f.2) Granulometría y M.O.T. en sedimentos submareales

▪ Granulometría

La fracción más representativa de los sedimentos submareales durante todo el periodo de estudio fue la componente arena en la mayoría de las estaciones evaluadas, salvo en las estaciones C1, Q1, Q4 y C4 donde en algunas campañas estacionales predominó la fracción grava (más detalle ver Tabla 3.2.10-57). En términos generales, la grava también estuvo representada de manera importante en las distintas estaciones y campañas mostrando un amplio rango de variación porcentual; por su parte, la fracción fango estuvo escasamente representada en todo el periodo observándose valores preferentemente inferiores a 1% en la gran mayoría de puntos de muestreo, superando este umbral solo en cuatro ocasiones presentando un registro máximo de 1,83% en la estación Q4 durante la campaña estival (Tabla 3.2.10-57).

La clasificación textural de los sedimentos submareales del área costera evaluada (Wenworth, 1922), presentó en la mayoría de las estaciones y campañas efectuadas un diámetro medio clasificado como arenas gruesas y muy gruesas, en torno al cual se apreció un amplio rango de dispersión pues los valores de desviación estándar en torno al tamaño medio del grano, como medida del grado de selección, se clasificaron preferentemente como pobremente seleccionada en la gran mayoría de las estaciones evaluadas, lo que implica que el diámetro medio calculado es poco representativo dada la mayor heterogeneidad del sedimento (ver Tabla 3.2.10-57).

Al realizar un análisis de proporción de clases granulométricas, empleado para ello los diagramas de clasificación textural según metodología de Folk (Diagrama triangular de grava-lodo-arena (GLA) y arena-arcilla-limo (AAL); Folk, 1954); Figura 3.2.10-147 y Figura 3.2.10-148), es posible corroborar la importancia de la fracción arena y grava a lo largo de las cuatro campañas estacionales, junto con la escasa representatividad de la fracción fango (limo-arcilla), pues durante las cuatro campañas las estaciones se clasifican preferentemente en las categorías grava-arenosa y arena con grava según el diagrama GLA, y en la categoría arenas según el diagrama AAL lo que denota la escases de la fracción más fina del sedimento a lo largo de todo el periodo de estudio.

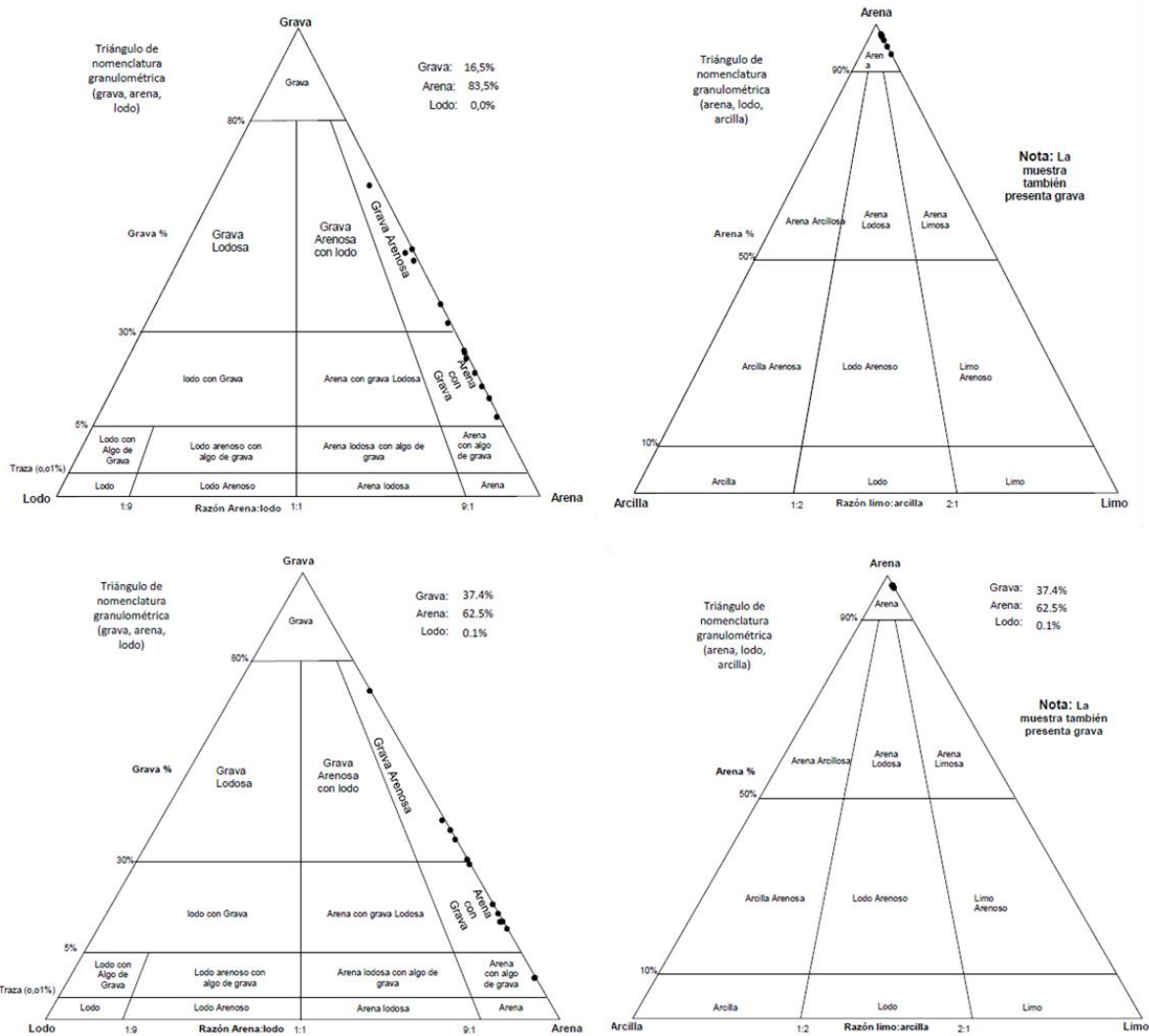
Tabla 3.2.10-57. Características texturales de los sedimentos submareales evaluados en el área costera evaluada (C1 estación más al sur y C4 estación dispuesta más al norte). Teck – QB2, verano 2015.

Estación	Campaña 2015	Caracterización porcentual			Diámetro Medio			Grado Selección o "Sorting"		
		Grava (%)	Arena (%)	Fango (%)	Phi	mm	clasificación	Phi	mm	clasificación
C1	Verano	50,48	47,92	1,60	-0,19	1,14	Arena muy gruesa	1,0	0,002	Pobrementemente seleccionada
	Otoño	74,83	25,05	0,12	-0,63	1,55	Arena muy gruesa	0,55	0,001	Moderadamente seleccionada
	Invierno	66,21	33,73	0,06	-0,73	1,66	Arena muy gruesa	0,48	0,001	Bien seleccionada
	Primavera	49,9	50,0	0,1	-0,63	1,55	Arena muy gruesa	1,43	0,003	Pobrementemente seleccionada
Q1	Verano	26,76	73,07	0,17	0,23	0,85	Arena gruesa	1,5	0,003	Pobrementemente seleccionada
	Otoño	39,75	60,20	0,04	-0,32	1,25	Arena muy gruesa	1,32	0,002	Pobrementemente seleccionada
	Invierno	44,07	55,92	0,01	-0,62	1,53	Arena muy gruesa	1,09	0,002	Pobrementemente seleccionada
	Primavera	71,6	28,4	0,0	-0,98	1,97	Arena muy gruesa	1,42	0,003	Pobrementemente seleccionada
Q2	Verano	48,44	50,32	1,25	-0,06	1,04	Arena muy gruesa	1,32	0,002	Pobrementemente seleccionada
	Otoño	2,86	96,88	0,26	0,95	0,52	Arena gruesa	1,49	0,003	Pobrementemente seleccionada
	Invierno	19,06	80,38	0,56	0,68	0,62	Arena gruesa	1,51	0,003	Pobrementemente seleccionada
	Primavera	13,8	86,0	0,2	1,46	0,36	Arena media	1,55	0,003	Pobrementemente seleccionada
Q3	Verano	17,06	82,61	0,32	0,82	0,57	Arena gruesa	1,62	0,003	Pobrementemente seleccionada
	Otoño	2,86	96,88	0,26	2,07	0,24	Arena fina	0,98	0,002	Moderadamente seleccionada
	Invierno	20,81	79,03	0,16	0,17	0,89	Arena gruesa	1,42	0,003	Pobrementemente seleccionada
	Primavera	16,7	83,2	0,1	0,87	0,55	Arena gruesa	1,70	0,003	Pobrementemente seleccionada
Q4	Verano	66,56	31,62	1,83	-0,43	1,35	Arena muy gruesa	0,90	0,002	Moderadamente seleccionada
	Otoño	19,95	79,90	0,15	0,22	0,86	Arena gruesa	1,22	0,002	Pobrementemente seleccionada
	Invierno	87,93	12,07	0,0	-1,08	2,11	Grava muy fina	-0,15	0,001	Muy bien seleccionada
	Primavera	53,4	46,6	0,0	-0,79	1,73	Arena muy gruesa	1,40	0,003	Pobrementemente seleccionada
Q5	Verano	8,80	90,78	0,41	0,8	0,58	Arena gruesa	1,18	0,002	Pobrementemente seleccionada
	Otoño	13,02	86,86	0,12	0,59	0,66	Arena gruesa	1,35	0,003	Pobrementemente seleccionada
	Invierno	47,17	52,35	0,48	-0,17	1,12	Arena muy gruesa	1,27	0,002	Pobrementemente seleccionada
	Primavera	29,9	69,6	0,5	0,17	0,89	Arena gruesa	1,77	0,003	Pobrementemente seleccionada
Q6	Verano	20,66	78,89	0,45	0,01	0,99	Arena gruesa	1,27	0,002	Pobrementemente seleccionada
	Otoño	17,32	82,56	0,12	0,31	0,81	Arena gruesa	1,4	0,003	Pobrementemente seleccionada
	Invierno	ND								
	Primavera	24,4	75,1	0,5	0,39	0,76	Arena gruesa	1,57	0,003	Pobrementemente seleccionada
Q7	Verano	26,15	73,19	0,66	0,29	0,82	Arena gruesa	1,46	0,003	Pobrementemente seleccionada
	Otoño	31,15	68,73	0,11	-0,38	1,31	Arena muy gruesa	1,1	0,002	Pobrementemente seleccionada

Estación	Campaña 2015	Caracterización porcentual			Diámetro Medio			Grado Selección o "Sorting"		
		Grava (%)	Arena (%)	Fango (%)	Phi	mm	clasificación	Phi	mm	clasificación
	Invierno	34,43	65,46	0,11	-0,37	1,29	Arena muy gruesa	1,09	0,002	Pobrementemente seleccionada
	Primavera	23,5	76,4	0,1	0,37	0,77	Arena gruesa	1,47	0,003	Pobrementemente seleccionada
Q8	Verano	13,89	86,10	0,01	0,3	0,81	Arena gruesa	1,25	0,002	Pobrementemente seleccionada
	Otoño	2,89	96,99	0,12	1,86	0,28	Arena media	0,89	0,002	Moderadamente seleccionada
	Invierno	31,94	68,01	0,05	-0,44	1,35	Arena muy gruesa	1,05	0,002	Pobrementemente seleccionada
	Primavera	11,4	88,6	0,0	0,70	0,62	Arena gruesa	1,12	0,002	Pobrementemente seleccionada
Q9	Verano	24,64	74,90	0,47	-0,09	1,06	Arena muy gruesa	1,3	0,002	Pobrementemente seleccionada
	Otoño	15,07	84,84	0,08	0,19	0,88	Arena gruesa	1,21	0,002	Pobrementemente seleccionada
	Invierno	16,75	83,19	0,06	0,35	0,79	Arena gruesa	1,25	0,002	Pobrementemente seleccionada
	Primavera	35,8	64,2	0,0	-0,21	1,15	Arena muy gruesa	1,58	0,003	Pobrementemente seleccionada
C2	Verano	38,28	61,71	0,01	-0,67	1,59	Arena muy gruesa	0,86	0,002	Moderadamente seleccionada
	Otoño	32,37	67,60	0,04	-0,45	1,37	Arena muy gruesa	1,01	0,002	Pobrementemente seleccionada
	Invierno	15,48	84,52	0,0	-0,36	1,28	Arena muy gruesa	0,66	0,002	Moderadamente bien seleccionada
	Primavera	20,70	79,1	0,2	0,30	0,81	Arena gruesa	1,31	0,002	Pobrementemente seleccionada
C3	Verano	33,74	65,87	0,39	0,27	0,83	Arena gruesa	1,29	0,002	Pobrementemente seleccionada
	Otoño	42,23	57,34	0,43	-0,27	1,20	Arena muy gruesa	1,30	0,002	Pobrementemente seleccionada
	Invierno	1,05	98,88	0,07	0,71	0,61	Arena gruesa	1,35	0,003	Pobrementemente seleccionada
	Primavera	29,80	69,8	0,4	0,30	0,81	Arena gruesa	1,47	0,003	Pobrementemente seleccionada
C4	Verano	51,50	48,48	0,02	-0,9	1,86	Arena muy gruesa	0,56	0,001	Moderadamente bien seleccionada
	Otoño	37,41	62,44	0,15	0,04	0,97	Arena gruesa	1,22	0,002	Pobrementemente seleccionada
	Invierno	1,05	98,86	0,09	1,55	0,34	Arena media	0,91	0,002	Moderadamente seleccionada
	Primavera	20,2	78,8	1,0	0,89	0,54	Arena gruesa	1,96	0,004	Pobrementemente seleccionada

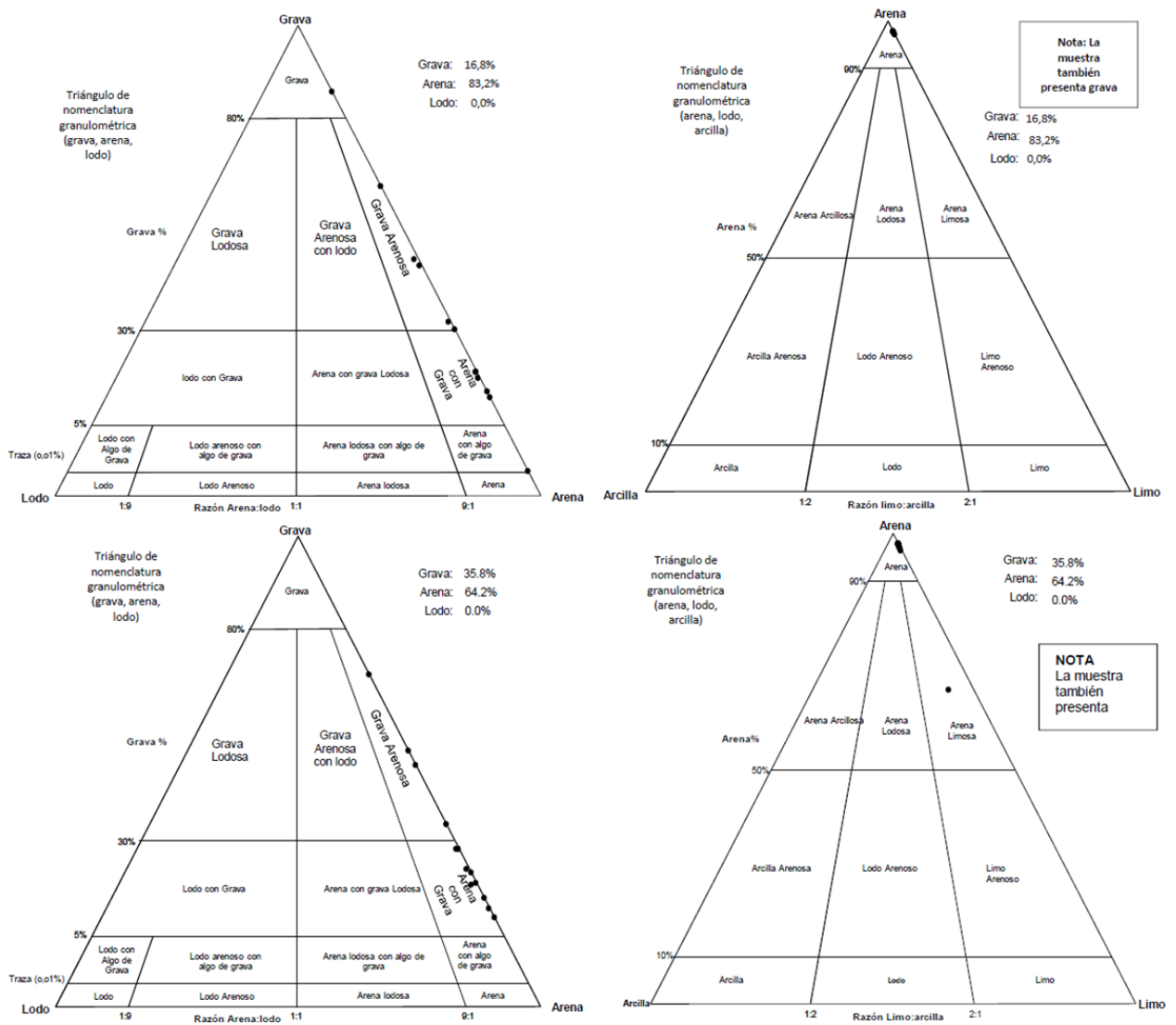
Fuente: elaboración del consultor en base a lo reportado por el laboratorio Cenam.

Figura 3.2.10-147. Triángulo de composición textural de grava, lodo, arena (GLA) y Triángulo de composición textural de arena, arcilla, limo (AAL). Panel superior: Verano 2015; Panel inferior: otoño 2015. Teck – QB2.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.2.10-148. Triángulo de la composición textural de grava, lodo, arena (GLA) y Triángulo de la composición textural de arena, arcilla, limo (AAL). Panel superior: Invierno 2015; Panel inferior: primavera 2015. Teck – QB2.



Fuente: Elaboración propia.

- Materia Orgánica Total (M.O.T.)

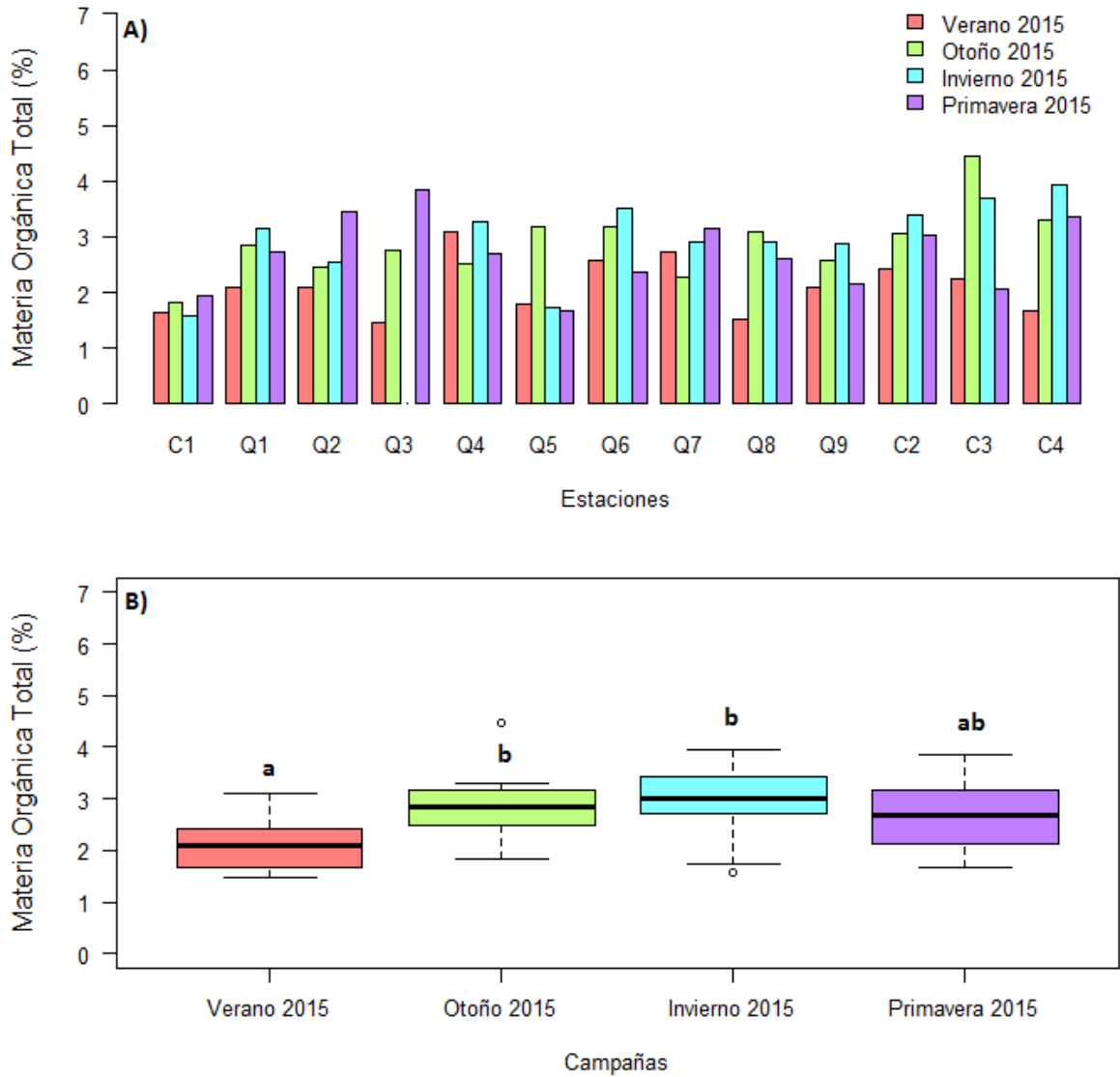
El nivel promedio de M.O.T. en sedimentos superficiales en la campaña de verano 2015 promedió $2,11\% \pm 0,5\%$, con un rango absoluto de variación entre $1,47\% - 3,1\%$, en las estaciones Q6 y Q7, respectivamente; por su parte, durante el otoño el promedio de M.O.T. fue $2,89\% \pm 0,64\%$, con un rango entre $1,82\% - 4,46\%$, en las estaciones C1 y Q2, respectivamente; en invierno promedió $2,95\% \pm 0,72\%$ y varió entre $1,57\%$ y $3,94\%$ en C1 y Q3, respectivamente; por último, durante la primavera de 2015 el M.O.T. promedió $2,69\% \pm 0,65\%$ variando entre $1,67\%$ y $3,84\%$ en Q8 y Q6, respectivamente (ver Figura 3.2.10-149).

La concentración promedio del M.O.T. en el área costera evaluada, presenta diferencias significativas entre campañas estacionales de línea de base (Prueba de ANOVA; $p = 0,00567$), donde los niveles promedio de este analito en otoño e invierno fueron significativamente mayores al promedio estival (Prueba *a posteriori* de Tukey, $p=0,0147$ (otoño), $p=0,0085$ (invierno)).

No es posible apreciar ningún patrón o tendencia espacial en la concentración de este analito en los sedimentos superficiales submareales del área costera evaluada, la Figura 3.2.10-149 no evidencia un gradiente latitudinal entre estaciones distribuidas a lo largo de la zona costera evaluada.

Como valor de referencia nacional de calidad de sedimentos respecto del M.O.T., el D.S. (MINECON) N°320/2001 y su resolución acompañante, normativas aplicables a actividades de acuicultura en Chile (y única disponible para la materia orgánica en Chile), establecen un límite de aceptabilidad para esta variable en sedimentos marinos de 9% . Por lo tanto, todas las estaciones de las cuatro campañas estacionales registraron valores inferiores a dicha referencia.

Figura 3.2.10-149. Concentración de M.O.T. en sedimentos submareales por cada estación de muestreo evaluada (C1 estación más al sur y C4 estación dispuesta más al norte), durante las cuatro campañas estacionales. Teck – QB2, verano 2015.



Fuente: Elaboración propia.

3.2.10.2.7 Síntesis y Conclusiones

Las condiciones oceanográficas en el borde costero caracterizadas a través del análisis de perfiles verticales, sobre las mediciones efectuadas durante las campañas de verano, otoño, invierno y primavera de 2015, revelan un comportamiento homogéneo y estable de la columna de agua sub-superficial ($N^2 > 0$, Gill, A. E. 1982), durante los periodos muestreados, sin la presencia de una termoclina estacional, ni la presencia de fuertes gradientes salinos. Cabe destacar que el área evaluada se inserta en un borde costero de características expuestas a las condiciones oceánicas predominantes, lo que podría explicar la condición de estabilidad de la columna de agua durante todo el periodo anual evaluado.

La estructura térmica de la columna de agua se caracterizó por presentar una leve disminución de la temperatura hacia las capas sub-superficiales y de fondo. Se observó además, la intrusión de aguas levemente más cálidas en la capa superficial desde la zona sur, lo cual se puede explicar debido a lo somero del sector, que permitiría el mayor calentamiento a través del transporte de calor desde la atmosfera por insolación, presentándose aguas levemente más frías en el área de emplazamiento del proyecto debido a las mayores profundidades.

La salinidad presentó una estructura vertical similar en todas las estaciones analizadas, con una columna de agua homogénea sin la presencia de una haloclina estacional.

La concentración de oxígeno disuelto (OD) presentó un comportamiento similar en todas las estaciones monitoreadas con bajas concentraciones de OD en las capas sub-superficiales, las cuales disminuyen a medida que se incrementa la profundidad.

En términos de la distribución del pH y los bajos valores observados durante el otoño, podrían deberse a fluctuaciones naturales del pH debido a procesos activos de fotosíntesis debido a *bloom* (florecimientos) de microalgas, producto a la actividad de respiración que provoca la disminución del pH con la consecuente acidificación del sistemas (Cornwall *et al.*, 2013).

En términos de la concentración de clorofila se pudo observar una condición oligotrófica (concentraciones 1 mg/m^3) durante la estación estival de verano e invierno (bajos valores de clorofila-a, indicativo de bajas concentraciones de nutrientes, Smith *et al.*, 1999). A diferencia de otoño y primavera que las concentraciones fueron altas (concentraciones de clorofila-a > 5 , Smith *et al.*, 1999).

En este caso particular, el área costera evaluada estaría siendo influenciada por la intrusión de ASTS, lo cual explicaría la presencia de aguas de mayores salinidades, aguas levemente más oxigenadas y la ausencia de una zona de una Zona Mínima de Oxígeno (ZMO $< 1 \text{ ml/L}$), ya que existiría una menor participación de AESS en la mezcla de masas de agua nivel local. La mayor influencia y participación de ASTS se puede explicar debido a la evolución del evento “El Niño” para la región (<http://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/enso/current/>).

Respecto de la calidad del agua, de un total de setenta y nueve (79) elementos evaluados en la columna de agua durante las cuatro (4) campañas estacionales, treinta y seis (36) de ellos presentaron niveles inferiores al límite de detección de la respectiva metodología analítica empleada por el Laboratorio ALS Patagonia S.A., tal es el caso de 2 metilnaftaleno, aceites y grasas, acenafteno, acenaftileno, acridina, antraceno, benzo (a) pireno, benzo (b) fluoranteno, benzo (k) fluoranteno, benzo (a) antraceno, benzo (g,h,i) perileno, ClO_3 clorato, coliformes fecales, criseno, cromo hexavalente, DBO5, dibenzo (a) antraceno, dibromoclorometano, diclorobromometano, tetracloroetileno, tribromometano, triclorometano, fenantreno, fluoranteno, fluoreno, hidrocarburos fijos, hidrocarburos totales, hidrocarburos volátiles, indeno (1,2,3-cd) pireno, naftaleno, pireno, quinolina, sólidos sedimentables, plata, berilio y mercurio.

Respecto de aquellos analitos que presentaron valores cuantificables en la presente campaña, y que fueron empleados en este capítulo para una caracterización más detallada de la calidad de la columna de agua, es posible destacar que su distribución vertical fue homogénea entre superficie y fondo, no registrándose diferencias estadísticas entre ambos estratos, tal es el caso de los siguientes analitos: conductividad eléctrica, fluoruros, nitrógeno total Kjeldahl (NTK), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos disueltos totales (SDT), sulfatos, fósforo total y los metales disueltos As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mo, ni, , Mo, Ni, Pb, Sn y Zn. Esta condición muy probablemente se encuentra modulada por la estabilidad de la columna de agua comentada en los párrafos precedentes ($N^2 > 0$, Gill, A. E. 1982), la cual es permanente a lo largo del año. En términos espaciales, si bien es cierto algunos de estos analitos mostraron cierta variabilidad, no se detectó ningún patrón o tendencia clara respecto de esa variabilidad espacial a lo largo del gradiente costero norte-sur evaluado en el presente estudio (desde Punta Patache hasta sector Chanavayita, aproximadamente). El análisis del comportamiento temporal de estos analitos, mostró la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre campañas estacionales, identificándose que la conductividad eléctrica, SST, sulfatos, NTK y los metales disueltos Sn y Zn presentaron concentraciones significativamente mayores durante la campaña de verano; en otoño de 2015 se presentaron los mayores niveles promedio en el SDT y Fe, mientras que en la condición estacional de invierno los analitos más importantes en términos de concentración promedio fueron el F, Cd, Cu, Mo, P y Pb.

Respecto de la calidad de sedimentos, del total de treinta (30) elementos evaluados en los sedimentos intermareales durante las cuatro (4) campañas estacionales, solo cinco (5) de ellos presentaron niveles inferiores al límite de detección de la respectiva metodología analítica aplicada por Laboratorio ALS Patagonia S.A., tal es caso de la plata, berilio, molibdeno, plomo y antimonio. Respecto de aquellos elementos sobre la base de los cuales se concentra el presente análisis (esto es, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, P, Sn y Zn), y que presentaron valores cuantificables según lo informado por el laboratorio analítico en, al menos, una de las seis estaciones o transectos monitoreados durante las cuatro campañas de línea de base, es posible establecer que el cromo, hierro, mercurio, níquel y zinc no registraron concentraciones promedio por campaña por sobre los estándares internacionales de referencia consultados; por su parte el arsénico en otoño y cadmio en verano presentaron concentración promedio igual al umbral LEL o nivel de más bajo efecto (*Lowest Effect Level*) establecido en la Guía para la

Protección y Manejo de la calidad de Sedimentos en Ontario, Canadá (Persaud *et al.*, 1993), y que corresponde a una concentración que podría ser tolerado por la mayoría de los organismos bentónicos que habitan la matriz sedimentaria; el fósforo total mostró la misma condición para la concentración promedio registrada en primavera e incluso supera el límite o umbral SEL de la misma Guía (SEL= **Severe Effect Level**, que implicaría efectos perjudiciales en la mayoría de los organismos bentónicos), en cinco de las seis estaciones o transectos intermareales evaluados. El cobre por su parte, registró un nivel promedio superior al LEL en cuatro transectos (T2_(verano-invierno), T4_(primavera), T8_(otoño-invierno y primavera), y T9_(primavera)), y también al umbral ISQG/TEL establecido en la Guía de calidad para sedimentos o ISQG (derivado del inglés "**Interim Sediment Quality Guidelines**"), donde TEL (**Threshold Effects Level**) representa concentraciones umbrales de sustancias químicas (en este caso el cobre), bajo las cuales no se esperan efectos adversos en la biota (es decir, un rango de mínimos efectos).

El análisis de la variabilidad espacial a nivel intermareal de las concentraciones puntuales de los analitos que superaron la normativa de calidad de sedimentos consultada, advierte un patrón o tendencia a agrupar las mayores concentraciones en los transectos ubicados al sur del área costera evaluada, específicamente en T8-T9 (playa Cádiz) y T13-T14 (playa Chauca), tal es el caso del arsénico, cadmio, cromo, cobre y fósforo total. Por su parte el análisis de la variabilidad temporal en las concentraciones promedio de los analitos durante todo el período de estudio, indica en la mayoría de los casos, que los niveles registrados no presentan diferencias estadísticas entre las distintas campañas estacionales evaluadas, este es el caso del arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro, níquel, fósforo total, estaño y cinc. La excepción a esta tendencia se observa para el mercurio, ya que la concentración promedio de invierno fue superior que el informado en las campañas restantes.

Respecto de los sedimentos submareales, se evaluó una batería de cincuenta y ocho (58) analitos medidos durante las cuatro (4) campañas de línea de base, veinticuatro (24) de ellos presentaron valores bajo el límite de detección de la metodología empleada (< L.D.), en todas las estaciones y campañas efectuadas.

Respecto de aquellos analitos sobre la base de los cuales se basó la presente caracterización y que presentaron valores cuantificables según lo informado por el laboratorio analítico (ALS Patagonia), es posible destacar que las concentraciones promedio por campaña estacional de carbono orgánico total (COT), fósforo total, arsénico, cadmio y cobre, fueron superiores a los umbrales de calidad consultados en al menos una condición estacional (LEL – ISQG/TEL), de los cuales es importante destacar la condición presentada por el fósforo total ya que de los 52 registros puntuales obtenidos, 37 superaron el umbral LEL y de ellos 4 el umbral de efectos severos (SEL) establecido en la Guía para la Protección y Manejo de la calidad de Sedimentos en Ontario, Canadá (Persaud *et al.*, 1993). Por su parte el cromo, hierro, mercurio, níquel y zinc registraron concentraciones promedio por debajo de dichos límites referenciales de calidad en todas las campañas efectuadas, aunque algunos de estos analitos presentaron niveles puntuales por sobre dichos umbrales (por ejemplo el cromo en verano presentó valores por sobre el umbral LEL en C1 y Q6). Para el caso de los hidrocarburos totales de petróleo y estaño

no se dispone de valores umbrales en las referencias internacionales consultadas, no obstante, dichos analitos registraron preferentemente niveles bajo los respectivos límites de detección de las respectivas metodologías empleadas.

El análisis de la variabilidad temporal en las concentraciones promedio de los analitos medidos en los sedimentos submareales durante todo el período de estudio, revela ausencia de diferencias significativas entre campañas para el arsénico, cadmio, cromo, cobre, fósforo, níquel y estaño; por el contrario, en el caso del carbono orgánico total (COT), hidrocarburos totales de petróleo (HTP), hierro, mercurio y zinc, sí se observaron diferencias estacionales pero sin una tendencia evidente que permitan asociar esas diferencias a una época en particular del año, ya que por ejemplo los HTP y Fe mostraron niveles mayores en verano, el Zn en primavera, el COT en invierno y el Hg fue más representativo en términos de concentración promedio durante otoño e invierno de 2015. Es importante tener en consideración que en ambientes costeros someros de alta exposición (como el del área de implementación del presente proyecto), los sedimentos submareales presentan una alta variabilidad temporal debido a procesos de erosión y transporte, producto de las condiciones hidrodinámicas locales imperantes: oleaje, ondas de tormenta, corrientes de mareas, entre otras.

3.2.10.2.8 Bibliografía

a) Oceanografía física

Carrasco. R. (2000). Calculo de la Capacidad de Dispersión Superficial con Rodamina WT en Bahía Coliumo. Análisis de Metodologías. Seminario de Título. Universidad de Concepción. 47.

Carter. H. H. y A. Okubo, (1965). A Study of the physical processes and movement and dispersión in the Cape Kennedy área. Chesapeake Bay Inst., The John Hopkins Univ., Ref. 65-2, 162p.

Joyce. T. (1989). On in situ calibration of shipboard ADCPs. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology 6: 169-172.

Okubo A. (1980). Diffusion and ecological problems: mathematical models. Biomathematic Vol. 10. Springer- Verlag, Berlin Heidelberg, New York. 255 pp.

Okubo. A. (1971). Oceanic diffusion diagrams. Deep-Sea Research, Vol. 18, pp. 789 to 802.

Pickard.G. and W. Emery. (1982). Descriptive Physical Oceanography. An introduction. Pergamon Press. 249.

Trump. C.L., Marmorino, G. (1997). Calibrating a gyrocompass using ADCP and DGPS data. J. Atmos. Ocean. Technol. 14, 211–214.

Valle-Levinson.A. & L. P. Atkinson. (1999). Spatial gradients in the flow over an estuarine channel. Estuaries 22 (2A): 179-193.

b) Oceanografía química

Anderson. W.B. & Polis, G.A. (1999). Nutrient fluxes from water to land: seabirds affect plant nutrient status on Gulf of California Islands. Oecología, 118, 324 – 332.

Blott. S.J. y Pye K. 2001. Earth Surface Processes and Landforms Earth Surf. Process. Landforms 26, 1237–1248 (2001) DOI: 10.1002/esp.261.

Byers. S., C. Mills. y P. Steward. (1978). A Comparison of methods of determining organic carbon in marine sediments, with suggestions for a standard method. Hydrobiology. 58 (1): 43-47.

CCME. (2002). Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life.

Cornwall. C., Hepburn. C., McGraw. C., Currie. K., Pilditch. C., Hunter. K., Boyd. P., Hurd. C. (2013). Diurnal fluctuations in seawater pH influence the response of a calcifying macroalga to ocean acidification. Proc Biol Sci. 9; 280(1772):20132201. doi: 10.1098/rspb.2013.2201.

Croghan. C., and P. P. Egeghy. (2003). Methods of Dealing with Values below the Limit of Detection Using SAS. Presented at Southern SAS User Group, St. Petersburg, FL, and September 22-24.

Declaración de impacto ambiental (DIA) Puerto Pacífico, (2011). Dragado de Profundización Portuaria sitio4 del Puertode Iquique. (<http://seia.sea.gob.cl/busqueda/buscarProyectoAction.php?nombre=Dragado%20de%20Profundizaci%F3n%20Portuaria%20>)

EPA. (2004). Revised assessment of detection and quantitation approaches. Engineering and analysis division office of science and technology office of water. U.S. Environmental Protection Agency. EPA-821-B-04-005. 254 pp.

Estudio de impacto Ambiental (EIA) proyecto Central Patache S.A., (2009). (http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=ficha&id_expediente=3761339)

Estudio de impacto Ambiental (EIA) proyecto Terminal Marítimo Puerto Pacífico, (2014). (<http://seia.sea.gob.cl/busqueda/buscarProyectoAction.php?nombre=Terminal%20Mar%EDtimo%20Puerto%20Pac%EDfico>)

Estudio de Impacto Ambiental (EIA) proyecto Terminal N°2 Puerto Patillos, (2004). (http://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=ficha&id_expediente=6292)

Folk. R. y Ward. W. (1957). Brazos River bar, a study in the significance of grain-size parameters. J. Sediment. Petrol. 27: 3-27.

Gill. A. E. (1982). Atmosphere-Ocean Dynamics Int. Geophys. Ser., Vol.30. Academic Press, 662 pp.

Helly. J.J., Levin. L.A. (2004). Global distribution of naturally occurring marine hypoxia on continental margins. Deep-Sea Research Part I-Oceanographic Research Papers. 51:1159-1168.

MINECON, (2001). D.S. N° 320. Reglamento Ambiental para la Acuicultura. Ministerio de Economía Fomento y Reconstrucción.

Persaud. D., Jaagumagi. R. & Hayton. A. (1993). Guidelines for the protection and management of aquatic sediment quality in Ontario. Ministry of Environment Energy. 141, 165p p.

Schneider. G., R. Fuenzalida., J. Garcés-Vargas., L. Bravo., C. Lange. (2006). Vertical and horizontal extension of the oxygen minimum zone in the eastern south Pacific Ocean. Gayana 70: 79-82, 2006

Shapiro. S., Wilk. M., (1972). An analysis of variance test for the exponential distribution (complete samples). *Technometrics* 14: 355–370.

Silva. N. & D. Konow. (1975). Contribución al conocimiento de las masas de agua en el Pacífico Sudoriental, Expedición Krill, Crucero 3-4. Julio-Agosto 1974. *Rev. Com. Perm. Pacífico Sur*. 3: 63-75.

Silva. N. (1983). Masas de agua y circulación en la región norte de Chile Latitudes 18°S-32°S, (Operación Oceanográfica Marchile XI –Efren II). *Ciencia y Tecnología del Mar* 7:47-84.

Smith. V. H., G. Tilman., J., Nekola. (1999). Eutrophication: Impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution* 100: 179-196

Sokal. R., Rohlf. F. (1979). *Biometria. Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica*. Madrid: Blume Ediciones.

Valdenegro. A. & N. Silva. (2003). Caracterización oceanográfica física y química de la zona de canales y fiordos australes de Chile entre el estrecho de Magallanes y cabo de Hornos (CIMAR 3 Fiordos). *Ciencia y Tecnología Marina*. 26(2): 19-60.

Wentworth. C.K. (1922). A scale of grade and class terms for classic sediments; *Journal of Geology*. 30: 377-392

Zar. J. (1996). *Biostatistical analysis*. New jersey: prentice-hall. Englewood cliffs. Florida Marine Research institute St. Petersburg. Florida. EEUU.

c) Recursos digitales empleados:

www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#declination

www.scilab.org

<http://odv.awi.de>

www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#declination

<http://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/enso/current/>