



Memoria de titulación para optar al Título de
Ingeniero Civil Oceánico

**CARACTERIZACIÓN Y MODELADO DE LAS CONDICIONES
AMBIENTALES EN BAHÍA CHAPACO, COMUNA DE
HUASCO, REGIÓN DE ATACAMA**

Alejandro Anselmo Vera Rail

Junio 2019

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de
Huasco, Región de Atacama.

Alejandro Vera Rail

COMISIÓN REVISORA	NOTA	FIRMA
PATRICIO WINCKLER GREZ Profesor guía	_____	_____
MAURICIO MOLINA PEREIRA Docente	_____	_____
MAURICIO REYES GALLARDO Docente	_____	_____

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Nancy y Carlos con todo mi amor

A toda mi familia

A BENTOS por hacer posible este Proyecto de Título

En memoria de Leonor Vega Arias

DECLARACIÓN

Este trabajo o alguna de sus partes no ha sido presentado anteriormente en la Universidad de Valparaíso, institución universitaria chilena o extranjera u organismo de carácter estatal, para evaluación, comercialización u otros propósitos. Salvo las referencias citadas en el texto, confirmo que el contenido intelectual de este Proyecto de Título es resultado exclusivamente de mis esfuerzos personales.

La Universidad de Valparaíso reconoce expresamente la propiedad intelectual del autor sobre esta Memoria de Titulación. Sin embargo, en caso de ser sometida a evaluación para los propósitos de obtención del Título Profesional de Ingeniero Civil Oceánico, el autor renuncia a los derechos legales sobre la misma y los cede a la Universidad de Valparaíso, la que estará facultada para utilizarla con fines exclusivamente académicos.

Alejandro Vera Rail

Patricio Winckler Grez

CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	1
2	OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS	3
3	MARCO TEORICO Y RESULTADOS	4
3.1	BATIMETRÍA	4
3.1.1	Batimetría multihaz	4
3.1.2	Batimetría final y línea de costa	7
3.2	MAREAS	14
3.2.1	Análisis de marea	15
3.2.2	Análisis no armónico	18
3.2.3	Análisis armónico	19
3.3	VIENTOS	23
3.3.1	Análisis de toda la base de datos	25
3.4	OLAS	28
3.4.1	Oleaje en aguas profundas	28
3.4.2	Transferencia del oleaje hacia aguas someras	29
3.4.3	Oleaje en aguas someras	35
3.4.4	Validación del modelo	44
3.4.5	Análisis extremo de oleaje	55
3.5	CORRIENTES	60
3.5.1	Corrientes eulerianas	60
3.5.2	Procesamiento y análisis de datos	61
3.6	MODELO CORRIENTES	62
3.6.1	Región de modelación	62
3.6.2	Condiciones de borde	63
3.6.3	Mareas asociadas a las regiones abiertas	65
3.6.4	Malla de elementos finitos	66
3.6.5	Calibración del modelo	67
3.6.6	Resultados	70
3.7	CARACTERIZACIÓN DE LA ACTUAL DESCARGA	78

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna
de Huasco, Región de Atacama.

4	CONCLUSIONES	84
5	REFERENCIAS	86
6	ANEXOS	87
6.1	SOLICITUD PERMISO SHOA DECRETO SUPREMO 711.	87
6.2	DECRETO ORDINARIO SHOA N°13270/24/123/vrs	91
6.3	SOLICITUD DE INSTALACIÓN INSTRUMENTAL.	93
6.4	ACTAS DE INSPECCIÓN.	94
6.5	FOTOGRAFÍAS DE TERRENO.	100
6.6	RESULTADOS REGIMEN DE VIENTOS	103
6.6.1	Análisis de la variabilidad estacional	103
6.6.2	Análisis de la variabilidad interanual (mensual)	106
6.6.3	Análisis de la variabilidad horaria	117
6.7	RESULTADOS REGIMEN DE CORRIENTES	123
6.7.1	Resultados campaña de verano	123
6.7.2	Resultados campaña de invierno	139
6.8	RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN de modelo corrientes	157

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - 1: Bahía chapaco, huasco, región de atacama	2
Figura 3.1.1 - 1: Planificación de áreas de levantamiento con multihaz	6
Figura 3.1.1 - 2: Plano batimétrico levantado mediante multihaz	7
Figura 3.1.2 - 1: Información batimétrica obtenida de gebco	8
Figura 3.1.2 - 2: Digitalización carta náutica N° 3000	9
Figura 3.1.2 - 3: Digitalización carta náutica N° 3211	9
Figura 3.1.2 - 4: Levantamiento batimétrico realizado por Bentos	10
Figura 3.1.2 - 5: Integración de todas las fuentes batimétricas	11
Figura 3.1.2 - 6: Imagen 3D de la batimetría final	12
Figura 3.1.2 - 7: Batimetría incorporada software Surface Water Modeling System	13
Figura 3.2 - 1: Ubicación del mareógrafo, anemómetro y correntómetros	14
Figura 3.2.1 - 1: Nivel registrado y periodo de ocurrencia de terremoto japon 2011	16
Figura 3.2.1 - 1: Altura de nivel del mar registrada y ubicación de gaps	16
Figura 3.3.1 - 1: Magnitud del viento para toda la base de datos registrada	26
Figura 3.3.1 - 2: Magnitud máxima del viento para toda la base de datos	26
Figura 3.3.1 - 3: Rosa de viento e histograma de frecuencia toda la base de datos	27
Figura 3.3.2 - 1: Rosa de viento e histograma de frecuencia verano	104
Figura 3.3.2 - 2: Rosa de viento e histograma de frecuencia otoño	105
Figura 3.3.2 - 3: Rosa de viento e histograma de frecuencia invierno	105
Figura 3.3.2 - 4: Rosa de viento e histograma de frecuencia primavera	106

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna
de Huasco, Región de Atacama.

Figura 3.3.3 - 1: Rosa de viento e histograma de frecuencia enero	107
Figura 3.3.3 - 2: Rosa de viento e histograma de frecuencia febrero	108
Figura 3.3.3 - 3: Rosa de viento e histograma de frecuencia marzo	108
Figura 3.3.3 - 4: Rosa de viento e histograma de frecuencia abril	110
Figura 3.3.3 - 5: Rosa de viento e histograma de frecuencia mayo	110
Figura 3.3.3 - 6: Rosa de viento e histograma de frecuencia junio	111
Figura 3.3.3 - 7: Rosa de viento e histograma de frecuencia julio	113
Figura 3.3.3 - 8: Rosa de viento e histograma de frecuencia agosto	113
Figura 3.3.3 - 9: Rosa de viento e histograma de frecuencia para septiembre	114
Figura 3.3.3 - 10: Rosa de viento e histograma de frecuencia para octubre	115
Figura 3.3.3 - 11: Rosa de viento e histograma de frecuencias para noviembre	116
Figura 3.3.3 - 12: Rosa de viento e histograma de frecuencia para diciembre	116
Figura 3.3.4 - 1: Rosa de viento e histograma de frecuencia hora 00:00	118
Figura 3.3.4 - 2: Rosa de viento e histograma de frecuencia hora 04:00	119
Figura 3.3.4 - 3: Rosa de viento e histograma de frecuencia hora 08:00	119
Figura 3.3.4 - 4: Rosa de viento e histograma de frecuencia hora 12:00	120
Figura 3.3.4 - 5: Rosa de viento e histograma de frecuencia hora 16:00	121
Figura 3.3.4 - 6: Rosa de viento e histograma de frecuencia hora 20:00	122
Figura 3.4.1 - 1: Serie de tiempo Nodo 28 altura y periodo vs dirección	28
Figura 3.4.1 - 2: Ubicación Nodo 28	29
Figura 3.4.2 - 1: Malla de propagación resolución de 100 m y de 20 m	31

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

Figura 3.4.2 - 2: Información de la configuración malla espectral	32
Figura 3.4.2 - 3: Ubicación de los puntos de control	33
Figura 3.4.3 - 1: Incidencia de alturas y periodos punto descarga de emisario	39
Figura 3.4.3 - 2: Probabilidad de ocurrencia de altura en descarga del emisario	39
Figura 3.4.3 - 3: Incidencia de alturas y periodos punto de ubicación del ADCP	43
Figura 3.4.3 - 4: Probabilidad de ocurrencia de altura en ubicación del ADCP	43
Figura 3.4.4 - 1: Incidencia de alturas y periodos datos medidos por el ADCP	50
Figura 3.4.4 - 2: Probabilidad de ocurrencia altura para datos medidos por ADCP	50
Figura 3.4.4 - 3: Alturas y periodos para datos oceanor coincidentes el período	54
Figura 3.4.4 - 4: Probabilidad de ocurrencia altura significativa para datos oceanor coincidentes el período de medición	54
Figura 3.4.5 - 1: Distribución de altura significativa extrema, weibull con $k=2$	60
Figura 3.5.3 - 1: Rosa e histograma de frecuencia en el nivel superficial (32 m)	125
Figura 3.5.3 - 2: Rosa e histograma de frecuencia en el nivel intermedio (76 m)	125
Figura 3.5.3 - 3: Rosa e histograma de frecuencia en el nivel profundo (120 m)	126
Figura 3.5.3 - 4: Diagrama de vector progresivo registrada en el nivel superficial en estación 1 (32 m)	127
Figura 3.5.3 - 5: Diagrama de vector progresivo registrada en el nivel intermedio en estación 1 (76 m)	127
Figura 3.5.3 - 6: Diagrama de vector progresivo registrada en el nivel profundo en estación 1 (120 m)	128

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

Figura 3.5.3 - 7: Rosa e histograma de frecuencia en el nivel superficial (10 m)	130
Figura 3.5.3 - 8: Rosa e histograma de frecuencia en el nivel intermedio (26 m)	131
Figura 3.5.3 - 9: Rosa e histograma de frecuencia en el nivel profundo (42 m)	131
Figura 3.5.3 - 10: Diagrama de vector progresivo registrada en el nivel superficial en estación 2 (10 m)	132
Figura 3.5.3 - 11: Diagrama de vector progresivo registrada en el nivel intermedio en estación 2 (26 m)	133
Figura 3.5.3 - 12: Diagrama de vector progresivo registrada en el nivel profundo en la estación 2 (42 m)	133
Figura 3.5.3 - 13: Rosa e histograma de frecuencia en el nivel superficial (3 m)	136
Figura 3.5.3 - 14: Rosa e histograma de frecuencia en el nivel intermedio (10 m)	136
Figura 3.5.3 - 15: Rosa e histograma de frecuencia en el nivel profundo (16 m)	137
Figura 3.5.3 - 16: Diagrama de vector progresivo registrada en el nivel superficial en la estación 3 (3 m)	138
Figura 3.5.3 - 17: Diagrama de vector progresivo registrada en el nivel intermedio en estación 3 (10 m)	138
Figura 3.5.3 - 18: Diagrama de vector progresivo registrada en el nivel profundo en la estación 3 (16 m)	139
Figura 3.5.4 - 1: Rosa e histograma de frecuencia en el nivel superficial (11 m)	142
Figura 3.5.4 - 2: Rosa e histograma de frecuencia en el nivel intermedio (67 m)	142
Figura 3.5.4 - 3: Rosa e histograma de frecuencia en el nivel profundo (119 m)	143

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna
de Huasco, Región de Atacama.

Figura 3.5.4 - 4: Diagrama de vector progresivo registrada en el nivel superficial en estación 1 (11 m)	144
Figura 3.5.4 - 5: Diagrama de vector progresivo registrada en el nivel intermedio en estación 1 (67 m)	144
Figura 3.5.4 - 6: Diagrama de vector progresivo registrada en el nivel profundo en estación 1 (119 m)	145
Figura 3.5.4 - 7: Rosa e histograma de frecuencia en el nivel superficial (9 m)	148
Figura 3.5.4 - 8: Rosa e histograma de frecuencia en el nivel intermedio (61 m)	148
Figura 3.5.4 - 9: Rosa e histograma de frecuencia en el nivel profundo (109 m)	149
Figura 3.5.4 - 10: Diagrama de vector progresivo registrada en el nivel superficial en la estación 2 (9 m)	150
Figura 3.5.4 - 11: Diagrama de vector progresivo registrada en el nivel intermedio en estación 2 (61 m)	150
Figura 3.5.4 - 12: Diagrama de vector progresivo registrada en el nivel profundo en estación 2 (109 m)	151
Figura 3.5.4 - 13: Rosa e histograma de frecuencia en el nivel superficial (4 m)	154
Figura 3.5.4 - 14: Rosa e histograma de frecuencia en el nivel intermedio (12 m)	154
Figura 3.5.4 - 15: Rosa e histograma de frecuencia en el nivel profundo (19 m)	155
Figura 3.5.4 - 16: Diagrama de vector progresivo registrada en el nivel superficial en la estación 3 (4 m)	156

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

Figura 3.5.4 - 17: Diagrama de vector progresivo registrada en el nivel intermedio en estación 3 (12 m)	156
Figura 3.5.4 - 18: Diagrama de vector progresivo registrada en el nivel profundo en la estación 3 (19 m)	157
Figura 3.6.1 - 1: Región de modelación	63
Figura 3.6.2 - 1: Región de modelación	64
Figura 3.6.4 - 1: Malla de elementos finitos	66
Figura 3.6.5 - 1: Ubicación de instalación de correntómetros y mareógrafo	67
Figura 3.6.5 - 2: Resultado del ajuste para la componente ortogonal $u(m/s)$	68
Figura 3.6.5 - 3: Resultado del ajuste para la componente ortogonal $v(m/s)$	68
Figura 3.6.5 - 4: Correlación componente ortogonal $u(m/s)$	69
Figura 3.6.5 - 5: Correlación componente ortogonal $v(m/s)$	69
Figura 3.6.6 - 1: Salida ADCIRC para sicigia en llenante, campaña de verano	70
Figura 3.6.6 - 2: Salida ADCIRC para sicigia en vaciante, campaña de verano	71
Figura 3.6.6 - 3: Salida ADCIRC para cuadratura en llenante, campaña verano	72
Figura 3.6.6 - 4: Salida ADCIRC para cuadratura en vaciante, campaña verano	73
Figura 3.6.6 - 5: Salida ADCIRC para cuadratura en llenante, campaña invierno	74
Figura 3.6.6 - 6: Salida ADCIRC para cuadratura en vaciante, campaña invierno	75
Figura 3.6.6 - 7: Salida ADCIRC para sicigia en llenante, campaña de invierno	76
Figura 3.6.6 - 8: Salida ADCIRC para sicigia en vaciante, campaña de invierno	77

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

Figura 3.7 - 1: Visualización de la pluma de descarga mediante la variación de intensidad del eco en la columna de agua	78
Figura 3.7 - 2: Transectos utilizados para detección de pluma	79
Figura 3.7 - 4: Interpretación de la pluma de descarga mediante variación de la intensidad de la señal del ADCP, medición de otoño	80
Figura 3.7 - 5: Pluma de descarga en marea llenante a 5m de profundidad	81
Figura 3.7 - 6: Pluma de descarga en marea llenante a 10m de profundidad	81
Figura 3.7 - 7: Pluma de descarga en marea llenante a 20m de profundidad	82
Figura 3.7 - 8 Pluma de descarga en marea vaciante a 5m de profundidad	82
Figura 3.7 - 9: Pluma de descarga en marea vaciante a 10m de profundidad	83
Figura 3.7 - 10: Pluma de descarga en marea vaciante a 20m de profundidad	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.2.2 - 1: Valores no-armónicos de la marea	18
Tabla 3.2.3 - 1: Principales constituyentes armónicos de mareas	21
Tabla 3.2.3 - 1: Principales constituyentes armónicos de mareas (continuación)	22
Tabla 3.3 - 1: Escala beaufort	25
Tabla 3.3.1 - 1: Incidencia del viento para toda la base de datos	27
Tabla 3.3.2 - 1: Incidencia del viento para verano	103
Tabla 3.3.2 - 2: Incidencia del viento para otoño	103
Tabla 3.3.2 - 3: Incidencia del viento para invierno	103
Tabla 3.3.2 - 4: Incidencia del viento para primavera	104
Tabla 6.6.2 - 1: Incidencia del viento para enero	106
Tabla 6.6.2 - 2: Incidencia del viento para febrero	106
Tabla 6.6.2 - 3: Incidencia del viento para marzo	107
Tabla 6.6.2 - 4: Incidencia del viento para abril	109
Tabla 6.6.2 - 5: Incidencia del viento para mayo	109
Tabla 6.6.2 - 6: Incidencia del viento para junio	109
Tabla 6.6.2 - 7: Incidencia del viento para julio	111
Tabla 6.6.2 - 8: Incidencia del viento para agosto	112
Tabla 6.6.2 - 9: Incidencia del viento para septiembre	112
Tabla 6.6.2 - 10: Incidencia del viento para octubre	114

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

Tabla 6.6.2 - 11: Incidencia del viento para noviembre	114
Tabla 6.6.2 - 12: Incidencia del viento para diciembre	115
Tabla 6.6.3 - 1: Incidencia del viento para la hora 00:00	117
Tabla 6.6.3 - 2: Incidencia del viento para la hora 04:00	117
Tabla 6.6.3 - 3: Incidencia del viento para la hora 08:00	117
Tabla 6.6.3 - 4: Incidencia del viento para la hora 12:00	118
Tabla 6.6.3 - 5: Incidencia del viento para la hora 16:00	120
Tabla 6.6.3 - 6: Incidencia del viento para la hora 20:00	121
Tabla 3.4.2 - 1: Direcciones propagadas para cada modelo	30
Tabla 3.4.2 - 2: Coeficientes de agitación y dirección en salida del emisario	34
Tabla 3.4.2 - 3: Coeficientes de agitación y dirección en el punto de ADCP	34
Tabla 3.4.3 - 1: Frecuencia de incidencia de Tp vs Hs en punto de descarga	36
Tabla 3.4.3 - 2: Frecuencia de incidencia de Hs v/s Dirección en punto de descarga del emisario	37
Tabla 3.4.3 - 3: Frecuencia de incidencia Tp v/s Dirección en punto de descarga	38
Tabla 3.4.3 - 4: Frecuencia de incidencia de Tp vs Hs en punto de ADCP	40
Tabla 3.4.3 - 5: Frecuencia de incidencia de Hs v/s Dirección en punto de ADCP	41
Tabla 3.4.3 - 6: Frecuencia de incidencia de Tp v/s Dirección en punto de ADCP	42
Tabla 3.4.3 - 7: Resumen estadístico del clima local de oleaje	44
Tabla 3.4.4 - 1: Resumen estadístico de datos promediados, Oceanor y mediciones in situ	45

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

Tabla 3.4.4 - 2: Frecuencia de incidencia de Tp vs Hs para los datos medidos por el ADCP	47
Tabla 3.4.4 - 3: Frecuencia de incidencia de Hs v/s Dirección para los datos medidos por el ADCP	48
Tabla 3.4.4 - 4: Frecuencia de incidencia de Tp v/s Dirección para los datos medidos por el ADCP	49
Tabla 3.4.4 - 5: Frecuencia de incidencia de Tp vs Hs para datos Oceanor promediados y coincidentes con el período de la medición	51
Tabla 3.4.4 - 6: Frecuencia de incidencia de Hs v/s Dirección para datos Oceanor promediados y coincidentes con la medición	52
Tabla 3.4.4 - 7: Frecuencia de incidencia de Tp v/s Dirección para datos Oceanor promediados y coincidentes con la medición	53
Tabla 3.4.5 - 1: Coeficientes empíricos fórmula de desviación	57
Tabla 3.4.5 - 2: Máximas anuales para 20 años de estadística en aguas profundas	58
Tabla 3.4.5 - 3: Valores de altura significativa para diferentes períodos de retorno	59
Tabla 3.4.5 - 4: Intervalos de confianza del 95% distintos períodos de retorno	59
Tabla 3.5.1 - 1: Información de fondeo de ADCP	61
Tabla 6.7.1 - 1: Estadística básica para la magnitud y componentes u-v de la corriente, registrada en la estación 1 (ADCP 1)	123
Tabla 6.7.1 - 2: Frecuencia de incidencia registrada en estación 1 superficie	124
Tabla 6.7.1 - 3: Frecuencia de incidencia registrada en estación 1 intermedio	124

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

Tabla 6.7.1 - 4: Frecuencia de incidencia registrada en estación 1 profundo	124
Tabla 6.7.1 - 5: Estadística básica para la magnitud y componentes u-v de la corriente, registrada en la estación 2 (adcp 2)	128
Tabla 6.7.1 - 6: Frecuencia de incidencia de la corriente registrada en la estación 2 (adcp 2-superficie) en superficie (10 m)	129
Tabla 6.7.1 - 7: Frecuencia de incidencia de la corriente registrada en la estación 2 (adcp 2-superficie) nivel intermedio (26 m)	129
Tabla 6.7.1 - 8: Frecuencia de incidencia de la corriente registrada en la estación 2 (adcp 2-superficie) en nivel profundo (42 m)	130
Tabla 6.7.1 - 9: Estadística básica de corriente en estación 3	134
Tabla 6.7.1 - 10: Frecuencia de incidencia de corriente registrada en estación 3 en superficie (3 m)	134
Tabla 6.7.1 - 11: Frecuencia de incidencia de corriente registrada en estación 3 en nivel intermedio (10 m)	135
Tabla 6.7.1 - 12: Frecuencia de incidencia de corriente registrada en estación 3 en nivel profundo (16 m)	135
Tabla 3.5.4 - 1: Estadística básica registrada en la estación 1 (adcp 1)	139
<u>Tabla 3.5.4 - 2: Frecuencia de incidencia de la corriente registrada en la estación 1 en superficie (11 m)</u>	140
Tabla 3.5.4 - 3: Frecuencia de incidencia de la corriente registrada en la estación 1 en nivel intermedio (67 m)	140

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

Tabla 3.5.4 - 4: Frecuencia de incidencia de la corriente registrada en la estación 1 en el nivel profundo (119 m)	141
Tabla 3.5.4 - 5: Estadística básica registrada en la estación 2 (adcp 2)	145
Tabla 3.5.4 - 6: Frecuencia de incidencia de la corriente registrada en la estación 2 (adcp 2) en superficie (9 m)	146
Tabla 3.5.4 - 7: Frecuencia de incidencia de la corriente registrada en la estación 2 (adcp) en nivel intermedio (61 m)	146
Tabla 3.5.4 - 8: Frecuencia de incidencia de la corriente registrada en la estación 2 (adcp) en nivel profundo (109 m)	147
Tabla 3.5.4 - 9: Estadística básica de corriente registrada en estación 3	151
Tabla 3.5.4 - 10: Frecuencia de incidencia de corriente registrada en estación 3 (adcp3) en superficie (4 m)	152
Tabla 3.5.4 - 11: Frecuencia de incidencia de corriente registrada en estación 3 (adcp 3) en nivel intermedio (12 m)	152
Tabla 3.5.4 - 12: Frecuencia de incidencia de corriente registrada en estación 3 en nivel profundo (19 m)	153
Tabla 3.6.3 - 1: Constituyentes armónicos considerados en la modelación	65

RESUMEN

El presente documento corresponde a proyecto de título denominado “*Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, Región de Atacama.*” en donde se abordan tres resultados principales, que son:

- Caracterización de las principales componentes ambientales
- Modelación de oleaje
- Modelación de corrientes

El objetivo de la caracterización de las condiciones físicas es la relocalización de un emisario submarino de propiedad de Compañía Minera del Pacífico S.A., en adelante CMP-Minería, en donde se opera una planta peletizadora de hierro, ubicado en la Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama. Este emisario submarino descarga una pasta acuosa o pulpa (relave minero), la cual se origina de un proceso en la planta de Pellet emplazada frente a la bahía; este relave es vertido luego de ser mezclado con agua dulce para su transporte y enfriado con agua salada para su disposición al mar; mediante dicho emisario submarino, el cual descarga a 35 m de profundidad.

El desarrollo de los estudios oceanográficos y los cálculos ilustrados en esta memoria fueron realizados por el autor de esta, en calidad de egresado, trabajando para la empresa Servicios y Equipos Marinos LTDA. Denominada BENTOS, quien proporcionó los datos instrumentales.

1 INTRODUCCIÓN

Esta memoria está orientada al estudio de las condiciones naturales que presenta la Bahía Chapaco (Figura 1- 1) en la localidad de Huasco, donde se ubica una planta peletizadora de hierro perteneciente a CMP-Minería, esto con el propósito de caracterizar el medio físico y realizar modelaciones numéricas de oleaje y de corrientes, en el marco de la realización de una línea base. Junto con lo anterior, evaluar las posibilidades de explotar el material depositado en el fondo del lecho marino producto del material acumulado a lo largo del tiempo que lleva operando dicha compañía. Para lograr el propósito se desarrollaron las mediciones pertinentes en conjunto con la empresa Servicios y Equipos Marinos LTDA. – BENTOS.

Los estudios oceanográficos que se ilustran en esta memoria fueron desarrollados de acuerdo a lo estipulado en la norma Publicación SHOA N° 3201, Instrucciones Oceanográficas N°1 “Especificaciones técnicas para mediciones y análisis oceanográficos” 3ª edición, 2005.

La instalación de los instrumentos fue autorizada por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA), mediante el decreto ordinario N°13270/24/123/VRS, ilustrado en el **ANEXO 6.2**.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

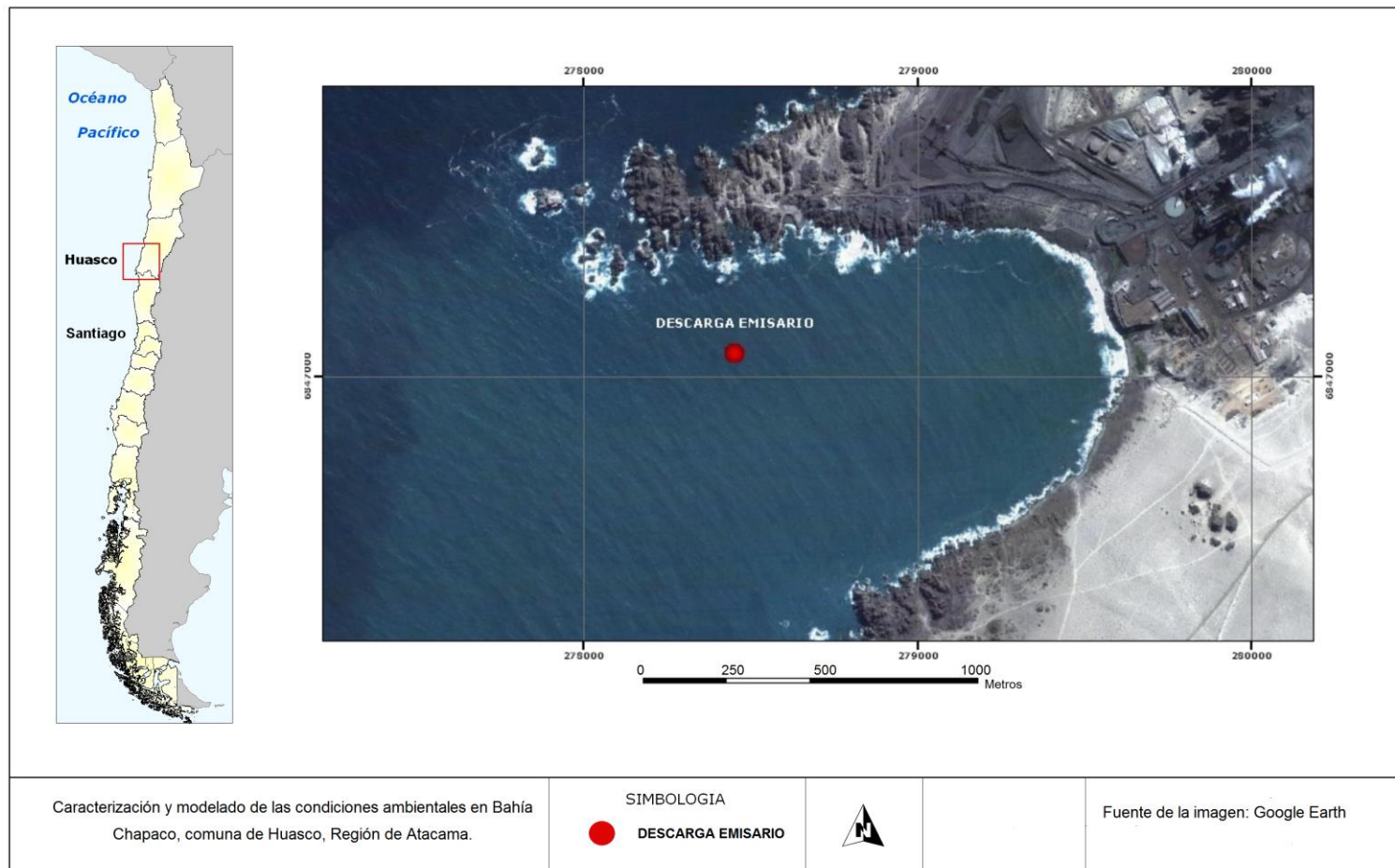


Figura 1- 1: Bahía Chapaco, Huasco, Región de Atacama.

2 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS

Como objetivo general se busca efectuar una caracterización de las condiciones físicas de las principales variables ambientales en la zona de vertido de material de descarga mediante modelación numérica. Adicionalmente se caracterizará el comportamiento de la pluma de dispersión de manera empírica mediante la diferencia de densidades detectadas con un perfilador acústico remolcado. Ambas caracterizaciones fueron llevadas a cabo en los episodios de sicigia y cuadratura, en condición de llenante y vaciante.

Para lograr el objetivo general se recurrió a una serie de objetivos específicos que son:

- Instalación de los equipos de medición, los cuales se realizaron en el año 2011 en campaña de verano e invierno y posteriormente su retiro al cabo de cumplirse el tiempo exigido por la normativa.
- Caracterización batimétrica, la cual se efectuó en dos modalidades; una de alta resolución con tecnología multihaz para la zona del actual emisario y otra de menor resolución para complementar la información batimétrica oficial SHOA.
- Caracterización del régimen de mareas.
- Caracterización del régimen de vientos.
- Caracterización y modelación de olas.
- Caracterización y modelación de corrientes.
- Caracterización in situ de la actual descarga mediante ADCP remolcado.

3 MARCO TEORICO Y RESULTADOS

3.1 BATIMETRÍA

Según lo indicado por el servicio hidrográfico y oceanográfico de la Armada de Chile, en adelante SHOA, la batimetría es la técnica asociada a la obtención de valores de profundidad del agua, ésta puede ser de tipo marina, lacustre o fluvial y se toma como referencia el nivel de reducción de sondas NRS, el cual corresponde al nivel de referencia de la batimetría y es propia de cada país, en donde el SHOA indica que en Chile el NRS corresponde al nivel de más baja marea en sicigia con la luna en perigeo.

El estudio batimétrico se dividió en dos etapas; uno de alta resolución con tecnología multihaz en la zona actual de descarga del emisario y otro con tecnología monohaz con el propósito de complementar la información batimétrica de las cartas de navegación.

3.1.1 BATIMETRÍA MULTHAZ

Se obtuvo un plano batimétrico detallado mediante mediciones multihaz, con una medición de forma rectangular con orientación Este-Oeste, con longitudes de 10 Km de largo y 4 Km de ancho y una superficie de 4.000 Há aproximadas, la profundidad del sector varía entre 2 y 800 m, cuya área de levantamiento se dividió en dos sectores, el primero fue levantado en el año 2011, extendiéndose en el año 2012 hasta los 300 m de profundidad. Posteriormente se extiende desde los 300 m hasta 800 m de profundidad en el mismo plano (Figura 3.1.1 - 1).

Antes de proceder con las mediciones, se realizó una calibración llamada prueba de parche, con lo cual se certificó el sistema multihaz en terreno ante un inspector del SHOA. Esta prueba permitió corregir los desvíos que se podrían generar durante la instalación del sistema en la embarcación de trabajo. La calibración fue realizada al inicio del trabajo y posteriormente, cada vez que se detectó un movimiento del transductor.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

Cada una de las pruebas se repitió, al menos tres veces, hasta que los valores se mantuvieron constantes.

Las pruebas realizadas fueron las siguientes:

- Prueba de Latencia (demora de recepción de los datos de posición desde el GPS)
- Calibración de Rolido (inclinación lateral)
- Calibración de Guiñada (desvío respecto al eje de crujía o rumbo)
- Calibración de Cabeceo (inclinación proa popa)

Los resultados obtenidos luego de cada prueba fueron ingresados al software hidrográfico Hysweep (HYPACK ®).

El área de estudio se cubrió de manera sistemática, con el fin de abarcar adecuadamente toda su extensión, con lo cual, cada barrido se superpuso al anterior mejorando la densidad de datos y con ello facilitar la discriminación y edición de datos erróneos. Finalmente se obtuvo un plano batimétrico con óptima resolución.

Previo al levantamiento se instaló en el muelle de servicio de CAP Minería un mareógrafo ventilado marca RBR, modelo TGR-1050-HT, cuyos datos de marea obtenidos fueron utilizados para determinar el nivel de reducción de sondas (NRS) del lugar, y luego, para reducir la batimetría a este plano de referencia.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.



Figura 3.1.1 - 1: Planificación de áreas de levantamiento con Multihaz. Elaboración propia.

El cambio en la orientación de los polígonos de sondeo realizado en 2011 con respecto al complemento realizado en 2012, se debió al cambio de coordenadas desde coordenadas geográficas a WGS-84. Como resultado se obtiene la batimetría detallada del sector como se aprecia en la Figura 3.1.1 - 2.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

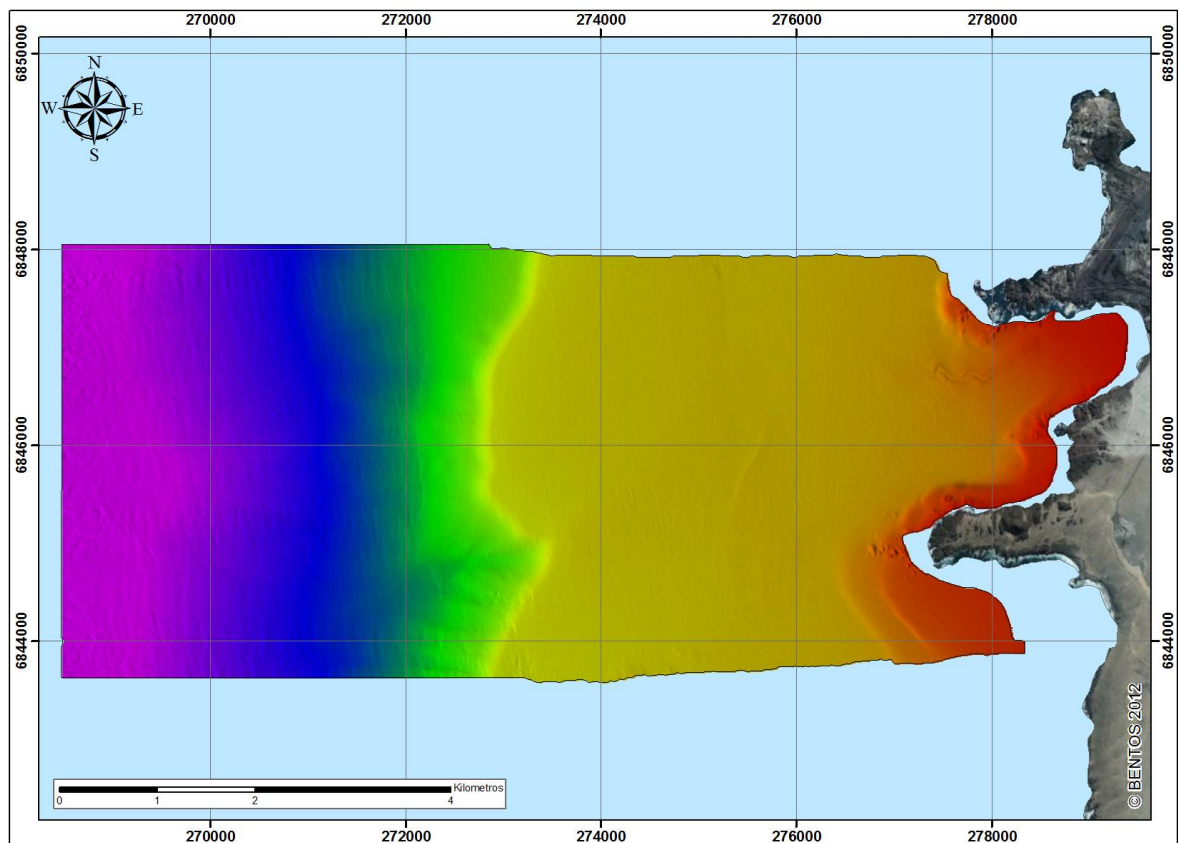


Figura 3.1.1 - 2 : Plano batimétrico levantado mediante multihaz. Elaboración propia.

3.1.2 BATIMETRÍA FINAL Y LÍNEA DE COSTA

La batimetría final se compone de la batimetría de alta resolución, la línea de costa y datos obtenidos a partir de otras tres fuentes:

Los datos batimétricos más gruesos y menos detallados fueron obtenidos desde General *Bathymetric Chart of the Oceans*, en adelante GEBCO, cuya resolución es de 30 minutos, lo que representa 900 m aproximadamente, esta información se muestra en la Figura 3.1.2 - 1, donde se aprecian la información batimétrica (color rojo), en contraste con la carta náutica SHOA N°3000 “Puerto de Caldera a Bahía de Coquimbo”.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

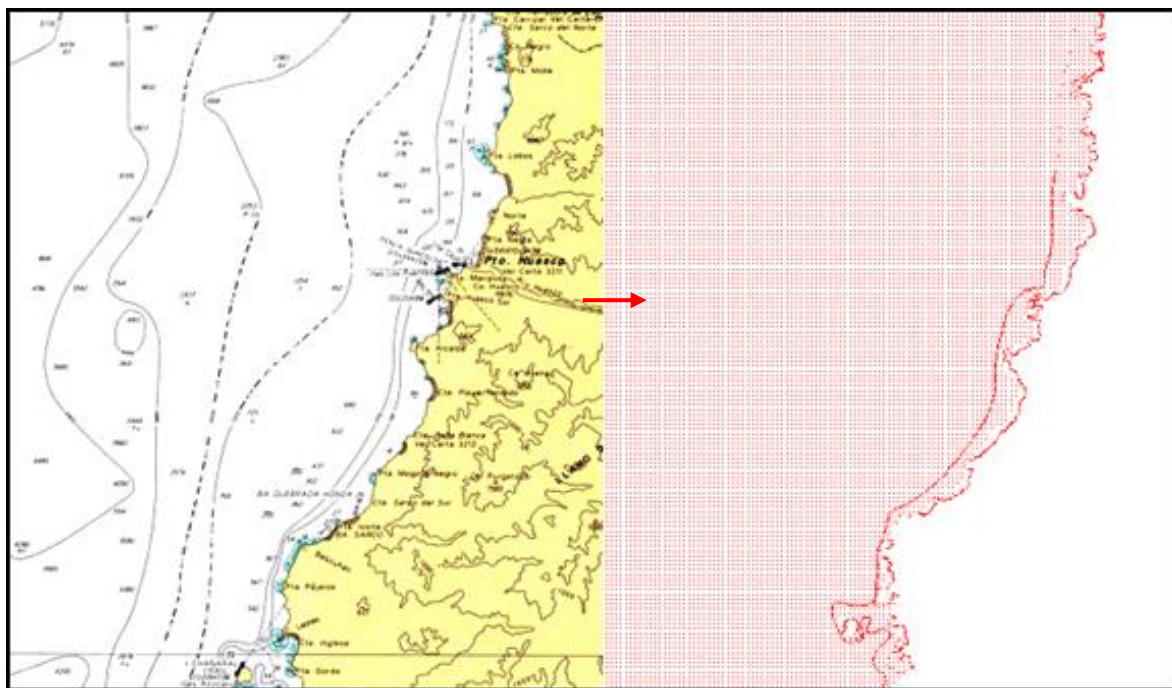


Figura 3.1.2 - 1: Información batimétrica obtenida de GEBCO. Elaboración propia.

La información se complementó con datos digitalizados desde la Carta Náutica N° 3000 “Puerto de Caldera a Bahía de Coquimbo”, (Figura 3.1.2 - 2) y de la Carta Náutica N° 3211 “Puerto Huasco” (Figura 3.1.2 - 3), las cuales se digitalizaron a partir de la imagen geo referenciada mediante el software DIDGER 3.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

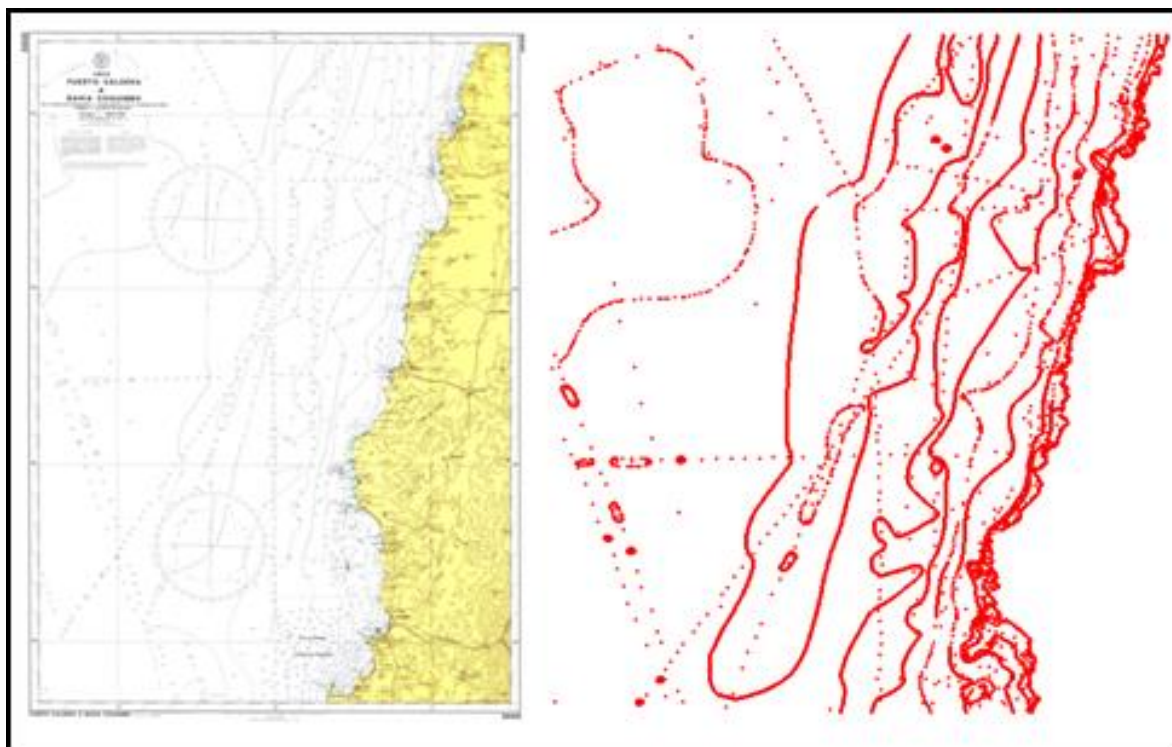


Figura 3.1.2 - 2: Digitalización Carta Náutica N° 3000. Elaboración propia.

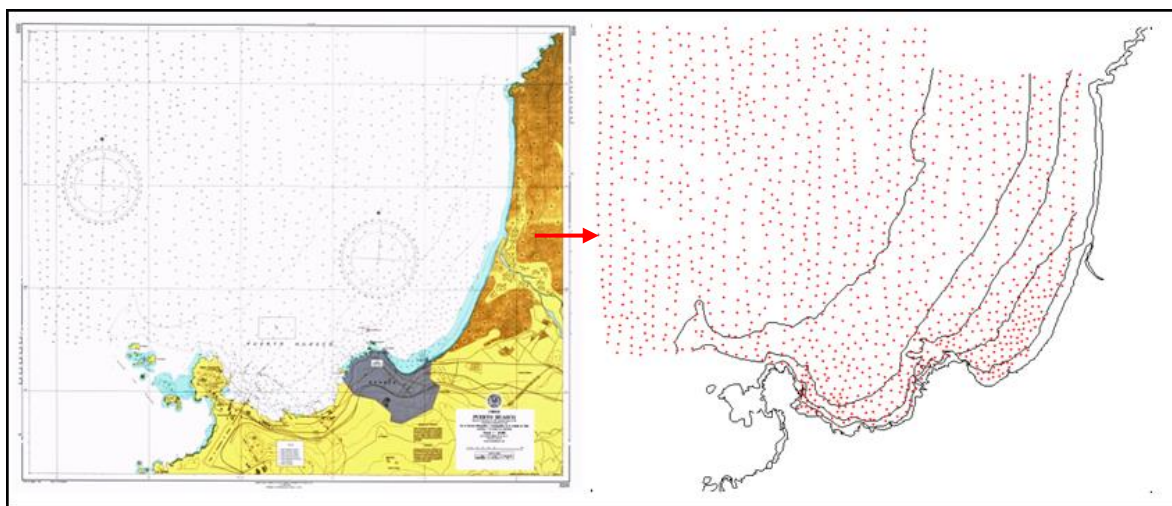


Figura 3.1.2 - 3: Digitalización Carta Náutica N° 3211. Elaboración propia.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

La tercera fuente fue desarrollada debido a la existencia de un área sin información, la cual se puede apreciar en la carta náutica N° 3211 ilustrada anteriormente, para ello se realizó un levantamiento batimétrico. En la Figura 3.1.2 - 4 se muestra la distribución espacial desarrollada en terreno para obtener los datos.

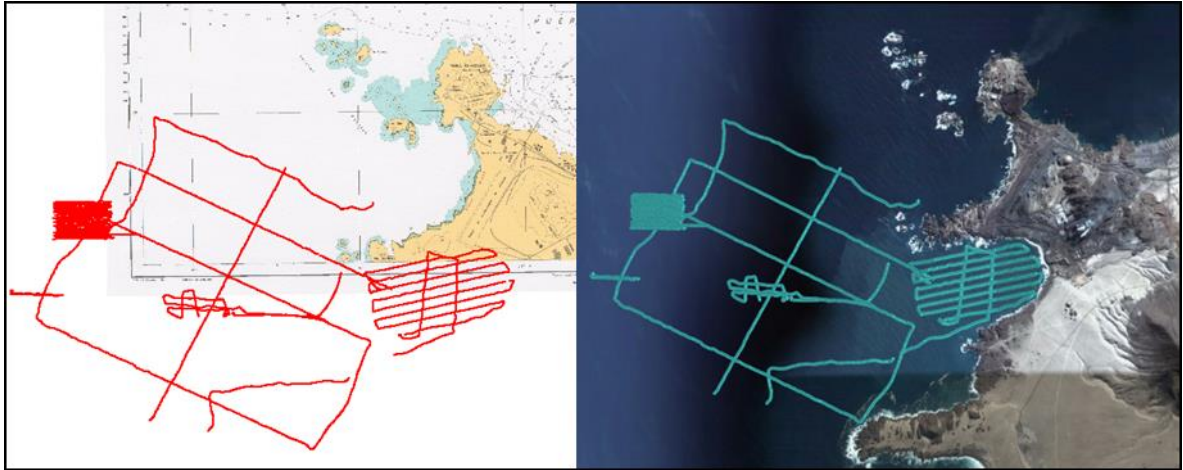


Figura 3.1.2 - 4: Levantamiento batimétrico realizado por BENTOS. Elaboración propia.

Finalmente, mediante la combinación de los datos de estas tres fuentes fue posible elaborar un plano batimétrico general del área de estudio que se presenta en la Figura 3.1.2 - 5. La recopilación final de los datos se realizó tomando en cuenta principalmente aquella información con mayor cobertura espacial, para luego considerar la información con menor cobertura, obteniendo así la batimetría final la cual se utilizó principalmente para los modelos que se detallarán más adelante. La Figura 3.1.2 - 6 muestra una imagen 3D de la batimetría final para ser incorporada a los posteriores modelos, la Figura 3.1.2 - 7 se aprecia la batimetría integrada a la interfaz SMS (Surface water Modeling System).

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.



Figura 3.1.2 - 5: Integración de todas las fuentes batimétricas disponibles. Elaboración propia.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

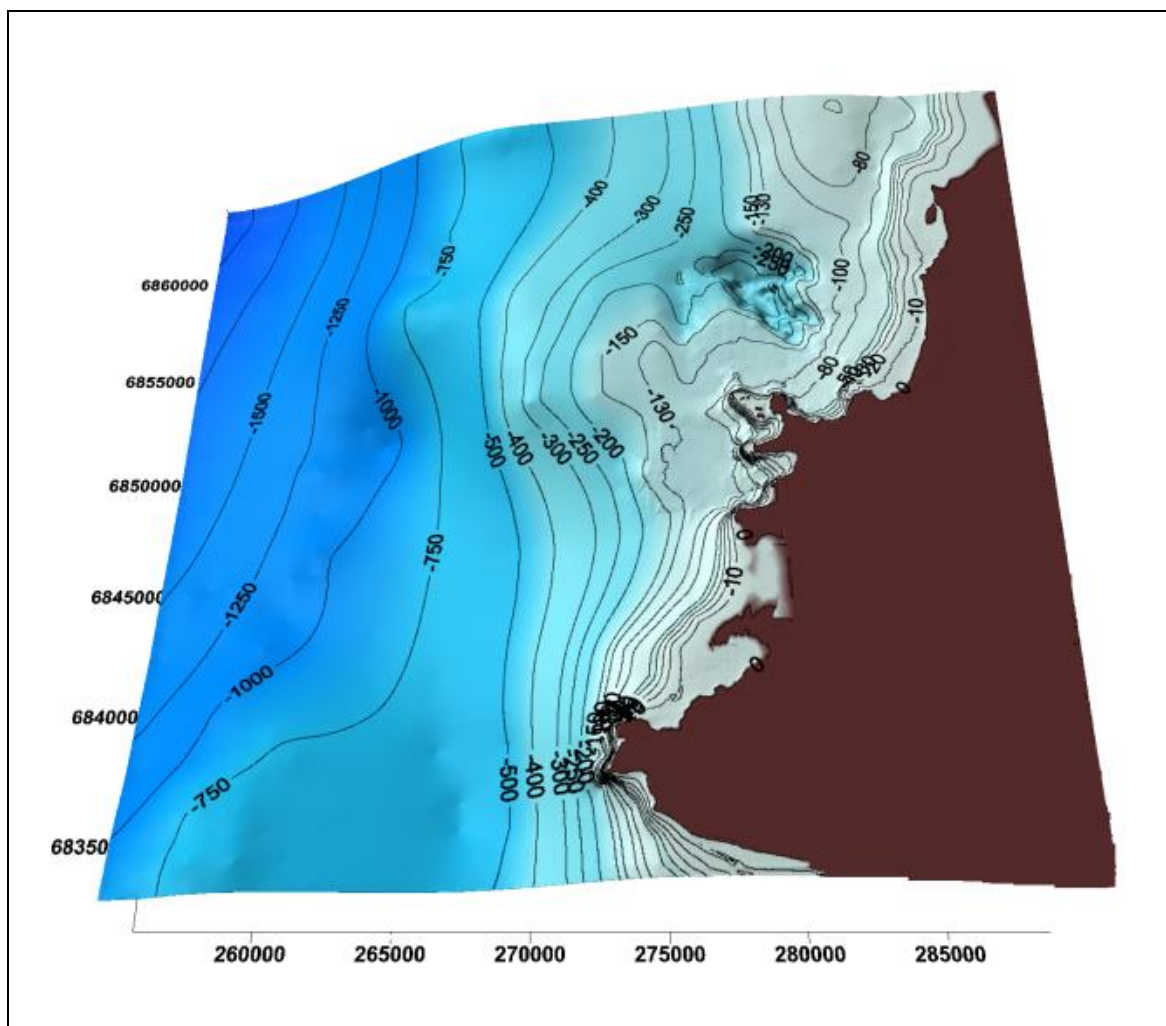


Figura 3.1.2 - 6: Imagen 3D de la batimetría final producto de todas las fuentes batimétricas. Elaboración propia.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

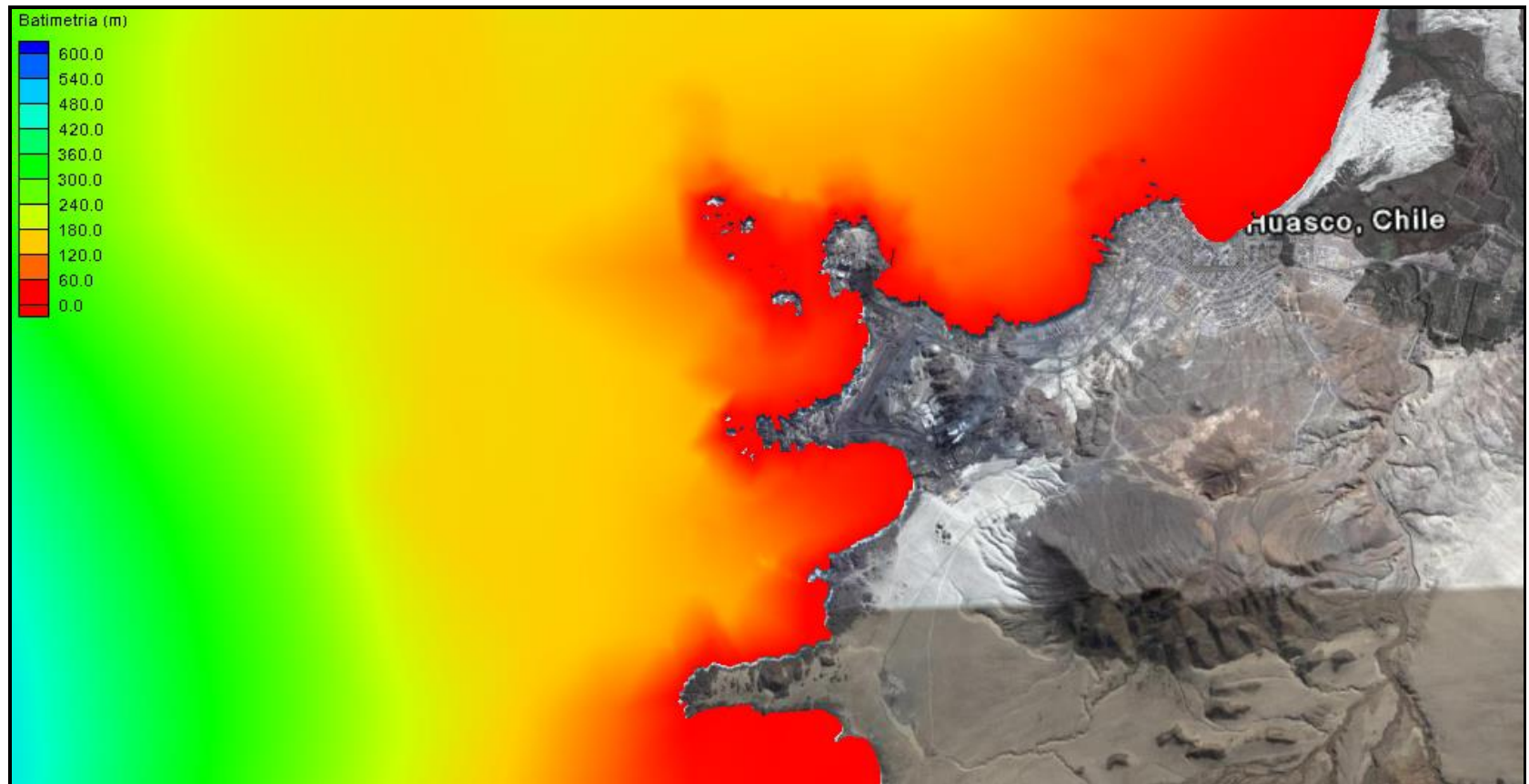


Figura 3.1.2 - 7: Batimetría incorporada al software Surface water Modeling System, SMS. Elaboración propia.

3.2 MAREAS

El régimen de mareas se realizó registrando y analizando las variaciones que experimenta el nivel del mar, describiendo el comportamiento que exhibe la marea y definiendo los principales planos de referencia del nivel del mar en el área de interés. La Figura 3.2 - 1 muestra la ubicación del mareógrafo, anemómetro y correntómetros.

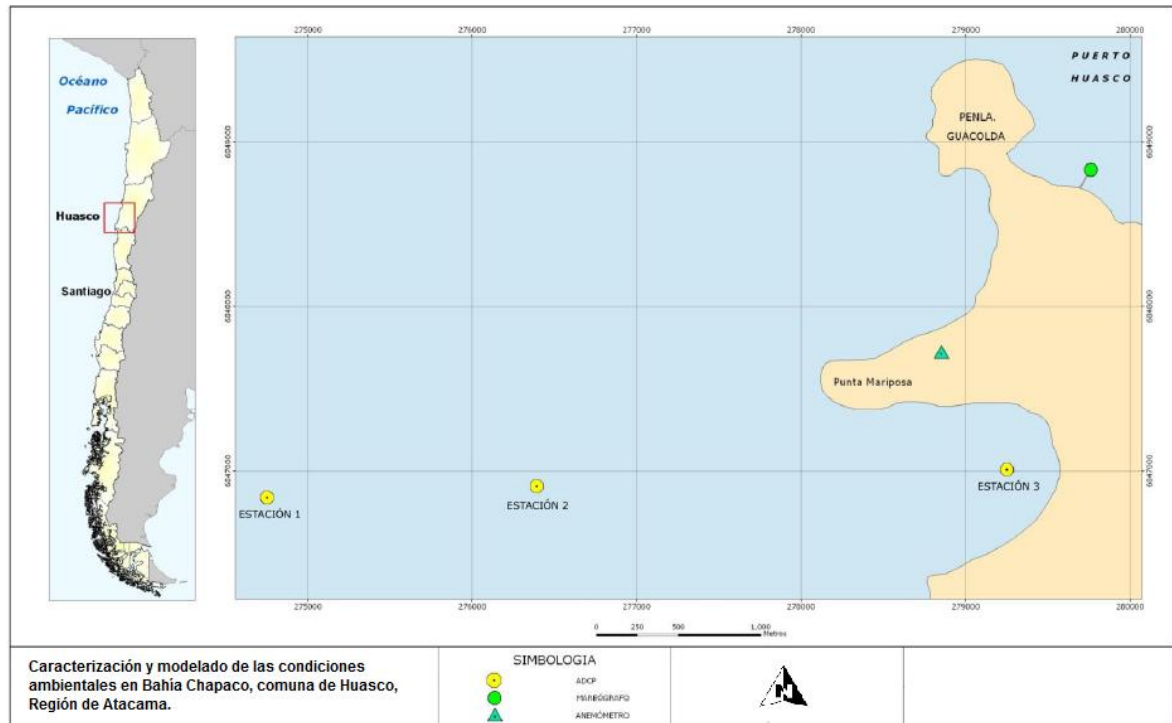


Figura 3.2 - 1: Ubicación del mareógrafo, anemómetro y correntómetros. Elaboración propia.

El ascenso y descenso del nivel del mar, en respuesta principalmente al efecto gravitacional de la luna y el sol sobre las aguas, representa una fuerza fundamental en la dinámica de las aguas. Este proceso cobra especial importancia en zonas costeras, como por ejemplo bahías, representando en algunos casos la principal fuerza que genera la circulación y la modificación del nivel de agua. Dado lo anterior, el conocimiento del régimen de marea es fundamental.

Los aspectos metodológicos y resultados del estudio de mareas, son:

- Análisis armónico de marea.
- Análisis no-armónico de marea.
- Régimen mareal.
- Análisis de nivel del mar
- Definición de principales planos de referencia del nivel del mar.

El siguiente resumen, muestra la ubicación geográfica, características, intervalo de muestreo y período considerado para la medición.

Instrumento	: Mareógrafo
UTM Este	: 279.729 m
UTM Norte	: 6.848.802 m
Latitud S	: 28°28'09,69"
Longitud W	: 71°14'59,22"
Medición	: 63 días
Intervalo de muestreo	: 5 minutos
Período considerado	: 21/02/2011 al 25/04/2011
Datum	: WGS 84
Huso	: 19

3.2.1 ANALISIS DE MAREA

El primer paso del análisis consistió en determinar el período de ocurrencia de “fuertes oleajes”, producto del terremoto de 9,0 grados M_w (M_w , corresponde a la escala sismológica de magnitud de momento, basada en la medición de la energía total que se libera en un terremoto, introducido en 1979 por Thomas C. Hanks & Hiroo Kanamori, como sucesora de la escala Richter), ocurrido en Japón el 11 de marzo de 2011. Este fenómeno es claramente observable en la serie de marea registrada (Figura 3.2.1 - 1).

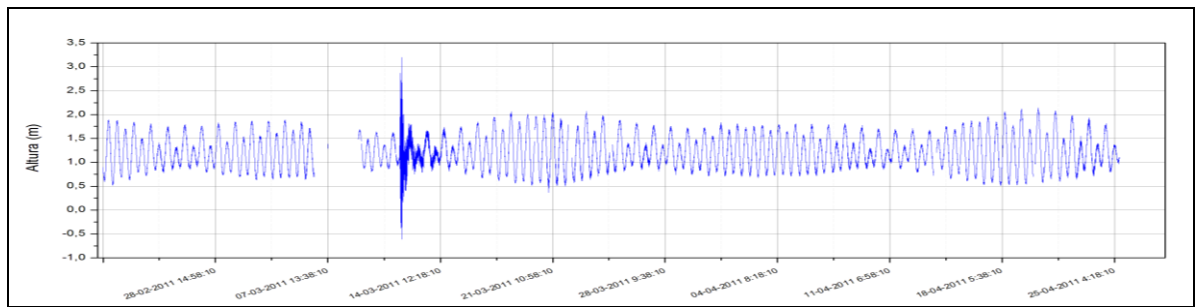


Figura 3.2.1 - 1: Altura de nivel mar registrado y periodo de ocurrencia de “fuerte oleaje” por terremoto de Japón 2011. Elaboración propia.

Este fenómeno perturba el correcto análisis de marea para los procesos armónicos y no-armónicos, por lo que se eliminó de la serie al ser considerado como datos atípicos, tal como se muestra en la Figura 3.2.1 - 2. Los datos anómalos eliminados fueron los registrados entre el 11 de marzo a las 12:48:10 horas hasta el 14 de marzo de 2011 a las 17:23:10 horas.

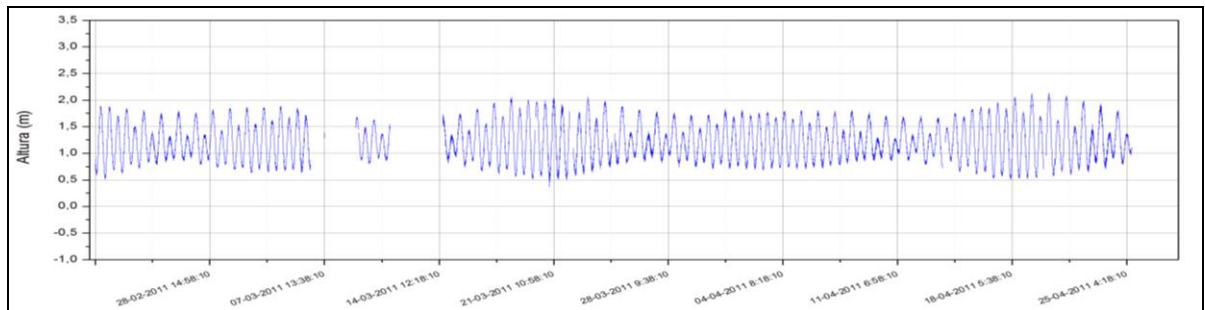


Figura 3.2.1 - 2: Altura de nivel del mar registrada y ubicación de datos eliminados. Elaboración propia.

Para obtener de la data completa, se interpolaron los datos faltantes mediante Matlab, obteniendo así la data completa para el análisis, como lo muestra la Figura 3.2.1-3.

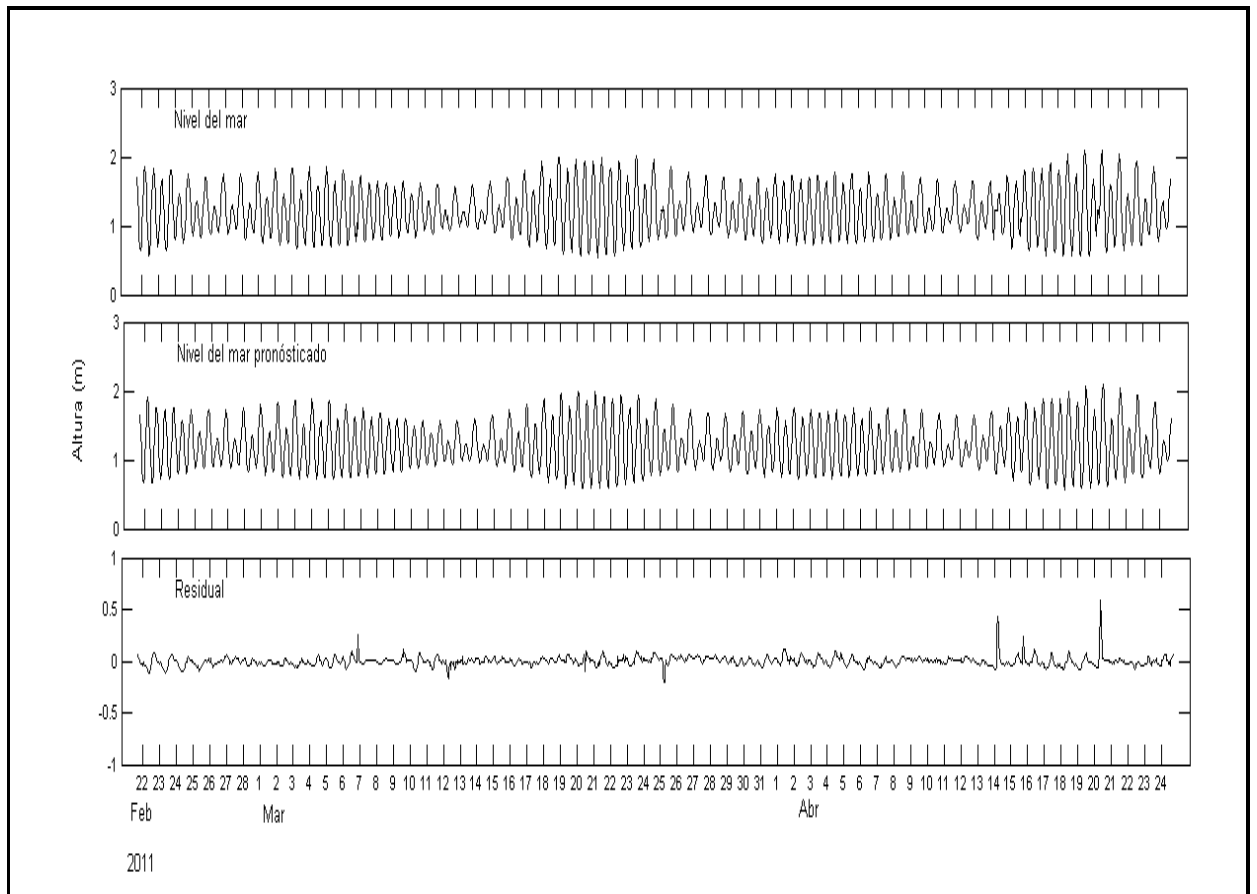


Figura 3.2.1 - 3: Altura de nivel del mar con gaps interpolados. Elaboración propia.

Posteriormente, se procedió a reducir los datos registrados cada 5 minutos a valores horarios, promediando aritméticamente las 12 mediciones registradas durante cada hora.

Los datos horarios del nivel del mar, referidos al “cero del sensor”, son sometidos a dos tipos de análisis: Análisis No-Armónico y Análisis Armónico de marea.

3.2.2 ANÁLISIS NO ARMÓNICO

El análisis no-armónico de marea, tal como indica la publicación 3202 del SHOA, corresponde a un análisis estadístico de los promedios y diferencias del nivel del mar. Este análisis suministra diversos niveles característicos de las alturas del mar, proporcionando planos mareales para fines de ingeniería y de operación.

Se determinó la diferencia de altura entre la superficie del mar en un momento determinado y un vértice ubicado en tierra próximo al mareógrafo (cota CFM). Para el mismo momento se obtuvo, por lectura directa del mareógrafo, la diferencia entre el cero del sensor y la superficie del mar. Al sumar ambas diferencias de alturas se obtuvo la diferencia de altura entre el cero del sensor y el vértice.

Tabla 3.2.2 - 1: Valores no-armónicos de la marea.

PLANO MAREAL	Sobre cero registro (m)	Bajo cota CFM (m)
Altura pleamar más alta observada	2,1	2,83
Altura media de las pleamares más altas	1,8	3,16
Altura media de las pleamares	1,7	3,28
Nivel medio del mar	1,2	3,75
Nivel medio de la marea	1,2	3,76
Altura media de las bajamares	0,7	4,24
Altura media de las bajamares más bajas	0,7	4,25
Altura bajamar más baja observada	0,4	4,61
Nivel de Reducción de Sondas (N.R.S.)	0,3	4,64
Rango medio de la marea	1,0	
Rango máximo de la marea	1,8	
Desigualdad media diurna de la pleamar	0,1	
Desigualdad media diurna de la bajamar	0,0	

3.2.3 ANÁLISIS ARMÓNICO

El análisis armónico de marea permite descomponer la onda de marea en sus constituyentes armónicos fundamentales, proporcionando los datos para una adecuada caracterización. Los constituyentes armónicos además posibilitan la emisión de pronósticos del nivel del mar.

El análisis armónico asume que la marea observada corresponde a la sumatoria de un número determinado de constituyentes armónicos. Estos constituyentes armónicos, representativos de una onda de marea particular, se caracterizan por la amplitud, atraso de fase y velocidad angular, las cuales son determinadas a partir de argumentos astronómicos.

De esta manera, las variaciones del nivel del mar se representan por un número finito N de términos armónicos mediante la ecuación:

$$H_n \cos(\sigma_n t - g_n)$$

Donde:

- H_n : Amplitud del armónico n .
- σ_n : Velocidad angular del armónico n .
- g_n : Atraso de fase de la marea de equilibrio con respecto al meridiano de Greenwich para el armónico n .

La cantidad de constituyentes armónicos identificados en el registro de marea dependerá de la longitud de las observaciones. En este caso se utilizó el criterio de Rayleigh que requiere que los constituyentes vecinos sean separados por, al menos, un ciclo completo sobre la longitud del registro. De esta manera, con 63 días de registro se logró discriminar 37 constituyentes armónicos.

Para la determinación del régimen de marea en el área de estudio se utilizó el criterio definido por la publicación SHOA 3013 “Glosario de Mareas y Corrientes” el cual define el coeficiente de Courtier (F). Dicho coeficiente se obtiene del cociente de las amplitudes de cuatro de los principales constituyentes armónicos, obtenidos mediante el análisis armónico del nivel del mar.

Las mareas del tipo diurno son producidas principalmente por los constituyentes K_1 y O_1 , en tanto que las mareas del tipo semidiurno son producidas principalmente por los constituyentes M_2 , S_2 y N_2 .

La importancia relativa de los constituyentes diurnos y semidiurnos de la marea se puede expresar como:

$$F = \frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2}$$

Donde:

K_1	:	Componente diurna lunisolar de declinación.
O_1	:	Componente lunar de declinación diurna.
M_2	:	Componente lunar principal, semidiurna.
S_2	:	Componente solar principal, semidiurna.

De esta manera:

$F < 0,25$	Régimen semidiurno.
$0,25 < F < 1,50$	Régimen mixto semidiurno.
$1,50 < F < 3,00$	Régimen mixto diurno.
$F > 3,00$	Régimen diurno.

En base a los análisis efectuados se determinaron los planos de referencia más representativos del comportamiento de la marea en el sector de estudio. El análisis

armónico de mareas se realizó mediante la herramienta de Matlab denominada T_TIDE (http://www.eos.ubc.ca/~rich/t_tide/t_tide_v1.1.zip). Los resultados de dicho análisis se presentan en la Tabla 3.2.3 - 1:

Tabla 3.2.3 - 1: Principales constituyentes armónicos de mareas. Elaboración propia.

Constituyente	Semiamplitud (m)	Frecuencia (1/Hr. solar)	Atraso de fase (grados)
M2	0,402	0,081	277,32
K1	0,152	0,042	334,97
S2	0,126	0,083	293,52
N2	0,107	0,079	247,41
O1	0,094	0,039	285,96
P1	0,050	0,042	342,04
K2	0,034	0,084	315,92
MU2	0,030	0,078	218,48
Q1	0,019	0,037	254,51
NO1	0,016	0,040	294,60
MM	0,012	0,002	25,35
MSF	0,012	0,003	41,33
J1	0,009	0,043	318,64
EPS2	0,007	0,076	172,06
OO1	0,006	0,045	89,91
L2	0,006	0,082	298,91
ETA2	0,005	0,085	352,95
M3	0,005	0,121	45,80
UPS1	0,002	0,046	210,03
M4	0,002	0,161	59,90
ALP1	0,001	0,034	298,10
2Q1	0,001	0,036	239,13
MO3	0,001	0,119	277,06
MK3	0,001	0,122	91,91
SK3	0,001	0,125	59,51

Tabla 3.2.3 - 2: Principales constituyentes armónicos de mareas (continuación).

Constituyente	Semiamplitud (m)	Frecuencia (1/Hr. solar)	Atraso de fase (grados)
MN4	0,001	0,160	67,72
SN4	0,001	0,162	193,42
2MK5	0,001	0,203	158,34
2SK5	0,001	0,208	150,16
2MS6	0,001	0,244	49,32
MS4	0,000	0,164	144,04
S4	0,000	0,167	308,42
2MN6	0,000	0,240	116,45
M6	0,000	0,242	231,64
2SM6	0,000	0,247	20,22
3MK7	0,000	0,283	116,88
M8	0,000	0,322	175,94

Para los datos registrados en el sector de interés se obtuvo el valor **F = 0,465**, indicativo de que la marea en el área de estudio es del tipo mixta semidiurna, es decir, se presenta la ocurrencia de dos pleamares y dos bajamares en el día con una diferencia en las alturas alcanzadas por ambas pleamares y bajamares.

Asimismo, para el establecimiento del Datum de sondaje, nivel al cual se refieren las sondas insertas en el plano batimétrico, se utilizó el criterio sugerido por la Organización Hidrográfica Internacional (OHI), es decir, seleccionar un plano tan bajo que la marea rara vez descienda bajo éste. Esta condición se obtuvo al determinar el nivel más bajo pronosticado en un extenso período de tiempo.

El cálculo del Nivel de Reducción de Sondas (N.R.S.) o altura mínima esperable se realizó de acuerdo a la metodología expuesta en la publicación SHOA 3105, "Instrucciones Hidrográficas N°5":

$$NRS = Z_0 - (H_{M_2} + H_{S_2} + H_{N_2} + H_{K_1} + H_{O_1})$$

Donde:

Z_0	:	Nivel medio del mar.
H_{M_2}	:	Semiamplitud constituyente lunar principal semidiurno.
H_{S_2}	:	Semiamplitud constituyente solar principal semidiurno.
H_{N_2}	:	Semiamplitud constituyente lunar eclíptica mayor semidiurno.
H_{K_1}	:	Semiamplitud constituyente lunisolar declinacional diurno.
H_{O_1}	:	Semiamplitud constituyente lunar declinacional diurno.

3.3 VIENTOS

Este estudio tiene por finalidad caracterizar el régimen del vientos reinantes o de mayor ocurrencia, para ello, se recurre a una estadística de registros de viento correspondiente a una campaña medición de un año de duración, empleando una estación meteorológica emplazada en el sector de Punta Mariposa en bahía Chapaco ($28^{\circ}28'43,76''S$; $71^{\circ}15'33,59''W$), cuya ubicación del anemómetro se presenta en la Figura 3.2 - 1.

Consideraciones de la medición de viento in situ:

Instrumento	:	Anemómetro
UTM Este	:	278.815 m
UTM Norte	:	6.847.674 m
Latitud S	:	$28^{\circ}28'43,76''$
Longitud W	:	$71^{\circ}15'33,59''$
Intervalo de Muestreo	:	10 minutos
Período Considerado	:	04/01/2011 al 04/01/2012
Datum	:	WGS 84
Zona	:	19

Los datos fueron ordenados según la variabilidad temporal a analizar (estacional, mensual, horaria y toda la base de datos); este análisis consiste en la obtención de rosas de vientos para 8 direcciones, con su respectivo gráfico de histogramas de clase versus frecuencia y dirección versus frecuencia. Se confecciona para cada análisis, una tabla de incidencia en donde se muestra el porcentaje de ocurrencia para cada clase y dirección, la cual incluye la estadística básica de velocidad máxima, media y desviación estándar para cada dirección analizada. En el punto 3.3.1 se muestra el análisis para toda la base de datos, mientras que el análisis los demás resultados se muestran en el **Anexo 6.6**.

Las mediciones de viento local, intensidad y dirección, se registraron con una estación meteorológica marca RM Young modelo Wind Monitor 05103 acoplada a un data logger Campbell CR1000, ubicada en punta Mariposa a 8 m sobre el nivel del suelo. El período de medición considerado en este estudio abarcó desde el 22 de febrero de 2011 al 22 de febrero de 2012. La estación meteorológica fue programada para obtener un registro cada 10 min (promedio vectorial). El huso horario con el cual se realizaron las mediciones fue Z+4.

Posteriormente, los datos de viento fueron llevados a la altura estándar de 10 m, referidos al norte geográfico y procesados estadísticamente para obtener su frecuencia de ocurrencia por rango de dirección y de magnitud, considerando rosas de ocho direcciones. Para el análisis de frecuencia, los vientos con magnitudes inferiores a 0,2 m/s se consideraron como calmas, ya que son débiles y poco influyentes sobre los procesos de transferencia de energía desde la atmósfera hacia el océano. Para el análisis estadístico se utilizó la totalidad de los datos de vientos para cada variabilidad analizada esto es, anual (toda la base de datos considerada), estacional, mensual y horario. Para la clasificación del viento según su intensidad se utilizó la escala de Beaufort (Tabla 3.3 - 1).

Los datos tienen como sistema de referencia el norte geográfico (Declinación magnética: 0°40'E; (Fuente: http://maps.ngdc.noaa.gov/viewers/historical_declination/).

La metodología que se utilizó para llevar los datos de vientos registrados de 8 m a 10 m de altura es la propuesta en el "Coastal Engineering Manual-Part II (US Army Corps of

Engineers, 2006)”, ecuación II-2-9 para vientos registrados a una altura cercana al nivel estándar de 10 m, es decir:

$$U_{10} = U_z \left(\frac{10}{z} \right)^{\frac{1}{7}}, \text{ Z= Altura instrumental.}$$

Tabla 3.3 - 1: Escala Beaufort.

Número Beaufort	Nudos [kt]	[m/s]	Descripción
0	< 1	0 – 0,2	Calma
1	1 – 3	0,3 – 1,5	Brisa débil
2	4 – 6	1,6 – 3,3	Brisa suave
3	7 – 10	3,4 – 5,4	Viento débil
4	11 – 16	5,5 – 7,9	Viento moderado
5	17 – 21	8,0 – 10,7	Viento moderado a fuerte
6	22 – 27	10,8 – 13,8	Viento fuerte
7	28 – 33	13,9 – 17,1	Viento muy fuerte
8	34 – 40	17,2 – 20,7	Temporal

3.3.1 ANÁLISIS DE TODA LA BASE DE DATOS

Las Figuras 3.3.1-1 y 3.3.1-2 muestran las magnitudes del viento de toda la base de datos registrada y el viento máximo registrado, respectivamente. Luego se entregan los resultados del análisis efectuado a toda la base de datos empleada en el presente estudio, calculándose la frecuencia de ocurrencia por año, para una combinación de 8 direcciones y 6 filas de bandas de intensidad.

El análisis de frecuencia de la intensidad del viento muestra que para toda la base de datos, el 1,0% corresponden a calmas y el 46,0% corresponde al intervalo de 0,2-3,0 m/s, que corresponde a brisa débil a brisa suave (Tabla 3.3 - 1). Además, el 0,2% de las observaciones se ubicó en el rango de magnitudes >15 m/s, el cual corresponde a viento muy fuerte a temporal, con un valor máximo de 20,1 m/s. Por otra parte, el análisis de la información revela el predominio del viento con dirección SW (39,1%) y seguido por NE

(26,8%) (Tabla 3.3.1 - 1; Figura 3.3.1 - 3). Los resultados del resto de los análisis de régimen de vientos se muestran en el **Anexo 6.7**

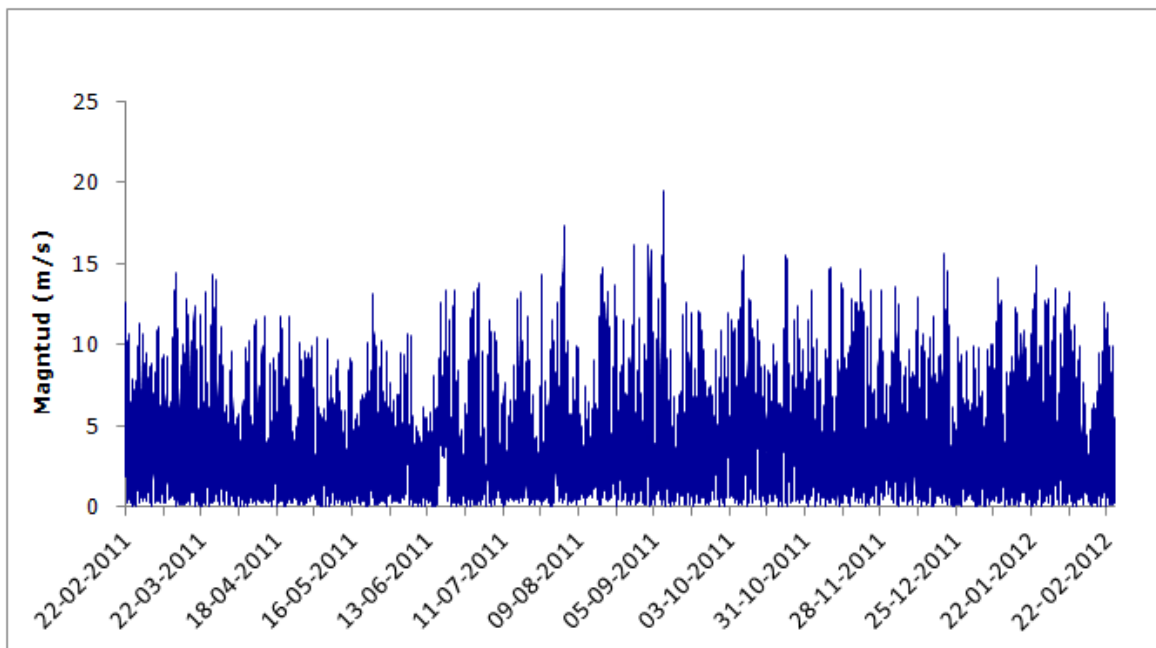


Figura 3.3.1 - 1: Vientos para toda la base de datos registrada cada 10 minutos.

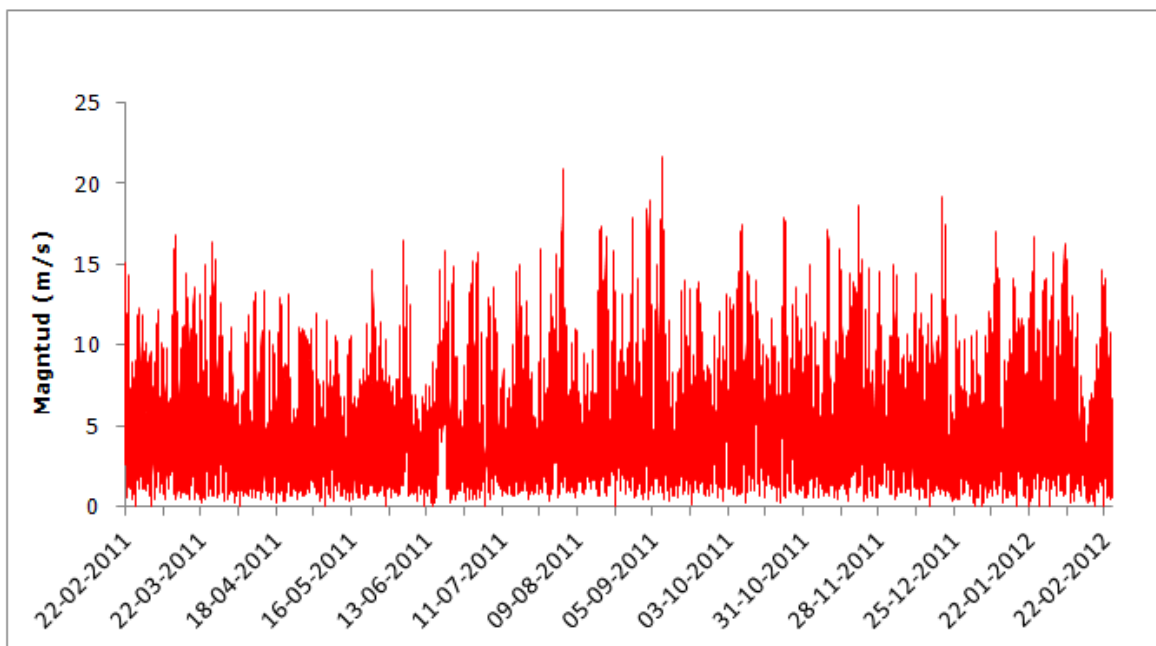


Figura 3.3.1 - 2: Vientos máximos para toda la base de datos registrada cada 10 minutos.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

Tabla 3.3.1 - 1: Incidencia del viento para toda la base de datos.

Dirección	Velocidad (m/s)						Total	Dirección promedio (°)	Velocidad		
	0,2 - 3,0	3,0 - 6,0	6,0 - 9,0	9,0 - 12,0	12,0 - 15,0	> 15,0			Máxima	Promedio	Desv. Estándar
									(m/s)		
N	5,4	2,3	0,5	0,2	0,0	0,0	8,4	348,2	13,8	2,9	2,3
NE	14,0	11,4	1,3	0,1	0,0	0,0	26,8	45,3	12,0	3,1	1,6
E	3,6	1,3	0,1	0,0	0,0	0,0	5,0	85,3	13,0	2,4	1,6
SE	1,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	137,0	6,9	1,4	0,9
S	3,9	1,1	0,1	0,0	0,0	0,0	5,1	184,6	14,8	2,3	1,6
SW	7,1	12,4	11,2	6,6	1,6	0,2	39,1	225,8	20,1	6,3	3,2
W	4,6	1,3	0,1	0,0	0,0	0,0	6,0	269,1	8,5	2,2	1,3
NW	5,6	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0	6,7	316,0	11,7	2,0	1,2
Total efectivo	46,0	30,9	13,4	6,9	1,6	0,2	99,0				
						Calmas	1,0				
						Total	100,0				
						Total Datos	52416				

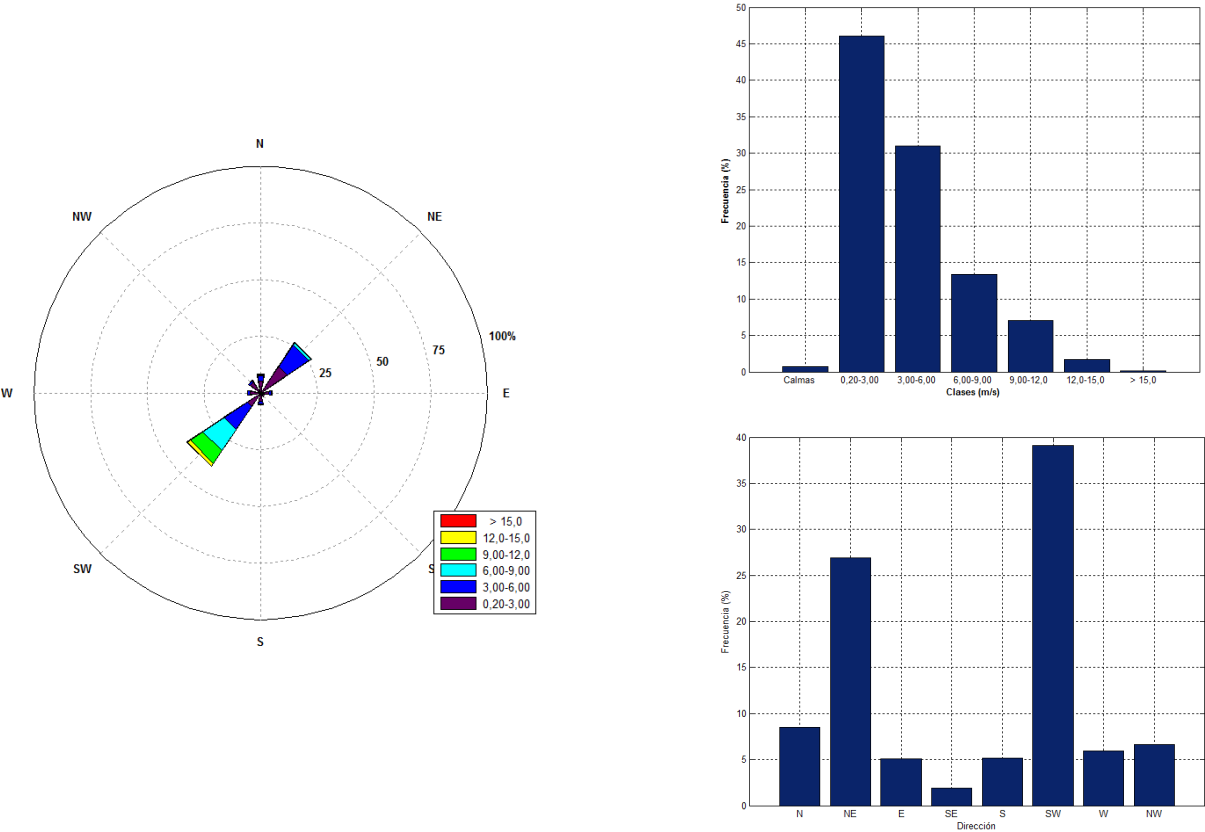


Figura 3.3.1 - 3: Rosa de viento e histograma de frecuencia para toda la base de datos.

3.4 OLAS

Se procedió a la realización del estudio de olas según la normativa SHOA 3201, en donde los datos batimétricos utilizados son los descritos en la sección 3.1, los que se pueden apreciar en la Figura 3.1.2 - 7.

3.4.1 OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS

Los datos de oleaje en aguas profundas fueron adquiridos a Fugro-OCEANOR (Noruega). Esta base de datos comprende un período de 20 años no consecutivos (1989-2010; excepto 1992 y 1993) y corresponde a un punto denominado nodo 28 (Latitud: 28°S; Longitud: 72,5°W) (Figura 3.4.1 - 2). Para la base de datos se utilizó el modelo WAM de 3ª generación del *European Centre for Medium Range Weather Forecast* (ECMWF), el cual fue calibrado con datos de altura de ola obtenidos por el altímetro del satélite TOPEX. La Figura 3.4.1 - 1 muestra la gráfica de la serie de tiempo para altura y periodo con respecto a la dirección para el nodo 28.

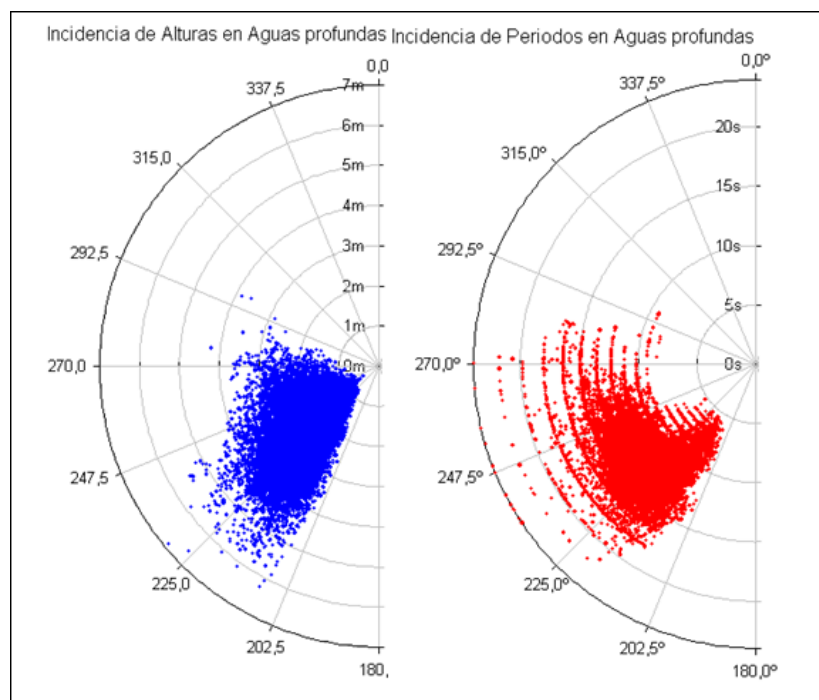


Figura 3.4.1 - 1: Estadística obtenida en nodo 28 para altura y periodo vs. dirección.



Figura 3.4.1 - 2: Ubicación Nodo 28. Elaboración propia.

3.4.2 TRANSFERENCIA DEL OLEAJE HACIA AGUAS SOMERAS

El clima de oleaje en el área de interés se obtuvo mediante transferencia espectral, empleando el modelo numérico Steady State Spectral Wave Model (STWAVE 3.0), desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos. El modelo ha sido desarrollado por Smith et al. (2001) y se adecua a la normativa establecida por el SHOA para los estudios de propagación de oleaje.

Se utilizaron tres conjuntos de grillas numéricas con el objeto de abarcar completamente el rango de direcciones de oleaje de aguas profundas. Cada conjunto de grillas está compuesto por dos grillas anidadas con resoluciones de 100 y 20 m.

Dado que el oleaje en aguas profundas incide entre los $202,5^{\circ}$ y los $337,5^{\circ}$; las grillas se orientaron en la dirección NW, W y SW. Las direcciones propagadas para cada grilla se observan en la Tabla 3.4.2 - 1. En la Figura 3.4.2 - 1 se muestra un ejemplo de las grillas para la Dirección W.

La profundidad desde donde nacen las grillas de cálculo para el modelo supera los 450 m; tomando en cuenta que el máximo periodo propagado corresponde a 22 s, la profundidad requerida para alcanzar la condición de aguas profundas es de 377 m. Por lo tanto, se asume que todas las propagaciones fueron realizadas a partir de aguas profundas.

Tabla 3.4.2 - 1: Direcciones propagadas para cada modelo.

Modelo	Dirección Grilla	Dirección Propagación	Notación
SW	225°	202,5°	SSW
		225,0°	SW
W	270°	247,5°	WSW
		270,0°	W
		292,5°	WNW
NW	315°	315,0°	NW
		337,5°	NNW

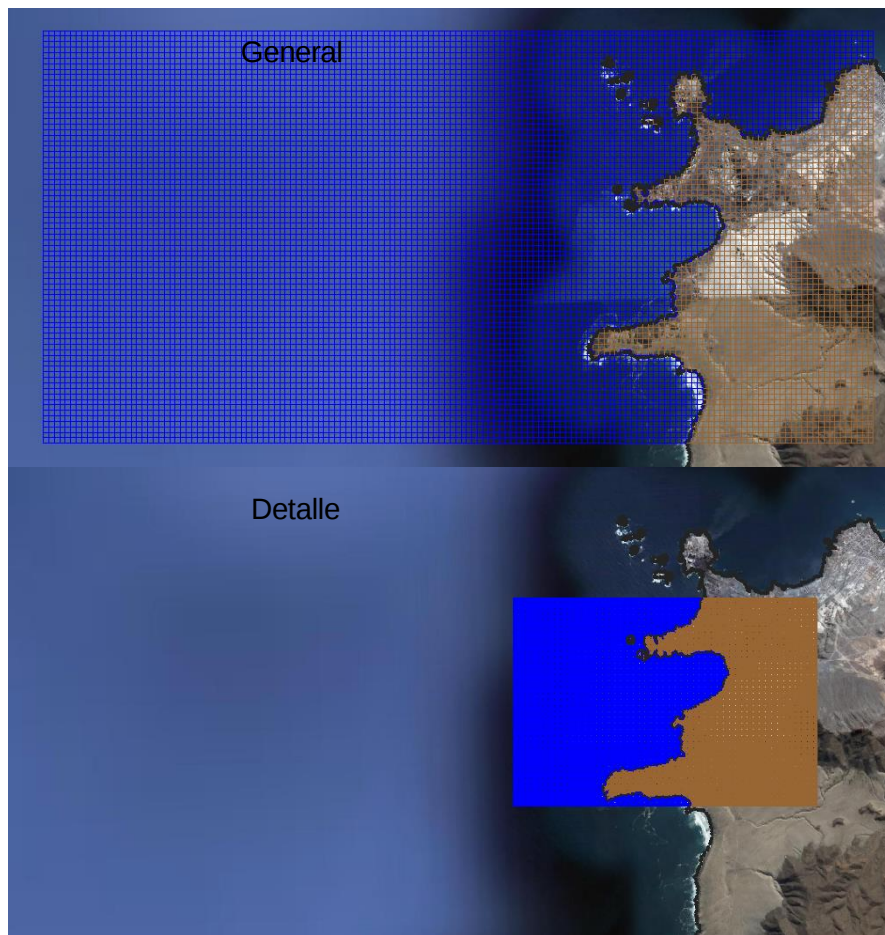
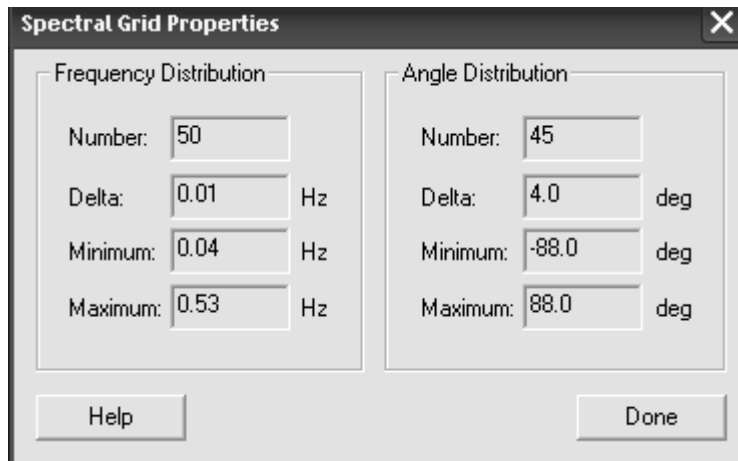


Figura 3.4.2 - 1: Malla de propagación con resolución de 100 m y resolución de 20 m.

Se realizaron tres modelos de propagación independientes, uno para cada conjunto de grillas, que permiten conocer los coeficientes de altura y la dirección de incidencia del oleaje en la zona de estudio, representado como coeficientes de agitación K_a y K_d . Los coeficientes resultantes fueron aplicados a las componentes del oleaje de aguas profundas. En total se realizaron 63 propagaciones considerando nueve períodos entre 6 y 22 s cada 2 s, y siete direcciones entre $202,5^\circ$ (SSW) y $337,5^\circ$ (NNW) cada $22,5^\circ$.

A objeto de definir los espectros sintéticos en aguas profundas, se recurre a los parámetros de resumen de altura significativa espectral en aguas profundas (H_{mo}), período Pico (T_p) y dirección media (θ_{mo}). A partir de estos parámetros, se utilizaron espectros de frecuencia TMA, que consideran la profundidad como parámetro de forma en la distribución de frecuencias (Bowset al., 1952). El espectro TMA se define a partir

del espectro de JONSWAP, definido en aguas profundas para estados de mar formados por vientos con fetch limitado. La componente direccional del espectro se obtuvo mediante la aplicación de la distribución direccional Cosine Power. La Figura 3.4.2 - 2 muestra la configuración de los espectros sintéticos a propagar.



Frequency Distribution		Angle Distribution	
Number:	50	Number:	45
Delta:	0.01 Hz	Delta:	4.0 deg
Minimum:	0.04 Hz	Minimum:	-88.0 deg
Maximum:	0.53 Hz	Maximum:	88.0 deg

Figura 3.4.2 - 2: Información de la configuración de la malla espectral.

Los resultados del modelo de propagación permiten conocer las condiciones de oleaje local en la zona de estudio, para lo cual se seleccionaron dos puntos de monitoreo en el modelo, los cuales coinciden con la ubicación de la descarga del actual emisario submarino (278.453,99 E; 6.847.069,15 N) y el emplazamiento de un ADCP (279.216,0 E; 6.846.754 N), que mide oleaje in situ, ubicados a 30 y 18,5 m de profundidad, respectivamente. Estos puntos pueden observarse en la Figura 3.4.2 - 3 en donde se muestra una de las salidas gráficas del modelo para el coeficiente de agitación K_a , dicha figura corresponde al modelo con parámetros de altura unitaria, periodo de 6 s y dirección principal 225°.

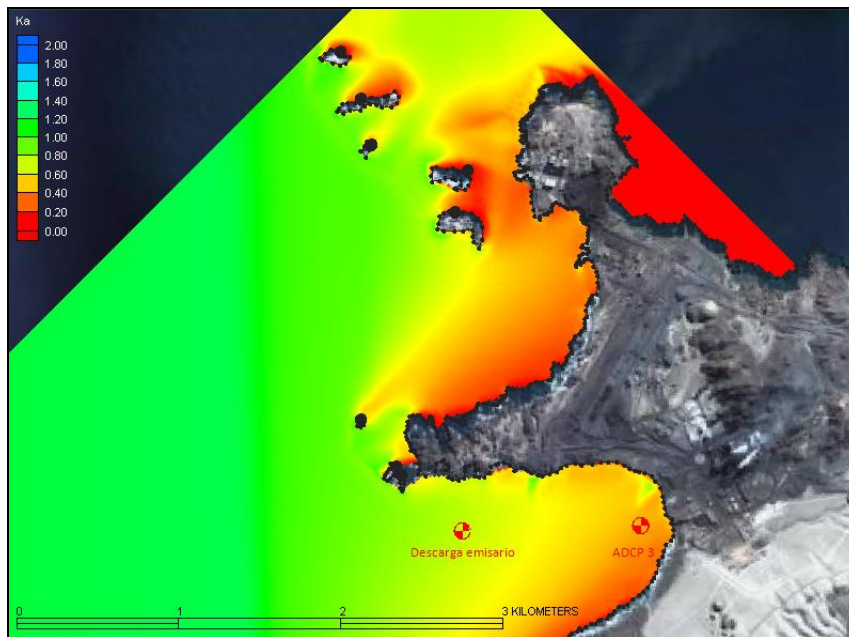


Figura 3.4.2 - 3: Ubicación de los puntos de control. Elaboración propia.

Se utilizaron rutinas de procesamiento en Matlab diseñadas para aplicar los coeficientes de altura y dirección resultantes de los modelos de propagación a la estadística en aguas profundas para así obtener la información en el sitio de interés. Con la estadística en el sitio se procede con la caracterización del oleaje (tablas de incidencia) en los puntos seleccionados.

Los coeficientes de altura y dirección obtenidos, tanto en la descarga del emisario como en el ADCP fondeado, se presentan en las Tablas 3.4.2 – 1 a 3.4.2 - 3 respectivamente.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

Tabla 3.4.2 - 2: Coeficientes de agitación y dirección en salida del emisario.

Ka	Coeficientes de Altura							Dir	Direcciones						
	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW		SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
	202,5	225	247,5	270	292,5	315	337,5		202,5	225	247,5	270	292,5	315	337,5
6	0,83	0,62	1,05	0,90	0,68	0,45	0,19	6	258	267	238	255	271	273	287
8	0,79	0,58	1,01	0,90	0,63	0,44	0,22	8	257	266	236	255	269	270	282
10	0,74	0,54	0,97	0,80	0,58	0,42	0,25	10	257	264	233	250	266	265	275
12	0,74	0,45	0,98	0,73	0,54	0,37	0,24	12	260	267	234	258	269	265	270
14	0,72	0,39	0,94	0,70	0,53	0,36	0,26	14	259	266	236	258	267	260	262
16	0,69	0,36	0,92	0,70	0,53	0,35	0,28	16	258	263	237	257	264	257	258
18	0,68	0,35	0,87	0,70	0,55	0,35	0,30	18	257	262	240	257	263	256	256
20	0,66	0,36	0,86	0,71	0,58	0,35	0,33	20	255	258	241	255	261	254	256
22	0,67	0,36	0,87	0,71	0,59	0,37	0,34	22	255	258	241	255	261	254	255

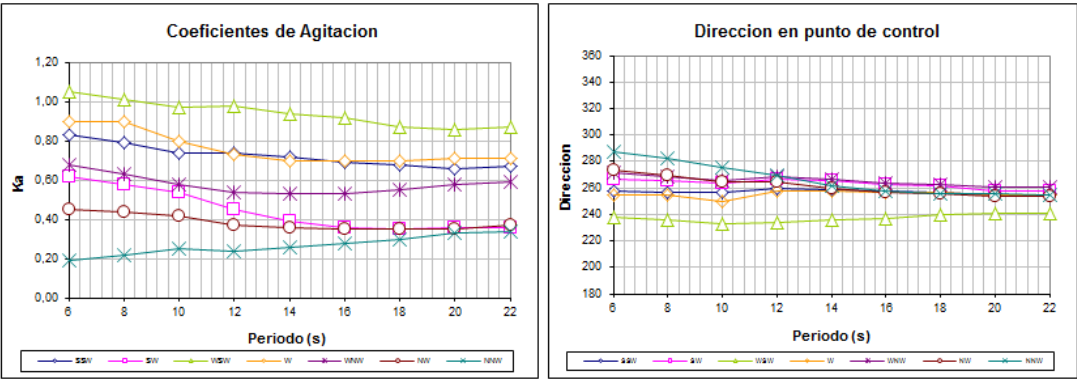
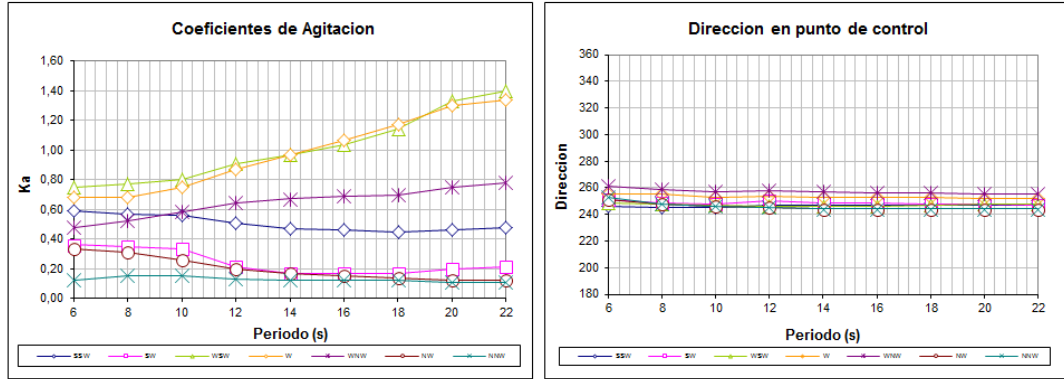


Tabla 3.4.2 - 3: Coeficientes de agitación y dirección en el punto de instalación del ADCP.

Ka	Coeficientes de Altura							Dir	Direcciones						
	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW		SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
	202,5	225	247,5	270	292,5	315	337,5		202,5	225	247,5	270	292,5	315	337,5
6	0,59	0,36	0,75	0,68	0,48	0,33	0,12	6	246	251	249	255	261	251	253
8	0,57	0,35	0,77	0,68	0,52	0,31	0,15	8	245	249	248	255	259	248	248
10	0,56	0,33	0,80	0,75	0,58	0,26	0,15	10	245	248	247	253	257	246	246
12	0,51	0,21	0,91	0,87	0,64	0,20	0,13	12	247	250	246	254	258	245	245
14	0,47	0,17	0,97	0,97	0,67	0,17	0,12	14	247	249	246	253	257	244	244
16	0,46	0,17	1,04	1,07	0,69	0,15	0,12	16	247	249	246	253	256	244	244
18	0,45	0,17	1,14	1,17	0,70	0,14	0,12	18	247	248	247	253	256	244	244
20	0,46	0,20	1,33	1,30	0,75	0,12	0,11	20	247	248	248	252	255	244	244
22	0,48	0,21	1,40	1,34	0,78	0,12	0,11	22	247	247	248	252	255	244	244



3.4.3 OLEAJE EN AGUAS SOMERAS

Una vez propagados los estados de mar hacia aguas someras aplicando los coeficientes de agitación y dirección obtenidos mediante STWAVE, se obtuvo, a través de la aplicación de Matlab, el clima de oleaje local y las respectivas estadísticas para los dos puntos de control.

Cabe mencionar que los coeficientes de dirección, al ser estimados para siete direcciones en aguas profundas, fueron interpolados por medio de la función spline cúbico, utilizando Matlab con el fin de representar de mejor manera la dirección de incidencia en los puntos de control.

El resultado final se muestra mediante tablas y gráficos que caracterizan el régimen reinante del punto estudiado. En las Tablas 3.4.3 -1 a 3.4.3 - 6 y Figuras 3.4.3 – 1 a 3.4.3 - 4 se presenta una estadística bivariada detallada de altura, período y dirección. La distribución gráfica de estos parámetros y un gráfico de probabilidad de ocurrencia en la ubicación del emisario y el ADCP, respectivamente.

Tabla 3.4.3 - 1: Frecuencia de incidencia de Tp vs Hs en punto de descarga del emisario.

Altura (m)	Periodo (s)																				ni	fi	Fi
	4 5	5 6	6 7	7 8	8 9	9 10	10 11	11 12	12 13	13 14	14 15	15 16	16 17	17 18	18 19	19 20	20 21	21 22	22 23	23 24			
0,0-0,2								5		1	2	1	1	2							0	0,00	0,00
0,2-0,4								18		64	79	88	42	5	18	9					12	0,04	0,04
0,4-0,6								127		213	355	302	222	31	81	20					326	1,12	1,16
0,6-0,8			5	6	16	54		127		213	355	302	222	31	81	20					1436	4,92	6,07
0,8-1,0		8	17	31	78	107		241		404	556	667	407	56	98	38					2719	9,31	15,38
1,0-1,2		12	40	50	116	153		290		528	613	675	531	115	129	35					3301	11,30	26,68
1,2-1,4		3	47	69	131	169		306		523	567	520	435	88	142	40					3060	10,47	37,15
1,4-1,6		2	45	65	103	197		250		525	622	509	334	44	121	45					2884	9,87	47,02
1,6-1,8			34	72	107	119		212		501	716	517	302	41	104	41					2784	9,53	56,55
1,8-2,0			11	51	91	96		170		375	775	612	329	54	104	34					2711	9,28	65,83
2,0-2,2			10	39	71	75		119		275	751	701	385	33	89	39					2603	8,91	74,74
2,2-2,4			3	20	33	31		46		213	571	698	361	51	85	23					2146	7,35	82,09
2,4-2,6			3	5	19	35		33		122	389	601	359	38	84	16					1707	5,84	87,93
2,6-2,8			2		12	13		29		72	239	466	319	24	73	17					1269	4,34	92,27
2,8-3,0				3	6	14		11		24	110	308	254	28	46	15					821	2,81	95,08
3,0-3,2			1	2	5	7		10		11	69	185	193	19	42	16					562	1,92	97,01
3,2-3,4					1	1		7		10	31	133	127	23	43	12					390	1,33	98,34
3,4-3,6					1	4		2		13	52	58	14	31	10						188	0,64	98,98
3,6-3,8				1				2		3	12	40	41	5	26	6					136	0,47	99,45
3,8-4,0					1			1		2	18	28	5	14	3						74	0,25	99,70
4,0-4,2					1			1		3	5	18	4	3							35	0,12	99,82
4,2-4,4										1	3	9	1	5							21	0,07	99,89
4,4-4,6										1	1	4	3	2							12	0,04	99,93
4,6-4,8												3	3	4							12	0,04	99,98
4,8-5,0												1	1	2							4	0,01	99,99
5,0-5,2														1							1	0,00	99,99
5,2-5,4																					0	0,00	99,99
5,4-5,6																					0	0,00	99,99
5,6-5,8																					1	0,00	100,00
5,8-6,0																					1	0,00	100,00
6,0-6,2																					0		
6,2-6,4																					0		
6,4-6,6																					0		
6,6-6,8																					0		
6,8-7,0																					0		
7,0-7,2																					0		
ni	0	26	218	414	790	1077	1873	3872	6475	7102	4764	687	1348	426	34	76	4	18	0	12	29216	100	
fi	0,00	0,09	0,75	1,42	2,70	3,69	6,41	13,25	22,16	24,31	16,31	2,35	4,61	1,46	0,12	0,26	0,01	0,06	0,00	0,04	100		
Fi	0,00	0,09	0,84	2,25	4,96	8,64	15,05	28,31	50,47	74,78	91,08	93,44	98,05	99,51	99,62	99,9	99,9	100,0	100,0	100,0		29216	

ni: Frecuencia absoluta; fi: Frecuencia relativa; Fi: Frecuencia relativa acumulada

Tabla 3.4.3 - 2: Frecuencia de incidencia de Hs v/s Dirección en punto de descarga del emisario.

DIRECCION (°)	Altura (m)																				ni	fi	Fi
	0 0,4	0,4 0,8	0,8 1,2	1,2 1,6	1,6 2	2 2,4	2,4 2,8	2,8 3,2	3,2 3,6	3,6 4	4 4,4	4,4 4,8	4,8 5,2	5,2 5,6	5,6 6	6 6,4	6,4 6,8	6,8 7,2	7,2 7,6	7,6 8			
180																					0	0,00	0,00
185																					0	0,00	0,00
190																					0	0,00	0,00
195																					0	0,00	0,00
200																					0	0,00	0,00
205																					0	0,00	0,00
210																					0	0,00	0,00
215																					0	0,00	0,00
220																					0	0,00	0,00
225																					0	0,00	0,00
230																					0	0,00	0,00
235		43	341	729	704	371	153	47	11	5											2404	8,23	8,23
240		29	210	614	785	637	332	113	52	16		3	2								2793	9,56	17,79
245		18	171	453	624	561	340	142	42	14		7	4								2376	8,13	25,92
250		14	163	504	750	666	424	183	70	27		15	3	1							2820	9,65	35,57
255		16	125	440	632	756	568	273	112	45		11	12	2		1					2993	10,24	45,82
260		11	143	441	781	890	653	361	165	57		10	3	1		1					3517	12,04	57,86
265	6	329	871	625	543	677	469	257	125	46		10		1							3959	13,55	71,41
270	3	720	2100	1005	297	90	21	3	1												4240	14,51	85,92
275	3	539	1775	1065	351	96	15	4													3848	13,17	99,09
280		43	121	68	28	5	1														266	0,91	100,00
285																					0		
290																					0		
295																					0		
300																					0		
305																					0		
310																					0		
315																					0		
320																					0		
325																					0		
330																					0		
335																					0		
340																					0		
345																					0		
350																					0		
355																					0		
ni	12	1762	6020	5944	5495	4749	2976	1383	578	210	56	24	5	0	2	0	0	0	0	0	29216	100	
fi	0,04	6,03	20,61	20,35	18,81	16,25	10,19	4,73	1,98	0,72	0,19	0,08	0,02	0,00	0,01						100		
Fi	0,04	6,07	26,68	47,02	65,83	82,09	92,27	97,01	98,98	99,70	99,89	99,98	99,99	99,99	100,0								29216

ni: Frecuencia absoluta; fi: Frecuencia relativa; Fi: Frecuencia relativa acumulada

Tabla 3.4.3 - 3: Frecuencia de incidencia de Tp v/s Dirección en punto de descarga del emisario.

DIRECCION (°)	Periodo (s)																				ni	fi	Fi
	4 5	5 6	6 7	7 8	8 9	9 10	10 11	11 12	12 13	13 14	14 15	15 16	16 17	17 18	18 19	19 20	20 21	21 22	22 23	23 24			
180																					0	0,00	0,00
185																					0	0,00	0,00
190																					0	0,00	0,00
195																					0	0,00	0,00
200																					0	0,00	0,00
205																					0	0,00	0,00
210																					0	0,00	0,00
215																					0	0,00	0,00
220																					0	0,00	0,00
225																					0	0,00	0,00
230																					0	0,00	0,00
235					2	68	223	512	778	493	261	21	46								2404	8,23	8,23
240				2	7	27	115	389	744	752	484	52	140	65	5	8		3			2793	9,56	17,79
245			2	7	15	33	106	353	617	589	371	62	127	56	6	27	1	4			2376	8,13	25,92
250		1	2	15	27	28	130	449	751	716	435	51	140	49	3	13	1	5		4	2820	9,65	35,57
255		1	13	27	41	54	148	309	546	889	539	94	236	68	1	14	1	4		8	2993	10,24	45,82
260			13	21	43	70	168	387	836	978	642	93	189	63	3	9		2			3517	12,04	57,86
265		1	18	49	127	198	251	411	653	1091	779	96	197	73	9	5	1				3959	13,55	71,41
270		4	42	103	214	385	462	323	655	850	652	218	273	52	7						4240	14,51	85,92
275		19	128	190	314	214	252	611	775	744	601										3848	13,17	99,09
280							18	128	120												266	0,91	100,00
285																					0		
290																					0		
295																					0		
300																					0		
305																					0		
310																					0		
315																					0		
320																					0		
325																					0		
330																					0		
335																					0		
340																					0		
345																					0		
350																					0		
355																					0		
ni	0	26	218	414	790	1077	1873	3872	6475	7102	4764	687	1348	426	34	76	4	18	0	12	29216	100	
fi	0,00	0,09	0,75	1,42	2,70	3,69	6,41	13,25	22,16	24,31	16,31	2,35	4,61	1,46	0,12	0,26	0,01	0,06	0,00	0,04	100		
Fi	0,00	0,09	0,84	2,25	4,96	8,64	15,05	28,31	50,47	74,78	91,08	93,44	98,05	99,51	99,62	99,9	99,9	100,0	100,0	100,0		29216	

ni: Frecuencia absoluta; fi: Frecuencia relativa; Fi: Frecuencia relativa acumulada

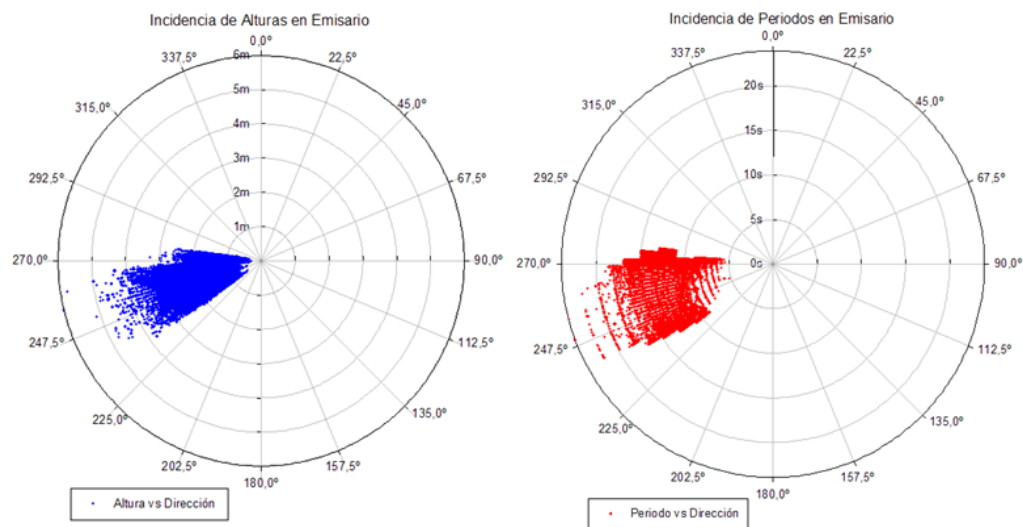


Figura 3.4.3 - 1: Incidencia de alturas y periodos para punto de descarga del emisario.

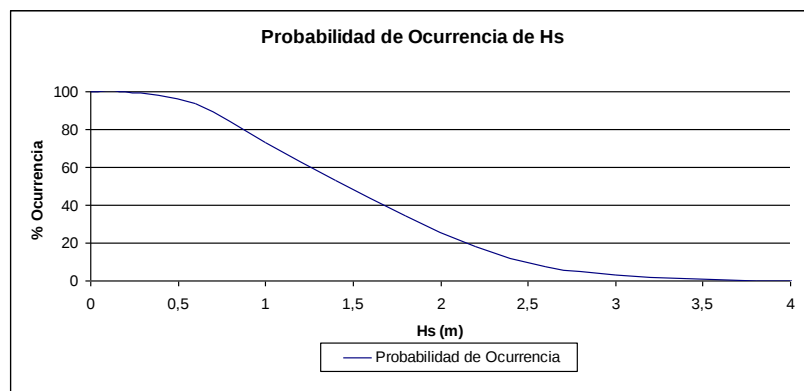


Figura 3.4.3 - 2: Gráfico de ocurrencia en punto de descarga del emisario.

Tabla 3.4.3 - 4: Frecuencia de incidencia de Tp vs Hs en punto de ubicación del ADCP.

Altura (m)	Periodo (s)																				ni	fi	Fi
	4 5	5 6	6 7	7 8	8 9	9 10	10 11	11 12	12 13	13 14	14 15	15 16	16 17	17 18	18 19	19 20	20 21	21 22	22 23	23 24			
0,0-0,2		1	4	4	13	36	238	583	527	131	14	1								5	1557	5,33	5,33
0,2-0,4		22	129	171	374	475	503	528	1043	1579	458	9	42	17							5350	18,31	23,64
0,4-0,6			40	141	201	195	140	19	83	263	516	81	125	41	5	1					1854	6,35	29,99
0,6-0,8		1	1	4	11	47	59	30	19	10	418	149	165	33	2	5					958	3,28	33,27
0,8-1,0			3	10	8	28	98	112	78	20	109	44	91	28	3	5					639	2,19	35,46
1,0-1,2			7	21	23	46	176	237	157	86	40	15	28	18	4	2	1				861	2,95	38,40
1,2-1,4		1	14	20	19	53	172	491	395	148	53	8	16	7	1	1					1399	4,79	43,19
1,4-1,6			6	15	41	73	174	521	622	252	67	6	18	9		1					1806	6,18	49,37
1,6-1,8		1	6	17	43	53	124	472	735	410	96	14	35	13	1	2	1				2022	6,92	56,29
1,8-2,0			5	6	22	18	92	357	806	564	147	17	62	17		4		1			2118	7,25	63,54
2,0-2,2			2	1	15	19	46	246	731	697	211	21	35	18		7	1				2050	7,02	70,56
2,2-2,4			1	3	11	19	18	141	514	703	236	18	59	16	1	5		1			1746	5,98	76,54
2,4-2,6					6	7	18	85	367	719	290	37	60	25		2					1616	5,53	82,07
2,6-2,8					2	2	8	24	195	547	363	27	80	29		2			1		1280	4,38	86,45
2,8-3,0				1	1	4	5	11	100	384	282	31	64	33	6	7					931	3,19	89,64
3,0-3,2							1	8	51	247	321	39	81	13		3					765	2,62	92,26
3,2-3,4						2		1	31	155	286	32	73	11		6					602	2,06	94,32
3,4-3,6							1	4	9	79	230	19	69	16	6	4					439	1,50	95,82
3,6-3,8								1	8	62	183	26	40	22		4					348	1,19	97,01
3,8-4,0									2	29	128	20	37	12	1	1					230	0,79	97,80
4,0-4,2									2	12	107	14	33	11		2					181	0,62	98,42
4,2-4,4								1		2	71	17	41	11	1	2	1				147	0,50	98,92
4,4-4,6										3	52	14	24	4		1					98	0,34	99,26
4,6-4,8											27	7	21	10	2	2					69	0,24	99,49
4,8-5,0											20	5	20	4		1					50	0,17	99,66
5,0-5,2											14	3	9	2		1					29	0,10	99,76
5,2-5,4											6	1	5	1		2					15	0,05	99,82
5,4-5,6											9	5	1	1	1	1					18	0,06	99,88
5,6-5,8											4		5								9	0,03	99,91
5,8-6,0											1	2	2	1							6	0,02	99,93
6,0-6,2											3	4	1	1							9	0,03	99,96
6,2-6,4											2		4				1				7	0,02	99,98
6,4-6,6												1	1						1		3	0,01	99,99
6,6-6,8													1								1	0,00	100,00
6,8-7,0																					0	0,00	100,00
7,0-7,2																	1				1	0,00	100,00
ni	0	26	218	414	790	1077	1873	3872	6475	7102	4764	687	1348	424	34	76	4	18	0	12	29214	100	
fi	0,00	0,09	0,75	1,42	2,70	3,69	6,41	13,25	22,16	24,31	16,31	2,35	4,61	1,45	0,12	0,26	0,01	0,06	0,00	0,04	100		
Fi	0,00	0,09	0,84	2,25	4,96	8,64	15,05	28,31	50,47	74,78	91,09	93,44	98,06	99,51	99,62	99,9	99,9	100,0	100,0	100,0		29214	

ni: Frecuencia absoluta; fi: Frecuencia relativa; Fi: Frecuencia relativa acumulada

Tabla 3.4.3 - 5: Frecuencia de incidencia de Hs v/s Dirección en punto de ubicación del ADCP.

DIRECCION (°)	Altura (m)																				ni	fi	Fi
	0 0,4	0,4 0,8	0,8 1,2	1,2 1,6	1,6 2	2 2,4	2,4 2,8	2,8 3,2	3,2 3,6	3,6 4	4 4,4	4,4 4,8	4,8 5,2	5,2 5,6	5,6 6	6 6,4	6,4 6,8	6,8 7,2	7,2 7,6	7,6 8			
180																					0	0,00	0,00
185																					0	0,00	0,00
190																					0	0,00	0,00
195																					0	0,00	0,00
200																					0	0,00	0,00
205																					0	0,00	0,00
210																					0	0,00	0,00
215																					0	0,00	0,00
220																					0	0,00	0,00
225																					0	0,00	0,00
230																					0	0,00	0,00
235																					0	0,00	0,00
240																					0	0,00	0,00
245	46	242	612	1670	2073	1800	1397	754	454	237	115	46	25	17	9	5	2			1	9505	32,53	32,53
250	6861	2566	846	1481	2001	1974	1486	938	580	341	212	121	54	16	6	11	2	1			19498	66,74	99,27
255		4	38	52	64	22	13	4	7		1							1			205	0,70	99,97
260			4	2	2																8	0,03	100,00
265																					0		
270																					0		
275																					0		
280																					0		
285																					0		
290																					0		
295																					0		
300																					0		
305																					0		
310																					0		
315																					0		
320																					0		
325																					0		
330																					0		
335																					0		
340																					0		
345																					0		
350																					0		
355																					0		
ni	6907	2812	1500	3205	4140	3796	2896	1696	1041	578	328	167	79	33	15	16	4	1	1	1	29216	100	
fi	23,64	9,62	5,13	10,97	14,17	12,99	9,91	5,81	3,56	1,98	1,12	0,57	0,27	0,11	0,05	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	100		
Fi	23,64	33,27	38,40	49,37	63,54	76,53	86,45	92,25	95,81	97,79	98,91	99,49	99,76	99,87	99,92	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		29216	

ni: Frecuencia absoluta; fi: Frecuencia relativa; Fi: Frecuencia relativa acumulada

Tabla 3.4.3 - 6: Frecuencia de incidencia de Tp v/s Dirección en punto de ubicación del ADCP.

DIRECCION (°)	Periodo (s)																				ni	fi	Fi
	4 5	5 6	6 7	7 8	8 9	9 10	10 11	11 12	12 13	13 14	14 15	15 16	16 17	17 18	18 19	19 20	20 21	21 22	22 23	23 24			
180																					0	0,00	0,00
185																					0	0,00	0,00
190																					0	0,00	0,00
195																					0	0,00	0,00
200																					0	0,00	0,00
205																					0	0,00	0,00
210																					0	0,00	0,00
215																					0	0,00	0,00
220																					0	0,00	0,00
225																					0	0,00	0,00
230																					0	0,00	0,00
235																					0	0,00	0,00
240																					0	0,00	0,00
245			1	16	50	254	613	1300	2257	2656	1582	176	418	163	11			8			9505	32,53	32,53
250		26	217	398	736	812	1253	2561	4177	4419	3142	500	885	247	23	76	4	10		12	19498	66,74	99,27
255					1	11	7	11	36	27	40	11	45	16							205	0,70	99,97
260					3				5												8	0,03	100,00
265																					0		
270																					0		
275																					0		
280																					0		
285																					0		
290																					0		
295																					0		
300																					0		
305																					0		
310																					0		
315																					0		
320																					0		
325																					0		
330																					0		
335																					0		
340																					0		
345																					0		
350																					0		
355																					0		
ni	0	26	218	414	790	1077	1873	3872	6475	7102	4764	687	1348	426	34	76	4	18	0	12	29216	100	
fi	0,00	0,09	0,75	1,42	2,70	3,69	6,41	13,25	22,16	24,31	16,31	2,35	4,61	1,46	0,12	0,26	0,01	0,06	0,00	0,04	100		
Fi	0,00	0,09	0,84	2,25	4,96	8,64	15,05	28,31	50,47	74,78	91,08	93,44	98,05	99,51	99,62	99,9	99,9	100,0	100,0	100,0		29216	

ni: Frecuencia absoluta; fi: Frecuencia relativa; Fi: Frecuencia relativa acumulada.

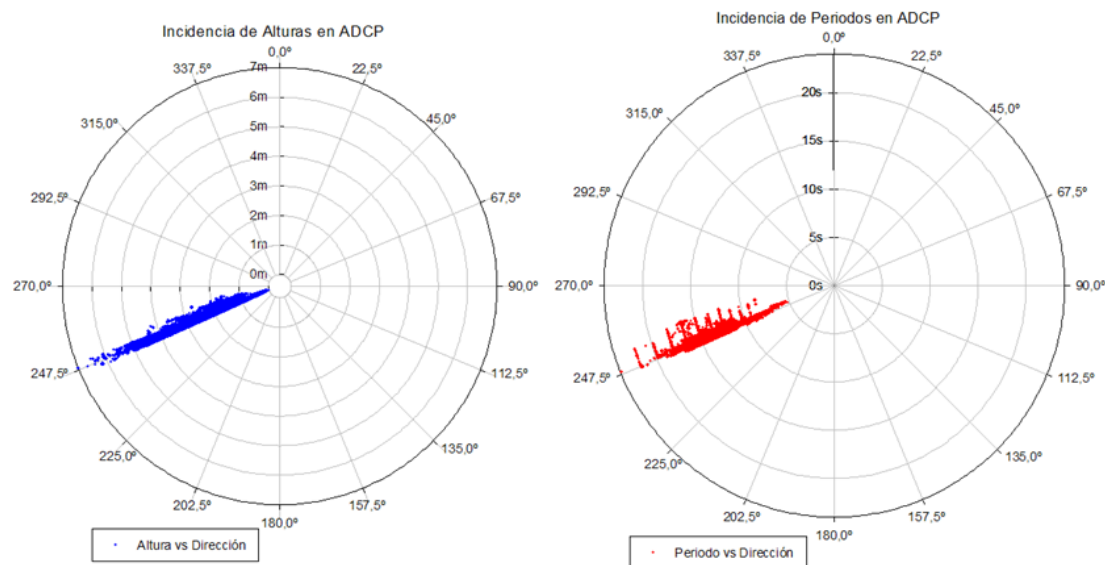


Figura 3.4.3 - 3: Incidencia de alturas y periodos para punto de ubicación del ADCP.

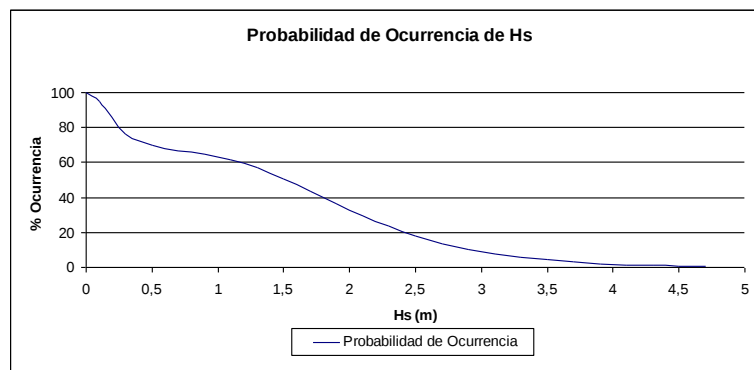


Figura 3.4.3 - 4: Gráfico de ocurrencia de altura significativa en punto de ubicación del ADCP.

En la Tabla 3.4.3 - 7 se muestra un resumen de los principales parámetros estadísticos del clima de oleaje en cada punto estudiado, donde HI representa la altura significativa en el punto, vale decir que los parámetros mencionados en la tabla fueron calculados de manera independiente entre sí.

Tabla 3.4.3 - 7: Resumen estadístico del clima local de oleaje.

Estadístico	Emisario			ADCP		
	HI (m)	Tp (s)	Dir (°)	HI (m)	Tp (s)	Dir (°)
Media	1,14	12,83	230,37	0,87	12,83	245,27
Mediana	0,92	13,00	230,08	0,42	13	244,96
Percentil 25	0,65	11,68	227,33	0,26	11,68	244,79
Percentil 75	1,51	14,09	231,8	1,24	14,09	245,4
Máxima	4,74	23,94	269,03	5,89	23,94	258,02

3.4.4 VALIDACIÓN DEL MODELO

En cuanto a la validación del modelo de oleaje, el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA), en la publicación 3201 estipula:

“las mediciones de olas in situ serán comparadas con los resultados del estudio Hindcast y transferencia de olas hacia el sitio de interés de manera de validar el modelo de transferencia”.

“Para realizar una comparación representativa entre las mediciones de olas de corto plazo y la climatología de olas de largo plazo, se identificará el periodo preciso de medición de oleaje (30 días mínimo) y se extraerán los parámetros de olas del hindcasting, ya transferidos hacia el sitio de interés, de cada uno de los años incluidos en el hindcast correspondientes al período del año en que se realicen las mediciones”.

“Se procederá a realizar un análisis estadístico entre los datos de hindcasting de olas transferidas y las mediciones de corto plazo, de manera de poder cotejar ambas bases de datos. Se deberá presentar una comparación estadística detallada de los parámetros de olas principales, entre las mediciones in situ y aquellas obtenidas desde el hindcasting para la altura significativa de olas, período de máxima energía del espectro y la dirección promedio del oleaje”.

Las mediciones de oleaje in situ se realizaron utilizando un perfilador acústico doppler de corriente (ADCP) durante 52 días, desde el 23 de febrero hasta el 15 de abril de 2011.

Los datos tienen como sistema de referencia el norte geográfico (Declinación magnética: 0°45'E, fuente: http://maps.ngdc.noaa.gov/viewers/historical_declination/) y el huso horario empleado en las mediciones corresponde a la Zona +3.

Para la realización de la validación se procedió a promediar cada uno de los días concordantes, con respecto a fecha y hora, para los 20 años de estadísticas propagadas desde aguas profundas al lugar de fondeo del ADCP. En la Tabla 3.4.4 - 1 se presenta un resumen estadístico de los datos promedio de los 20 años de Oceanor y los datos registrados mediante el ADCP, en donde se entregan valores de los principales parámetros de oleaje, los cuales son tratados de forma independiente entre sí.

Tabla 3.4.4 - 1: Resumen estadístico de datos promediados, Oceanor y mediciones in situ.

Estadístico	Oceanor			In situ		
	HI (m)	Tp (s)	Dir (°)	HI (m)	Tp (s)	Dir (°)
Máximo	2,31	14,12	248,87	1,9	19,5	355
Media	1,77	13,05	248,05	0,98	10,23	260,4
Mediana	1,78	12,69	248,81	0,92	11,1	262
Percentil 25	1,59	12,71	247,82	0,75	5,2	252,3
Percentil 75	1,94	13,36	248,32	1,19	14,9	270

En las Tablas 3.4.4 – 2 a 3.4.4 - 7 y Figuras 3.4.4 – 1 a 3.4.4. - 4 se entrega la estadística bivariada de altura, periodo y dirección para los datos registrados con el ADCP y los datos promediados de la estadística de 20 años propagada, para los mismos días y hora

de la medición. Se aprecia que la altura del oleaje, que constituye el parámetro más relevante para este proyecto, tiene cierta concordancia entre la medición y la modelación, obteniéndose una probabilidad de ocurrencia muy similar en ambos casos.

En cuanto al periodo, se aprecia un mayor rango de frecuencias captadas por el instrumento, las cuales pueden deberse a la capacidad de discriminar de mejor manera el oleaje de tipo swell, diferenciándolo del oleaje de tipo “sea”, además de captar el oleaje reflejado desde la costa (direcciones superiores a los 337.5°), debido a la ubicación del ADCP (Figura 3.2 - 1, “Estación 3”). Vale destacar que el fenómeno de reflexión no es incorporado por el modelo empleado.

La estadística bivariada obtenida para el punto de fondeo del ADCP, presenta también una amplia dispersión en las frecuencias.

En el caso de la dirección, el instrumento tiene mayor capacidad de detectar rangos de direcciones que el modelo de propagación, observándose direcciones incluso provenientes de tierra, producto del oleaje reflejado y que el modelo, debido a sus formulaciones, no es capaz de resolver. En efecto, por tratarse mayoritariamente de oleaje tipo swell, propagándose hasta una profundidad de aproximadamente 30m, se espera que el efecto de la refracción sea altamente dominante (siente el fondo en periodos mayores a 6,2 s), resultando en frentes de oleaje bastante alineados con los veriles. Sin embargo, se aprecia una dirección principal con una dispersión angular de aproximadamente 15°.

Los datos son comparados sólo de manera cualitativa. Los resultados son presentados en forma gráfica, incluyendo la altura, el periodo y la dirección para realizar dicha comparación.

Tabla 3.4.4 - 2: Frecuencia de incidencia de Tp vs Hs para los datos medidos por el ADCP.

Altura (m)	Periodo (s)																				ni	fi	Fi
	0 1	1 2	2 3	3 4	4 5	5 6	6 7	7 8	8 9	9 10	10 11	11 12	12 13	13 14	14 15	15 16	16 17	17 18	18 19	19 20			
0,0-0,2						1					1										0	0,00	0,00
0,2-0,4											9										2	0,33	0,33
0,4-0,6					1			2	1	1		3	5	17	3		4				46	7,58	7,91
0,6-0,8		7	3	3	3	4	1		6	4	8	12	20	40	32		20			4	167	27,51	35,42
0,8-1,0		17	9	7	7	5	4	3	10	6	5	4	10	23	16		10			5	141	23,23	58,65
1,0-1,2		8	2	15	12	9	8	4	5	4	5	3	1	16	15		1			2	110	18,12	76,77
1,2-1,4		5		5	20	5	4	1	3	6	1		2	10	6		8			6	82	13,51	90,28
1,4-1,6		2		2	13	8	2	1	1	1	1		1	4	4						40	6,59	96,87
1,6-1,8		1			4	6					1			3						15	2,47	99,34	
1,8-2,0						2								1						4	0,66	100,00	
2,0-2,2																				0			
2,2-2,4																				0			
2,4-2,6																				0			
2,6-2,8																				0			
2,8-3,0																				0			
3,0-3,2																				0			
3,2-3,4																				0			
3,4-3,6																				0			
3,6-3,8																				0			
3,8-4,0																				0			
4,0-4,2																				0			
4,2-4,4																				0			
4,4-4,6																				0			
4,6-4,8																				0			
4,8-5,0																				0			
5,0-5,2																				0			
5,2-5,4																				0			
5,4-5,6																				0			
5,6-5,8																				0			
5,8-6,0																				0			
6,0-6,2																				0			
6,2-6,4																				0			
6,4-6,6																				0			
6,6-6,8																				0			
6,8-7,0																				0			
7,0-7,2																				0			
ni	0	40	14	32	60	40	19	11	26	23	30	22	39	114	76	0	43	0	0	18	607	100	
fi	0,00	6,59	2,31	5,27	9,88	6,59	3,13	1,81	4,28	3,79	4,94	3,62	6,43	18,78	12,52	0,00	7,08	0,00	0,00	2,97	100		
Fi	0,00	6,59	8,90	14,17	24,05	30,64	33,77	35,58	39,87	43,66	48,60	52,22	58,65	77,43	89,95	90,0	97,0	97,0	97,0	100,0			607

ni: Frecuencia absoluta; fi: Frecuencia relativa; Fi: Frecuencia relativa acumulada

Tabla 3.4.4 - 3: Frecuencia de incidencia de Hs v/s Dirección para los datos medidos por el ADCP.

DIRECCION (°)	Altura (m)																				ni	fi	Fi
	0 0,2	0,2 0,4	0,4 0,6	0,6 0,8	0,8 1	1 1,2	1,2 1,4	1,4 1,6	1,6 1,8	1,8 2	2 2,2	2,2 2,4	2,4 2,6	2,6 2,8	2,8 3	3 3,2	3,2 3,4	3,4 3,6	3,6 3,8	3,8 4			
180			1	3	1	2	2														9	1,48	1,48
185																					0	0,00	1,48
190																					0	0,00	1,48
195																					0	0,00	1,48
200																					0	0,00	1,48
205																					1	0,16	1,64
210																					1	0,16	1,81
215																					0	0,00	1,81
220																					0	0,00	1,81
225					1	2	1		1												5	0,82	2,63
230					1																2	0,33	2,96
235					3	3			1												8	1,32	4,28
240			1		6	3			1												16	2,63	6,91
245			1	8	15	8	8	4	1	1											46	7,57	14,47
250		1	2	9	11	14	10	9	3	1											60	9,87	24,34
255			2	16	14	19	9	9	4												73	12,01	36,35
260			6	27	20	19	14	5	2												93	15,30	51,64
265			11	24	25	17	14	3	2												96	15,79	67,43
270			11	30	18	11	6	2	1	1											80	13,16	80,59
275		1	3	17	7	9	7	4		1											49	8,06	88,65
280			5	14	5	2	6	1													33	5,43	94,08
285			1	8	5	1															15	2,47	96,55
290			1	3	3	1															8	1,32	97,86
295					1																1	0,16	98,03
300																					0	0,00	98,03
305																					0	0,00	98,03
310						1															1	0,16	98,19
315																					0	0,00	98,19
320				1																	1	0,16	98,36
325					1		1														2	0,33	98,68
330			1	1																	2	0,33	99,01
335																					0	0,00	99,01
340					3																3	0,49	99,51
345				1																	1	0,16	99,67
350																					0	0,00	99,67
355				1	1																2	0,33	100,00
ni	0	2	46	167	141	111	82	40	15	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	608	100	
fi	0,00	0,33	7,57	27,47	23,19	18,26	13,49	6,58	2,47	0,66											100		
Fi	0,00	0,33	7,89	35,36	58,55	76,81	90,30	96,88	99,34	100,00													608

ni: Frecuencia absoluta; fi: Frecuencia relativa; Fi: Frecuencia relativa acumulada

Tabla 3.4.4 - 4: Frecuencia de incidencia de Tp v/s Dirección para los datos medidos por el ADCP.

DIRECCION (°)	Periodo (s)																				ni	fi	Fi
	0 1	1 2	2 3	3 4	4 5	5 6	6 7	7 8	8 9	9 10	10 11	11 12	12 13	13 14	14 15	15 16	16 17	17 18	18 19	19 20			
180				4	2			1					1		1						9	1,48	1,48
185																					0	0,00	1,48
190																					0	0,00	1,48
195																					0	0,00	1,48
200																					0	0,00	1,48
205					1																1	0,16	1,65
210					1																1	0,16	1,81
215																					0	0,00	1,81
220																					0	0,00	1,81
225		3		1		1															5	0,82	2,64
230									1						1						2	0,33	2,97
235		1			2	3			1						1						8	1,32	4,28
240		1	1	5	4				2						1						16	2,64	6,92
245		4	3	7	15	3	2	1	3		1	1	1	2	2					1	46	7,58	14,50
250		1		3	17	15	2		5	4	2	3		2	5		1				60	9,88	24,38
255		7	4	3	5	7	9	4	5	5	6	2	2	4	7		2			1	73	12,03	36,41
260		9	1	3	7	6	2	2	4	6	9	5	4	10	13		6			6	93	15,32	51,73
265		4		2	3	2	3	3	3	1	8	7	9	25	10		11			4	95	15,65	67,38
270		3	3	2		1			1	2	2	3	12	26	9		13			3	80	13,18	80,56
275		2	1	1		1				2	1		7	20	8		4			2	49	8,07	88,63
280					2						1	1	2	15	7		4			1	33	5,44	94,07
285		4			1									6	3		1				15	2,47	96,54
290			1			1							1	2	2		1				8	1,32	97,86
295														1							1	0,16	98,02
300																					0	0,00	98,02
305																					0	0,00	98,02
310										1											1	0,16	98,19
315																					0	0,00	98,19
320															1						1	0,16	98,35
325							1								1						2	0,33	98,68
330															2						2	0,33	99,01
335																					0	0,00	99,01
340		1							1						1						3	0,49	99,51
345															1						1	0,16	99,67
350																					0	0,00	99,67
355				1										1							2	0,33	100,00
ni	0	40	14	32	60	40	19	11	26	23	30	22	39	114	76	0	43	0	0	18	607	100	
fi	0,00	6,59	2,31	5,27	9,88	6,59	3,13	1,81	4,28	3,79	4,94	3,62	6,43	18,78	12,52	0,00	7,08	0,00	0,00	2,97	100		
Fi	0,00	6,59	8,90	14,17	24,05	30,64	33,77	35,58	39,87	43,66	48,60	52,22	58,65	77,43	89,95	90,0	97,0	97,0	97,0	100,0			607

ni: Frecuencia absoluta; fi: Frecuencia relativa; Fi: Frecuencia relativa acumulada

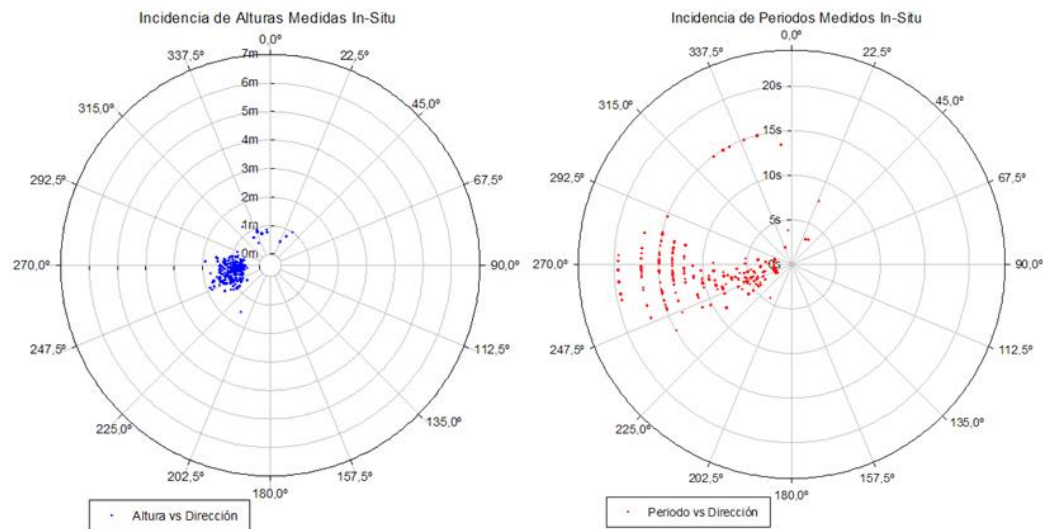


Figura 3.4.4 - 1: Incidencia de alturas y periodos para los datos medidos por el ADCP.

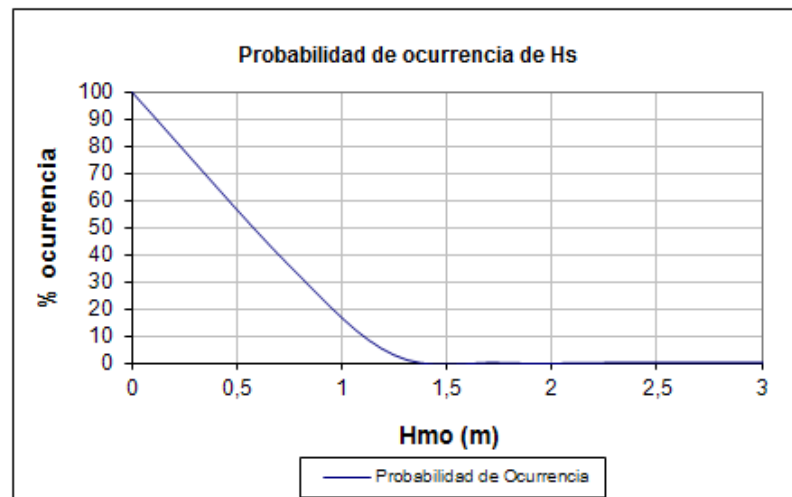


Figura 3.4.4 - 2: Gráfico de ocurrencia para los datos medidos por el ADCP.

Tabla 3.4.4 - 5: Frecuencia de incidencia de Tp vs Hs para datos OCEANOR promediados y coincidentes con el período de la medición.

Altura (m)	Periodo (s)																				ni	fi	Fi
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
0,0-0,2																					0	0,00	0,00
0,2-0,4																					0	0,00	0,00
0,4-0,6												1	1								2	0,99	0,99
0,6-0,8													28	13	1						42	20,69	21,67
0,8-1,0													47	39	5						91	44,83	66,50
1,0-1,2													19	32							51	25,12	91,63
1,2-1,4													5	9	1						15	7,39	99,01
1,4-1,6													2								2	0,99	100,00
1,6-1,8																					0		
1,8-2,0																					0		
2,0-2,2																					0		
2,2-2,4																					0		
2,4-2,6																					0		
2,6-2,8																					0		
2,8-3,0																					0		
3,0-3,2																					0		
3,2-3,4																					0		
3,4-3,6																					0		
3,6-3,8																					0		
3,8-4,0																					0		
4,0-4,2																					0		
4,2-4,4																					0		
4,4-4,6																					0		
4,6-4,8																					0		
4,8-5,0																					0		
5,0-5,2																					0		
5,2-5,4																					0		
5,4-5,6																					0		
5,6-5,8																					0		
5,8-6,0																					0		
6,0-6,2																					0		
6,2-6,4																					0		
6,4-6,6																					0		
6,6-6,8																					0		
6,8-7,0																					0		
7,0-7,2																					0		
ni	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	102	93	7	0	0	0	0	0	203	100	
fi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,49	50,25	45,81	3,45						100		
Fi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,49	50,74	96,55	100,00								203

ni: Frecuencia absoluta; fi: Frecuencia relativa; Fi: Frecuencia relativa acumulada

Tabla 3.4.4 - 6: Frecuencia de incidencia de Hs v/s Dirección para datos OCEANOR promediados y coincidentes con la medición.

DIRECCION (°)	Altura (m)																				ni	fi	Fi
	0 0,4	0,4 0,8	0,8 1,2	1,2 1,6	1,6 2	2 2,4	2,4 2,8	2,8 3,2	3,2 3,6	3,6 4	4 4,4	4,4 4,8	4,8 5,2	5,2 5,6	5,6 6	6 6,4	6,4 6,8	6,8 7,2	7,2 7,6	7,6 8			
180																					0	0,00	0,00
185																					0	0,00	0,00
190																					0	0,00	0,00
195																					0	0,00	0,00
200																					0	0,00	0,00
205																					0	0,00	0,00
210																					0	0,00	0,00
215																					0	0,00	0,00
220																					0	0,00	0,00
225																					0	0,00	0,00
230																					0	0,00	0,00
235																					0	0,00	0,00
240																					0	0,00	0,00
245		44	142	17																	203	100,00	100,00
250																					0		
255																					0		
260																					0		
265																					0		
270																					0		
275																					0		
280																					0		
285																					0		
290																					0		
295																					0		
300																					0		
305																					0		
310																					0		
315																					0		
320																					0		
325																					0		
330																					0		
335																					0		
340																					0		
345																					0		
350																					0		
355																					0		
ni	0	44	142	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	203	100	
fi	0,00	21,67	69,95	8,37																	100		
Fi	0,00	21,67	91,63	100,00																			203

ni: Frecuencia absoluta; fi: Frecuencia relativa; Fi: Frecuencia relativa acumulada

Tabla 3.4.4 - 7: Frecuencia de incidencia de Tp v/s Dirección para datos OCEANOR promediados y coincidentes con la medición.

DIRECCION (°)	Periodo (s)																				ni	fi	Fi
	0 1	1 2	2 3	3 4	4 5	5 6	6 7	7 8	8 9	9 10	10 11	11 12	12 13	13 14	14 15	15 16	16 17	17 18	18 19	19 20			
180																					0	0,00	0,00
185																					0	0,00	0,00
190																					0	0,00	0,00
195																					0	0,00	0,00
200																					0	0,00	0,00
205																					0	0,00	0,00
210																					0	0,00	0,00
215																					0	0,00	0,00
220																					0	0,00	0,00
225																					0	0,00	0,00
230																					0	0,00	0,00
235																					0	0,00	0,00
240																					0	0,00	0,00
245																					0	0,00	0,00
250																					203	100,00	100,00
255																					0		
260																					0		
265																					0		
270																					0		
275																					0		
280																					0		
285																					0		
290																					0		
295																					0		
300																					0		
305																					0		
310																					0		
315																					0		
320																					0		
325																					0		
330																					0		
335																					0		
340																					0		
345																					0		
350																					0		
355																					0		
ni	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	102	93	7	0	0	0	0	0	203	100	
fi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,49	50,25	45,81	3,45						100		
Fi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,49	50,74	96,55	100,00								203

ni: Frecuencia absoluta; fi: Frecuencia relativa; Fi: Frecuencia relativa acumulada

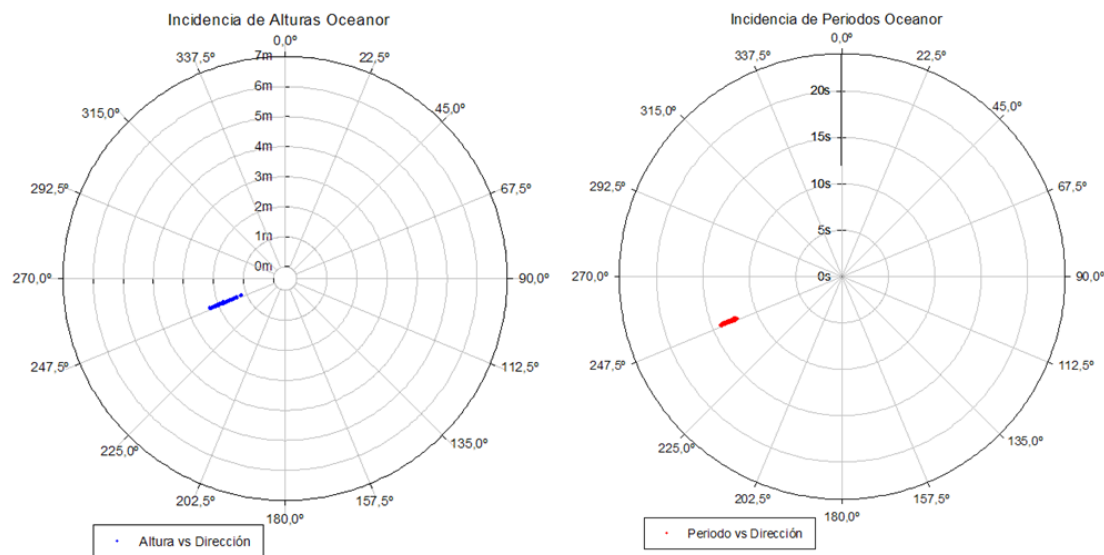


Figura 3.4.4 - 3: Incidencia de Hs y Tp para datos OCEANOR promediados y coincidentes con la medición.

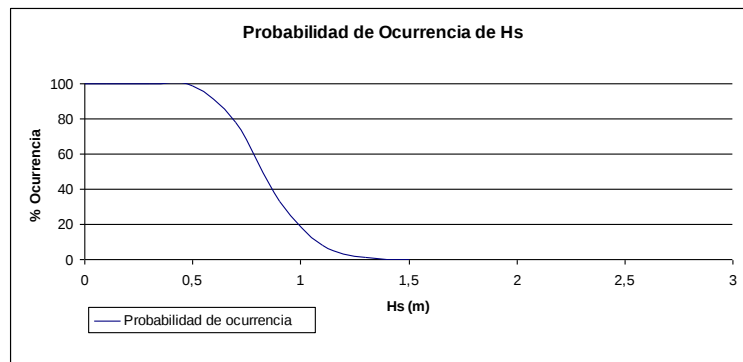


Figura 3.4.4 - 4: Gráfico de ocurrencia para datos OCEANOR promediados y coincidentes con la medición.

3.4.5 ANÁLISIS EXTREMO DE OLEAJE

Se busca mediante la estadística de 20 años de datos en aguas profundas, caracterizar el comportamiento del clima de oleaje extremo en el sector de estudio, para ello se utilizó el método de máximos anuales, el cual corresponde a la máxima altura registrada en el año, en total 20 datos representativo de los 20 años.

Las funciones de distribución de probabilidad para las funciones a estudiar y realizar el análisis son las siguientes:

$$P(X < H) = \exp\left\{-\exp\left[-\left(\frac{H-A}{B}\right)\right]\right\}, \quad \text{Ajuste de Gumbel.}$$

$$P(X < H) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{H-A}{B}\right)^C\right], \quad \text{Ajuste de Weibull}$$

Estas funciones representan la probabilidad de no excedencia P , del evento X , el cual es menor al límite H . Los valores de A y B representan los parámetros de posición y escala respectivamente.

En el caso de la distribución de Weibull se encuentra el parámetro de forma C , en este caso se considerarán los valores empíricos (Goda, 1988), C : [0,75; 1,0; 1,4 y 2,0].

Se realizó el cálculo linealizando las funciones para luego obtener mediante el método gráfico los diferentes parámetros, a continuación, se muestran los valores de H , para cada una de las distribuciones:

$$H = A + B[-\ln(-\ln(P))], \quad \text{Gumbel}$$

$$H = A + B[-\ln(1 - P)]^{1/c}, \quad \text{Weibull}$$

Todas estas funciones son dependientes de la función de probabilidad (ajuste Gumbel & Weibull en este caso), las aproximaciones vienen dadas por la expresión de Gringorten, Goda y Petrauskas (Probabilidad de no excedencia), las cuales se exponen a continuación:

$$P(H) = 1 - \frac{i - 0,44}{N_T + 0,12}, \quad \text{Gringorten para Gumbel}$$

$$P(H) = 1 - \frac{i - 0,2 - \frac{0,27}{\sqrt{C}}}{N_T + 0,20 + \frac{0,23}{\sqrt{C}}}, \quad \text{Goda para Weibull}$$

$$P(H) = 1 - \frac{i - 0,3 - \frac{0,18}{C}}{N_T + 0,21 + \frac{0,32}{C}}, \quad \text{Petrauskas para Weibull}$$

Con $i = 1, 2, 3, \dots, n$

Para determinar las bandas de confianza para las funciones de Gumbel & Weibull, se utilizó lo propuesto por Goda, para lo cual es necesario definir la desviación típica normalizada $\sigma_{\%}$:

$$\sigma_{\%} = \frac{1}{\sqrt{N}} [1,0 + a(Xr - c - \varepsilon \ln v)]^{\frac{1}{2}}$$

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

Donde:

N: Número de datos de altura de ola.

$$a = a_1 \exp \left[a_2 N^{-1,3} + k \sqrt{-\ln v} \right]$$

$v = N/N_t$, N_t = Número de años de registro

Xr: $(H-A)/B$, Para Gumbel.

Xr: $[(H-B)/A]^c$, Para Weibull.

Los valores de los otros parámetros se exponen en la Tabla 3.4.5 - 1:

Tabla 3.4.5 - 1: Coeficientes empíricos fórmula de desviación (Goda, 1988).

Distribución	α_1	α_2	k	c	ε
Gumbel	0,64	9,00	0,93	0,00	1,33
Weibull (k = 0,75)	1,65	11,40	-0,63	0,00	1,15
Weibull (k = 1,0)	1,92	11,40	0,00	0,30	0,90
Weibull (k = 1,4)	2,05	11,40	0,69	0,40	0,72
Weibull (k = 2,0)	2,24	11,40	1,34	0,50	0,54

El valor absoluto de la desviación típica para un suceso queda definido como:

$$\sigma = \sigma_{\%} \times \sigma_H$$

Donde:

σ_H : Desviación estándar de las alturas de olas.

$\sigma_{\%}$: Desviación típica normalizada.

Con estos parámetros se puede calcular las bandas de confianza determinadas por $H_{\max}$ y $H_{\min}$, los cuales vienen dado en la siguiente expresión:

$$H_{\max} = H_s + \delta\sigma$$

$$H_{\min} = H_s - \delta\sigma$$

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

Donde:

$$\delta = N^{-1}\left(\frac{1+\alpha}{2}\right), \quad \alpha=\text{Nivel de confianza, } N^{-1}: \text{Distribución Normal estándar invertida}$$

Para el cálculo del oleaje extremo, se utilizó el criterio de máximas anuales para los 20 años de estadística en aguas profundas. En la Tabla 3.4.5 - 2 se entregan los valores de altura máximos anuales.

Tabla 3.4.5 - 2: Máximas anuales para 20 años de estadística en aguas profundas.

Año	Altura Máxima (m)
1989	4,75
1990	5,11
1991	4,09
1994	5,44
1995	5,46
1996	4,78
1997	5,6
1998	5,45
1999	5,81
2000	4,83
2001	5,03
2002	4,55
2003	5,6
2004	4,4
2005	5,2
2006	6,13
2007	5,61
2008	5,44
2009	5,74
2010	7,24

Los resultados de los cálculos de las alturas de olas para los respectivos períodos de retorno se muestran en la Tabla 3.4.5 - 3.

Tabla 3.4.5 - 3: Valores de altura significativa de olas para diferentes períodos de retorno.

	Gumbel	Weibull			
		k=0,75	k=1,0	k=1,4	k=2,0
Correlación	0,97	0,92	0,94	0,96	0,97
Error residual cuadrático	0,07	0,38	0,17	0,1	0,06
Periodo de Retorno (Años)	Hs(m)	Hs(m)	Hs(m)	Hs(m)	Hs(m)
5	5,83	5,62	5,74	5,83	5,88
10	6,24	6,12	6,22	6,26	6,25
25	6,76	6,86	6,85	6,77	6,66
50	7,15	7,47	7,33	7,13	6,94
70	7,36	7,82	7,6	7,32	7,08
100	7,53	8,12	7,81	7,48	7,19

Se utilizará el pronóstico que mejor se ajuste, es decir, el que presente una correlación más cercana a 1, en este caso corresponde a la distribución Weibull con k=2, que presenta una correlación de 0,97 junto con la distribución Gumbel, pero que presenta un error residual menor. La Tabla 3.4.5 - 4 muestra el intervalo de confianza de 95% para cada periodo de retorno pronosticado.

Tabla 3.4.5 - 4: Intervalos de confianza del 95% para los distintos períodos de retorno.

Intervalo para 95% de confianza					
Periodo de Retorno (Años)	Gumbel	Weibull			
		k=0,75	k=1,0	k=1,4	k=2,0
5	5,5-6,2	5,0-6,3	5,2-6,2	5,4-6,3	5,5-6,2
10	5,8-6,7	5,1-7,1	5,5-6,9	5,7-6,8	5,8-6,7
25	6,1-7,4	5,3-8,4	5,8-7,9	6,1-7,5	6,1-7,2
50	6,4-7,9	5,5-9,5	6,1-8,6	6,3-8,0	6,3-7,5
70	6,5-8,2	5,6-10,1	6,2-9,0	6,4-8,2	6,4-7,7
100	6,6-8,5	5,7-10,6	6,3-9,3	6,5-8,4	6,5-7,8

La Figura 3.4.5 - 1 muestra el pronóstico seleccionado para los distintos periodos de retorno además de sus respectivas bandas de confianza.

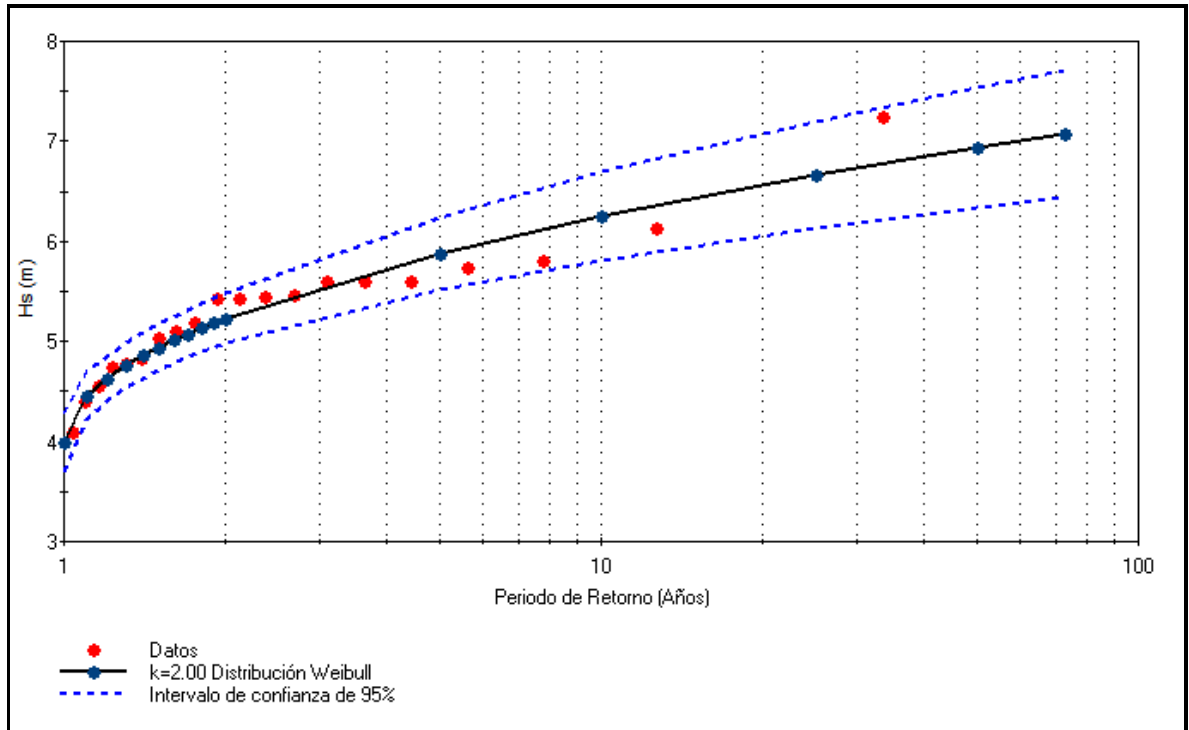


Figura 3.4.5 - 1: Distribución de altura significativa extrema, distribución Weibull con $k=2$.

3.5 CORRIENTES

3.5.1 CORRIENTES EULERIANAS

Las mediciones se realizaron con tres correntómetros en condición de verano e invierno. La campaña de verano se desarrolló entre 23 de febrero y 31 de marzo de 2011, mientras que la campaña de invierno se llevó a cabo desde el 4 de julio a 12 de septiembre de 2011, registrando continuamente durante 37 días en verano y 71 días en invierno. Los perfiladores fueron instalados en el fondo marino (Figura 3.2 - 1). El detalle técnico de dichas mediciones se muestra en la Tabla 3.5.1 - 1.

Tabla 3.5.1 - 1: Información de fondeo de ADCP.

Instrumento	ADCP 1	ADCP 2	ADCP 3
UTM Este	274.717 m	276.357 m	279.216 m
UTM Norte	6.846.804 m	6.846.874 m	6.846.874 m
Latitud S	28°29'08,03"	28°29'06,77"	28°29'12,43"
Longitud W	71°18'04,41"	71°17'04,10"	71°15'19,12"
Medición	35 días verano	35 días verano	37 días verano
	71 días invierno	71 días invierno	69 días invierno
Intervalo de muestreo	10 minutos	10 minutos	10 minutos
Período considerado	25/02/2011 al 31/03/2011 04/07/2011 al 12/09/2011	25/02/2011 al 31/03/2011 04/07/2011 al 12/09/2011	23/02/2011 al 31/03/2011 29/06/2011 al 02/09/2011
Dátum	WGS 84	WGS 84	WGS 84
Huso	19	19	19

Los datos tienen como sistema de referencia el norte geográfico (Declinación magnética: 0°45'E; http://maps.ngdc.noaa.gov/viewers/historical_declination/). El huso horario empleado en las mediciones corresponde a la Zona +3 para campaña de verano y Zona +4 para campaña de invierno.

3.5.2 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

El primer paso del análisis, consiste en corregir los datos de corriente al norte geográfico. Se consideraron como datos anómalos (outliers) aquellos que escapan a la tendencia observada en cada registro obtenido, considerando el comportamiento general de las series registradas simultáneamente en cada celda por los equipos instalados en el área del proyecto.

Posteriormente, se procedió a calcular la estadística básica (media, varianza, mínimo y máximo) de los datos de corriente registrados; a continuación, se obtuvo las respectivas frecuencias de incidencias por rango de dirección (rosa de 8 direcciones) y magnitud. Para este análisis se empleó la totalidad de las observaciones de corrientes con un intervalo de muestreo de 10 minutos. Se debe destacar que las corrientes con magnitudes iguales o inferiores a 0,1 m/s fueron consideradas calmas.

La tendencia residual de la circulación del área de estudio, para el período de la medición, es estimada mediante diagramas de vector progresivo (DVP). Previo a esto, los datos registrados cada 10 minutos fueron reducidos a valores horarios utilizando un promedio simple.

Los resultados del análisis de régimen de corrientes se muestran en el **Anexo 6.7**

3.6 MODELO CORRIENTES

Se elaboró un modelo hidrodinámico de corrientes utilizando el programa ADCIRC (Luettich, 2000) a través de la interface proporcionada por el software SMS 10.1 (Brigham Young University, 2005). ADCIRC es un programa de modelación de zonas costeras, que resuelve las ecuaciones de continuidad y cantidad de movimiento para un fluido móvil en una Tierra que rota. Las ecuaciones han sido formuladas a partir de las leyes de presión hidrostática y aproximaciones de Boussinesq, las que han sido discretizadas en el espacio mediante el Método de Elementos Finitos (MEF) y en el tiempo mediante el Método de Diferencias Finitas.

Para la realización del modelo, se incorporan los antecedentes y datos de los estudios previos para ser incorporados como dato de entrada. Para elaborar el modelo fue necesario llevar a cabo tres aspectos, la región a modelar, la asignación de las condiciones de borde y la creación de la malla de elementos finitos, las cuales se detallan a continuación.

3.6.1 REGIÓN DE MODELACIÓN

A partir de la digitalización batimétrica y de línea de costa descrita en la sección 3.1, se define la región a modelar, la Figura 3.6.1 - 1 muestra dicha área.

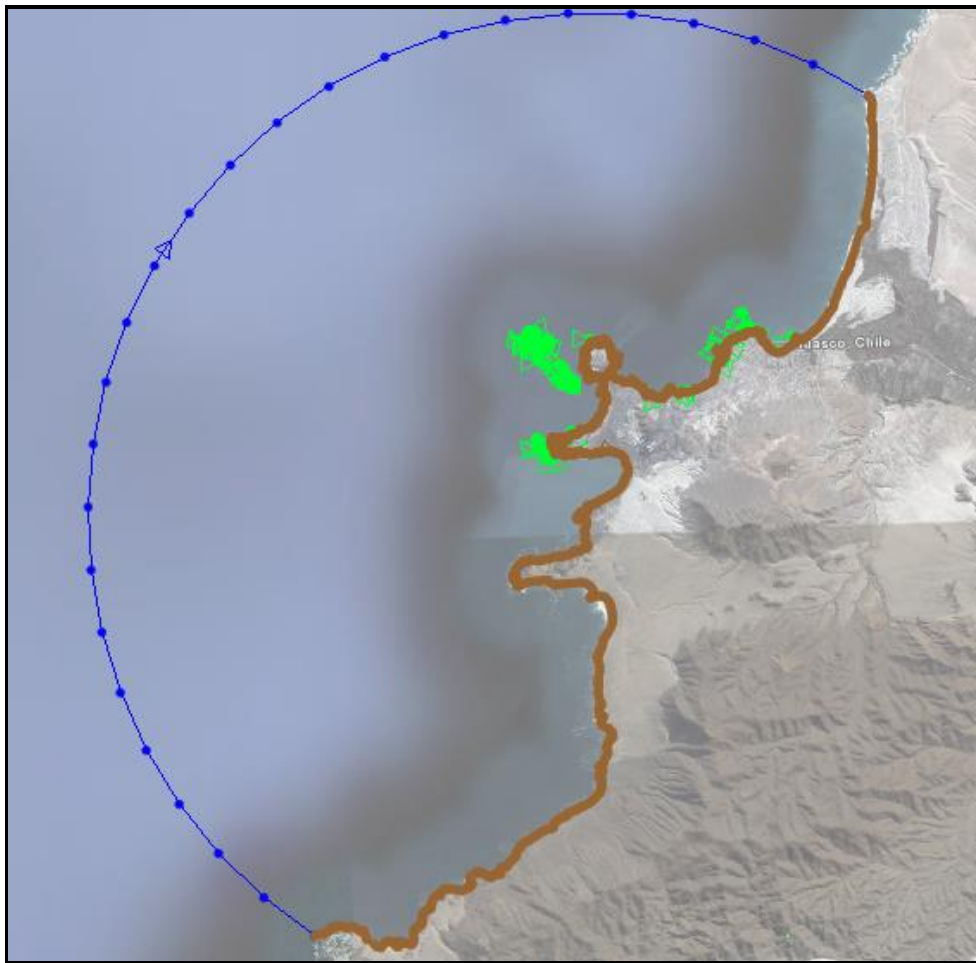


Figura 3.6.1 - 1: Región de Modelación.

3.6.2 CONDICIONES DE BORDE

Se distinguen dos tipos de condiciones:

Línea de costa: Corresponde al límite entre las regiones de agua y tierra. Debido a las oscilaciones de marea en el sector, el modelo se configuró con una frontera móvil, la cual inunda aquellos sectores que se encuentran por debajo del nivel del mar en un determinado instante y vacía los que se encuentran por sobre este nivel. El control de este proceso se realiza activando la rutina wetting and drying incorporada en ADCIRC.

Regiones abiertas: Las regiones abiertas corresponden a aquellos contornos que deben ser definidos sobre las porciones ocupadas por agua para limitar el tamaño del modelo. Se tiene un arco circular como lo muestra la Figura 3.6.2 - 1.



Figura 3.6.2 - 1: Región de Modelación.

3.6.3 MAREAS ASOCIADAS A LAS REGIONES ABIERTAS

La Tabla 3.6.3 - 1 resume los valores de los cinco constituyentes de mayor amplitud considerados en la modelación.

Tabla 3.6.3 - 1: Constituyentes armónicos considerados en la modelación.

Símbolo	Nombre	Periodo (Hr)	Amplitud (m)	Desfase (°)
M2	Principal Lunar	12,421	0.4290	53.10
S2	Principal Solar	12,000	0.1301	71.40
K1	Luni-Solar Diurno	23,934	0.1539	36.00
O1	Principal Lunar Diurno	25,819	0.0831	352.10
N2	Elíptica Lunar Mayor	12,660	0.0945	15.30

Los valores descritos se especifican en cada nodo, considerando el desfase de cada uno de ellos, como se aprecia en la Figura 3.6.3 - 1.

ADCIRC Model Control

General | Timing | Files | Tidal / Harmonics | Wind | Sediment Options

Tidal Constituents

Constituents: K1, M2, N2, O1, S2

Date: Unknown

Amplitude: 0.1539

Frequency: 0.0000729211

Nodal factor: 1.013

Equilibrium arg.: 79.247

Earth tide reduction factor: 0.0

☒ Use forcing constituents

☐ Use potential constituents

Harmonic Analysis

Constituents:

Date: Unknown

Frequency:

Nodal factor:

Equilibrium arg.:

Harmonic analysis output options:

Analyzing start day: 0.0

Analyzing end day: 0.0

Output every 0 time steps

Time Comparison Fraction (0-1): 0.0

Select locations for harmonic analysis (if desired) on the Files page.

Node	Amplitude	Phase
1419	0.1539	36.0
2725	0.1539	36.0
3836	0.1539	36.0
4846	0.1539	36.0
5776	0.1539	36.0
6640	0.1539	36.0
7436	0.1539	36.0
8164	0.1539	36.0

Help Aceptar Cancelar

Figura 3.6.3 - 1: Valores asociados a cada nodo del modelo.

3.6.4 MALLA DE ELEMENTOS FINITOS

La confección de una malla de elementos finitos demanda la realización de una serie de actividades que van desde la definición de una función para asignar el tamaño de los elementos sobre el dominio de modelación, hasta la corrección manual de imprecisiones que hacen el modelo inestable, identificadas a través de modelaciones de corta duración. La Figura 3.6.4 - 1 muestra la confección de dicha malla.

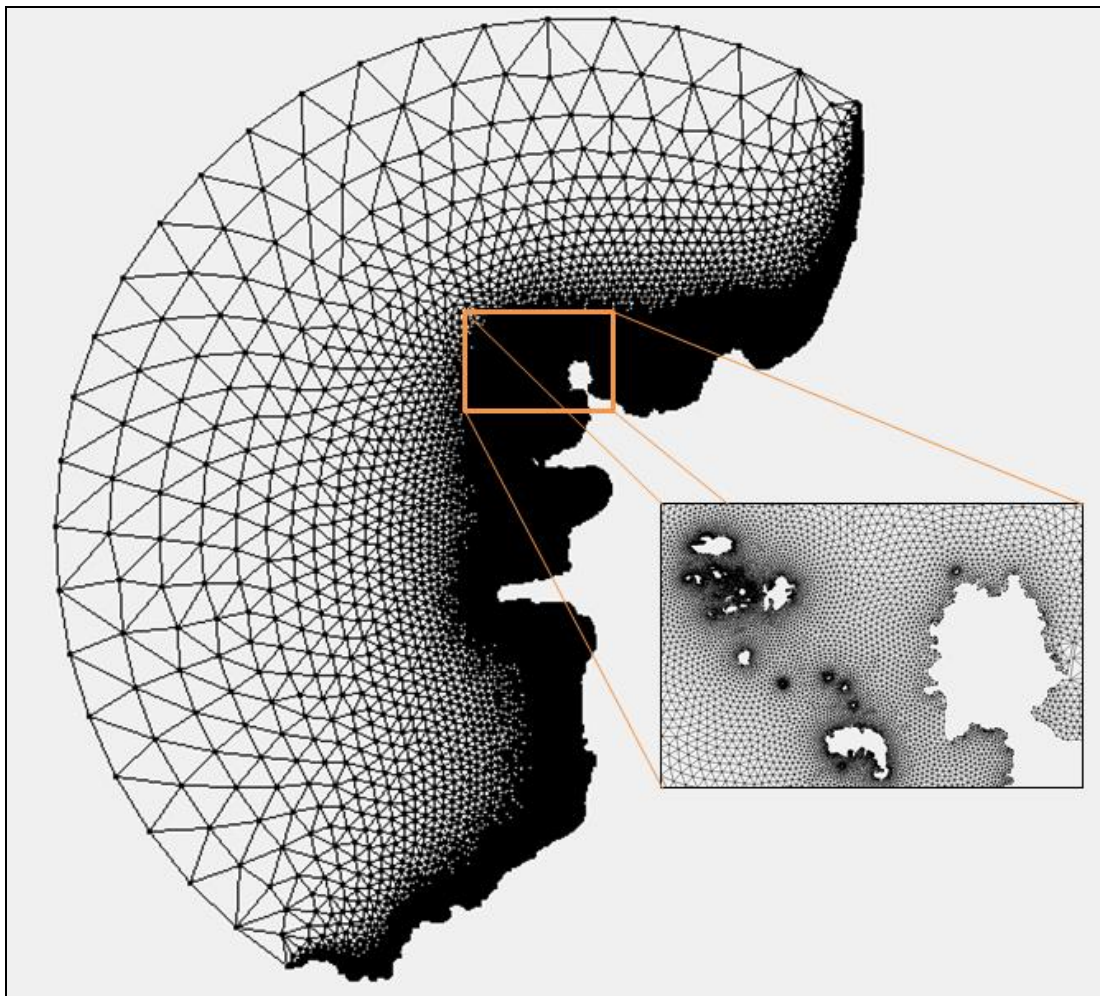


Figura 3.6.4 - 1: Malla de elementos finitos.

3.6.5 CALIBRACIÓN DEL MODELO

Los archivos de salida generados por ADCIRC corresponden al desnivel del mar y a las componentes ortogonales de corrientes en cada nodo, extraídas a intervalos de 30 minutos durante el período de modelación correspondiente a 4 días, tomando en cuenta un periodo de rampa de 1 día. Las estaciones virtuales de monitoreo en ADCIRC fueron puestas en la misma ubicación geográfica del mareógrafo y los tres ADCP instalados por BENTOS, la Figura 3.6.5 - 1 muestra espacialmente dichos puntos.

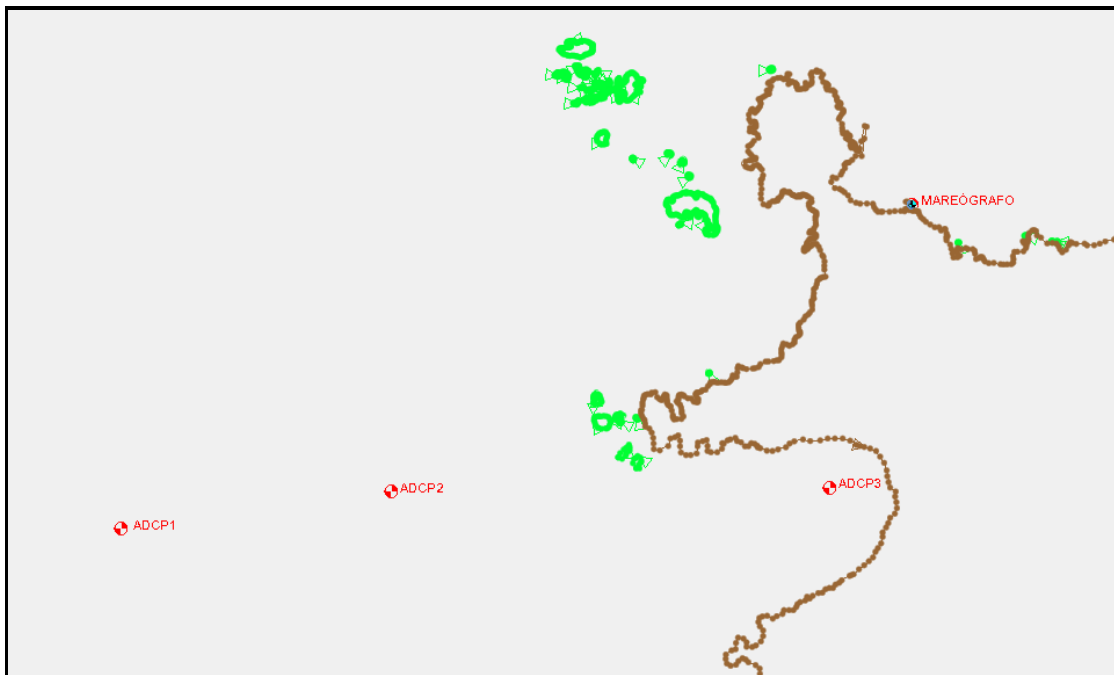


Figura 3.6.5 - 1: Ubicación de instalación de correntómetros y mareógrafo.

Se presenta en las Figuras 3.6.5 – 2 a 3.6.5 - 3 la salida de ADCIRC comparada con las mediciones mediante el correntómetro denominado “ADCP1” y la estación virtual del modelo denominada “Estación_ADCP1” para 4 días correspondiente al modelo desde el 03-03-2011 al 08-03-2011, considerando un día de rampa (periodo de tiempo no considerado), en donde se aprecia en la Figura 3.6.5 - 4 un coeficiente de correlación de $R^2=0,83$ el cual se consideró como una aproximación con alta correlación, tomando en cuenta que se utilizaron sólo los constituyentes armónicos más significativos. Los gráficos y ajustes restantes se presentan en el **Anexo 6.8**.

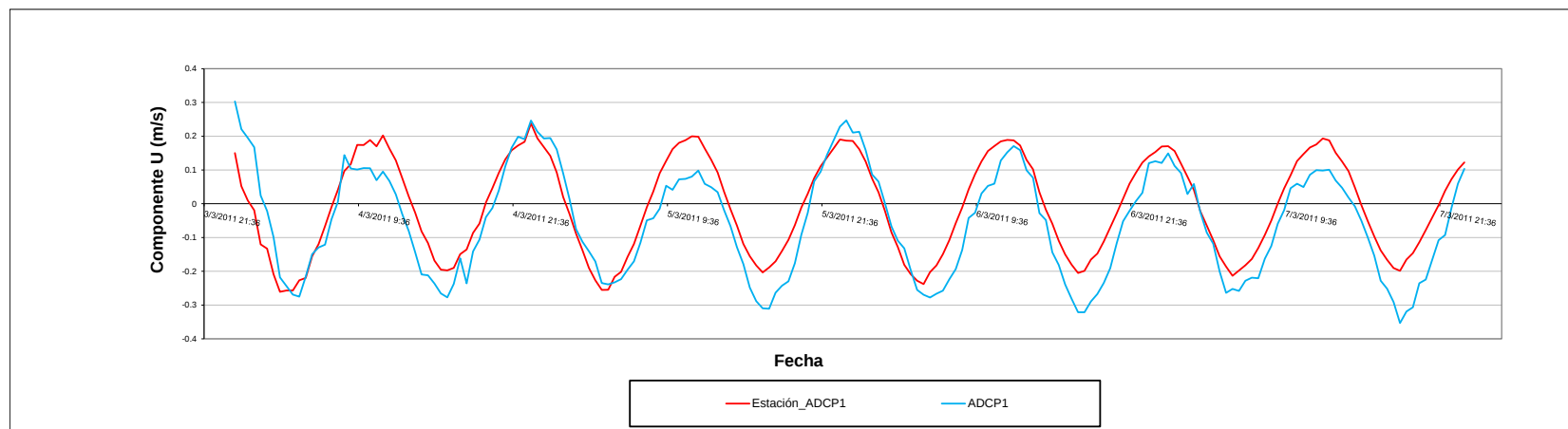


Figura 3.6.5 - 2: Resultado del ajuste de corrientes para la componente ortogonal U(m/s).

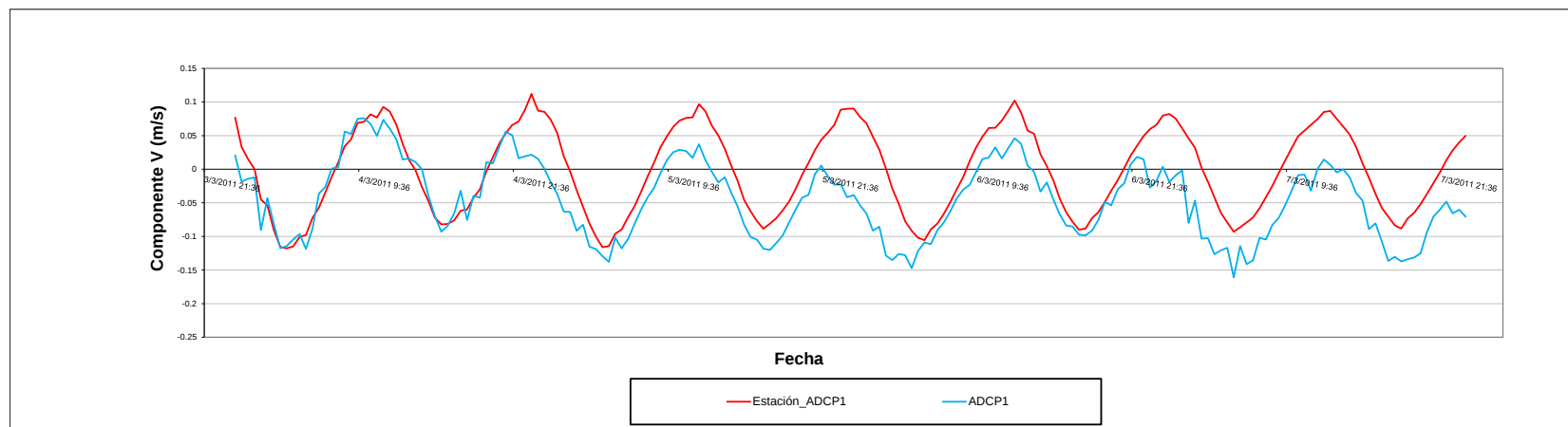


Figura 3.6.5 - 3: Resultado del ajuste de corrientes para la componente ortogonal V(m/s).

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

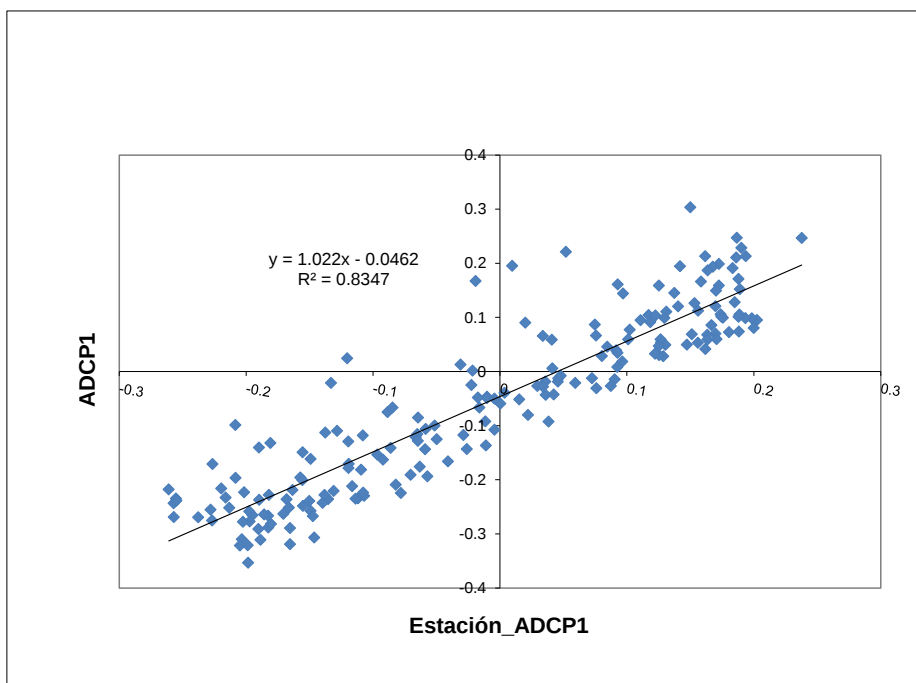


Figura 3.6.5 - 4: Correlación componente ortogonal U(m/s).

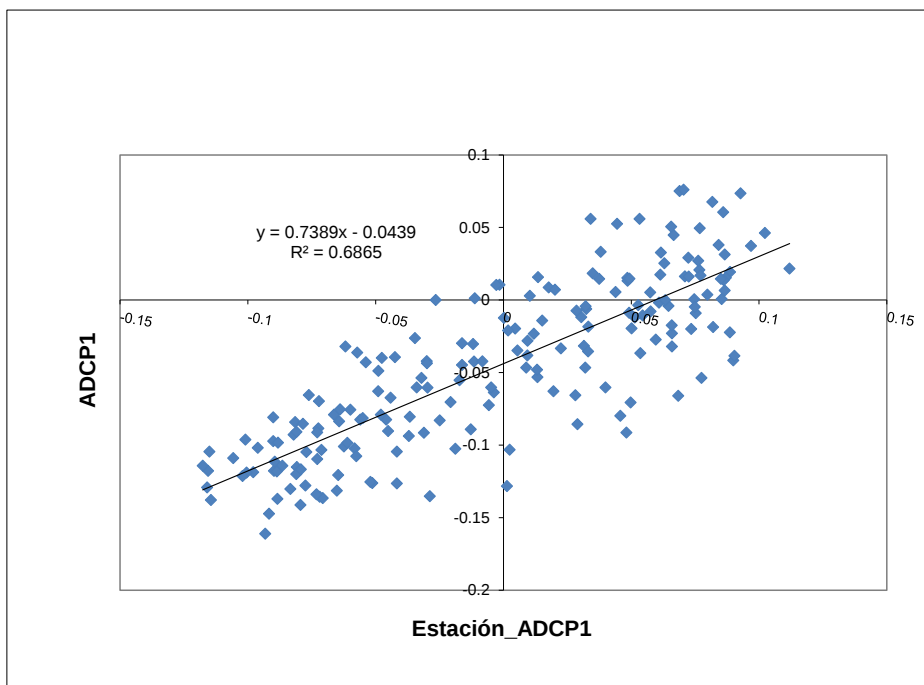


Figura 3.6.5 - 5: Correlación componente ortogonal V(m/s).

3.6.6 RESULTADOS

Se presentan mediante láminas ilustrativas el comportamiento para los periodos de sicigia y cuadratura en condición de llenante y vaciante, para verano y para invierno, estos resultados se ilustran en las Figuras 3.6.6 – 1 a 3.6.6 – 8.

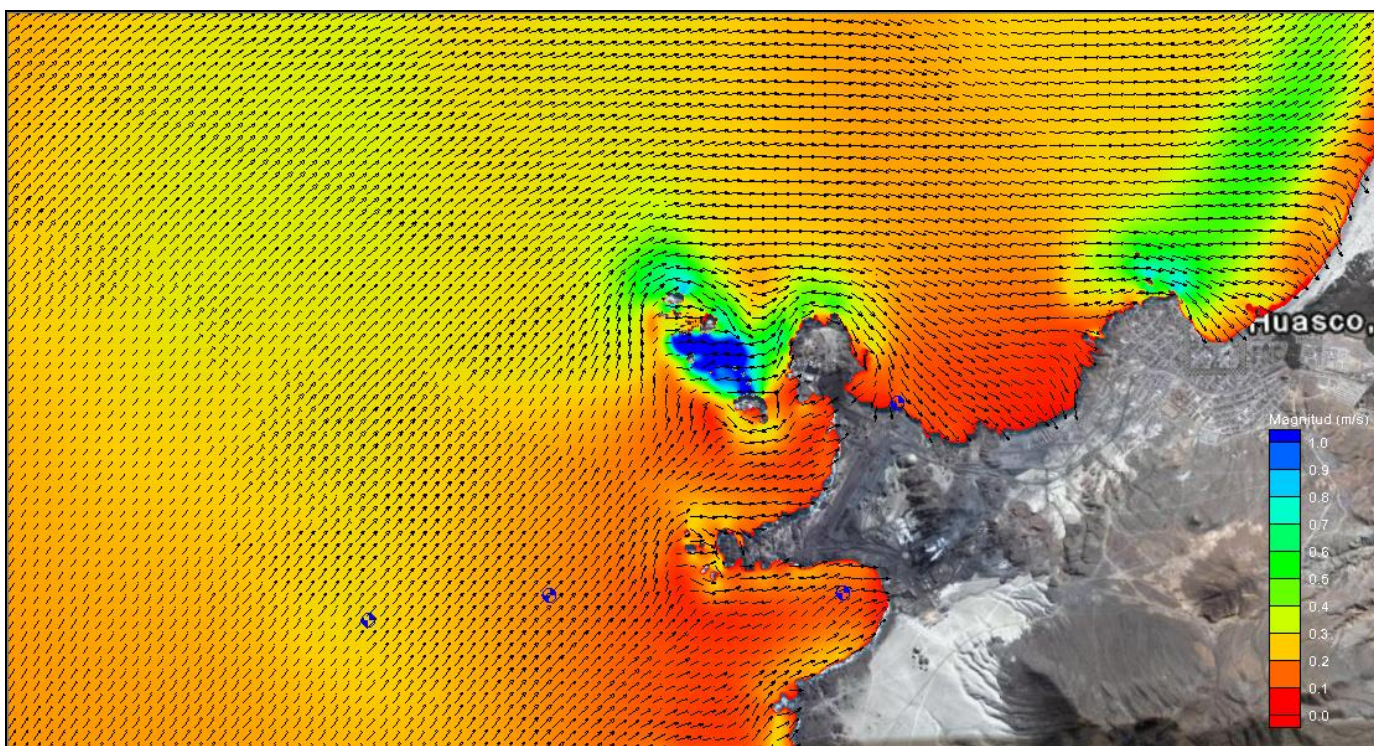


Figura 3.6.6 - 1: Salida ADCIRC de corrientes para sicigia en llenante, campaña de verano.

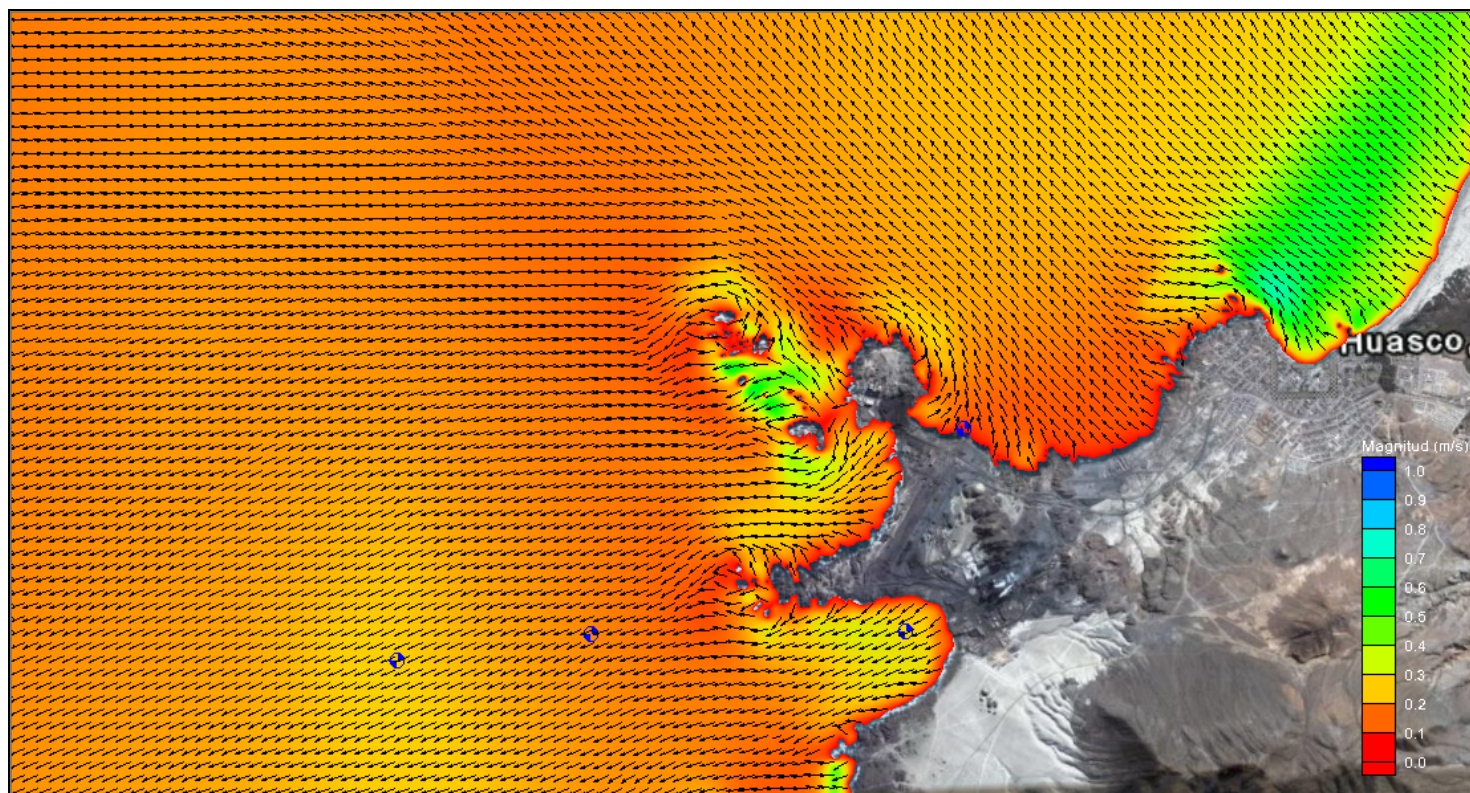


Figura 3.6.6 - 2: Salida ADCIRC de corrientes para sicigia en vaciante, campaña de verano.

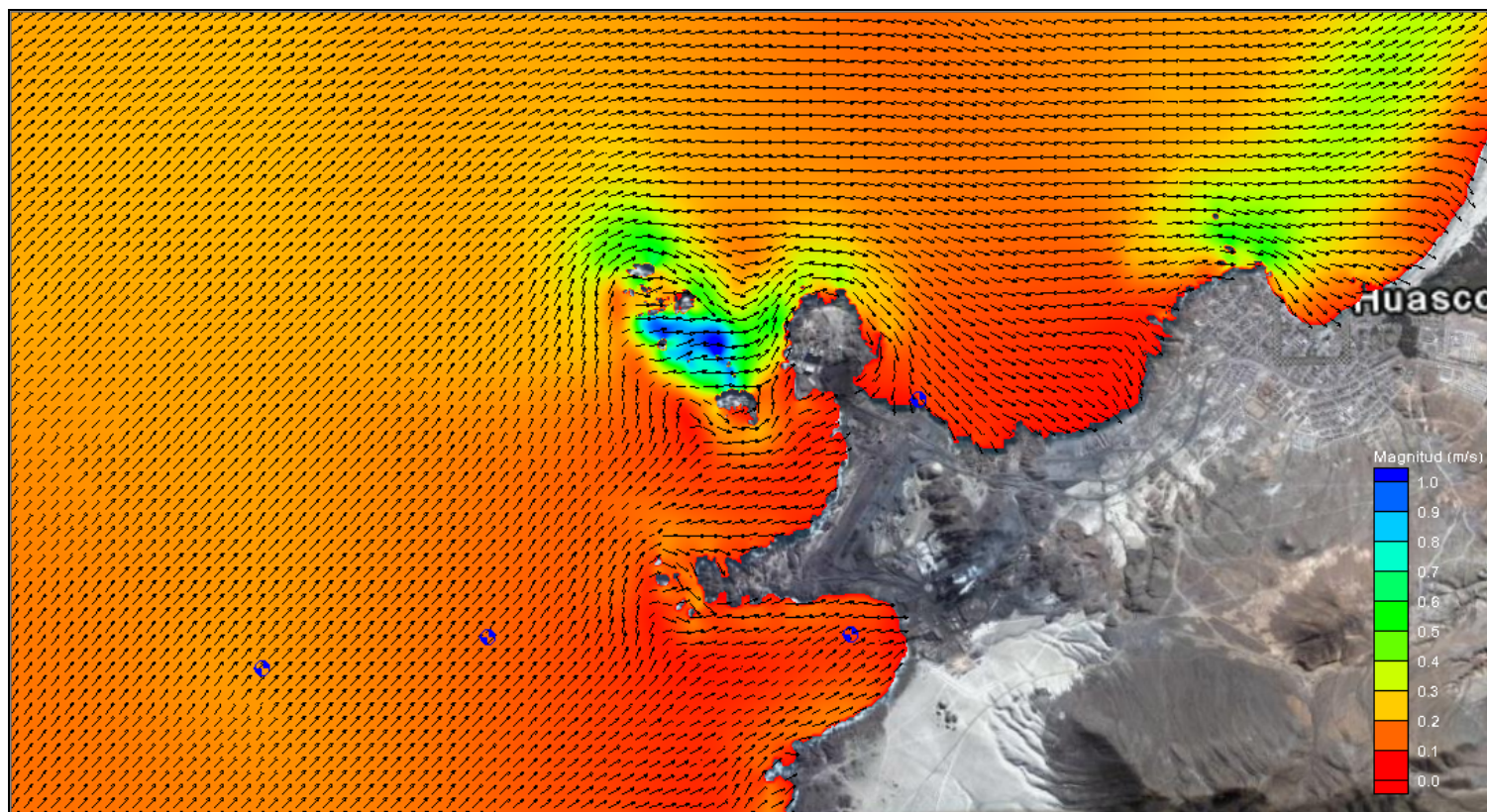


Figura 3.6.6 - 3: Salida ADCIRC de corrientes para cuadratura en llenante, campaña de verano.

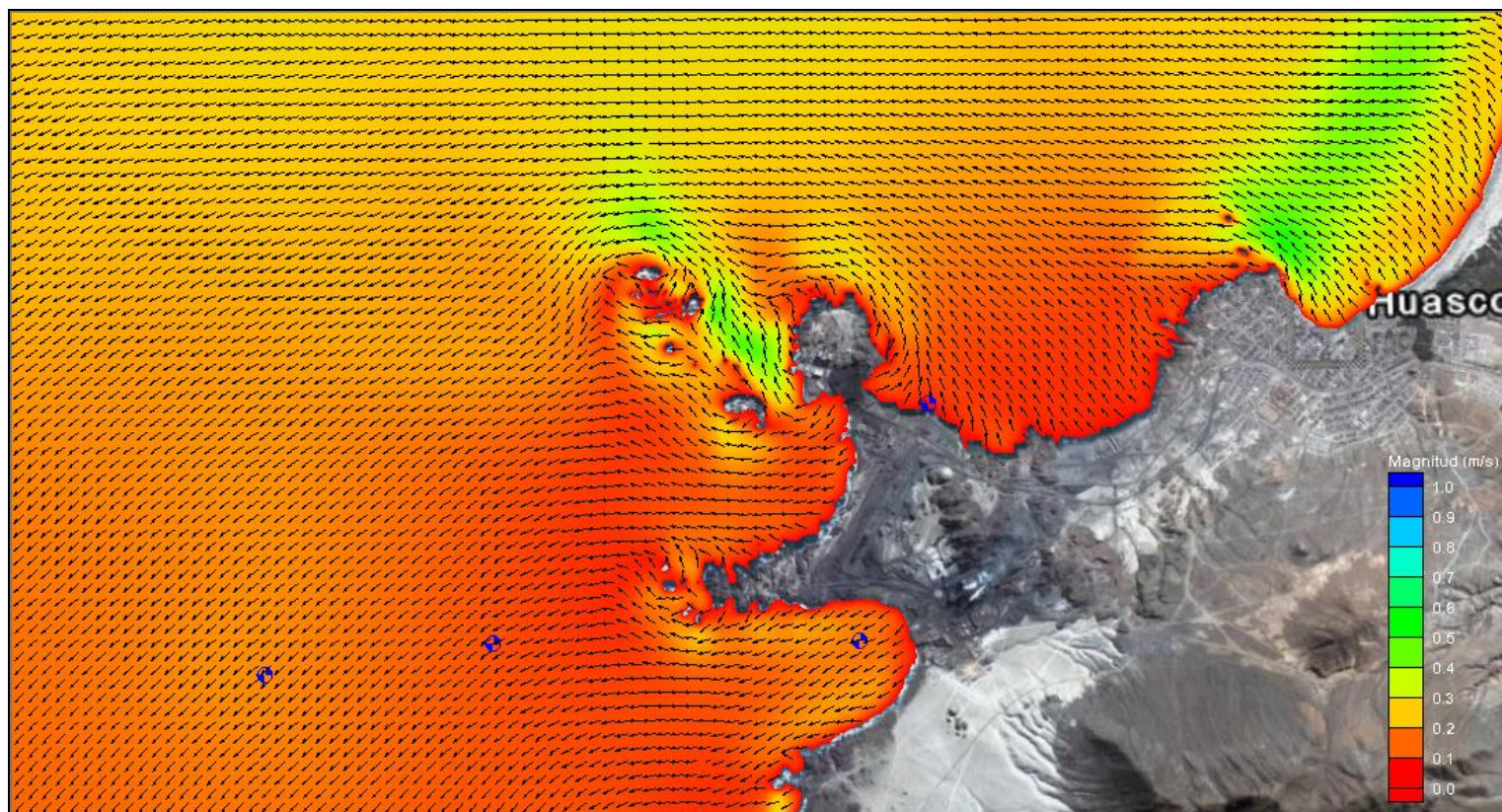


Figura 3.6.6 - 4: Salida ADCIRC de corrientes para cuadratura en vaciante, campaña de verano.

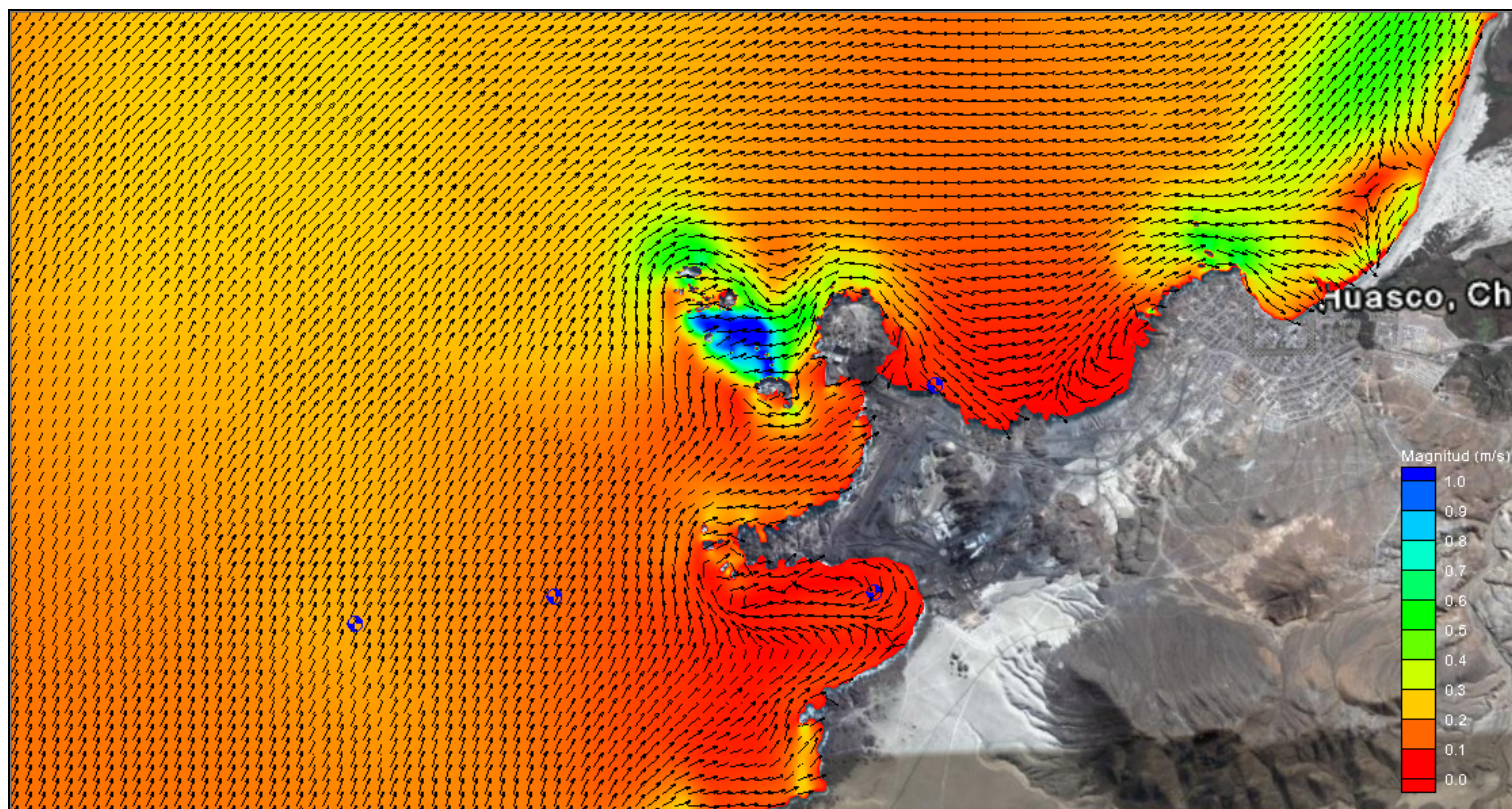


Figura 3.6.6 - 5: Salida ADCIRC de corrientes para cuadratura en llenante, campaña de invierno.

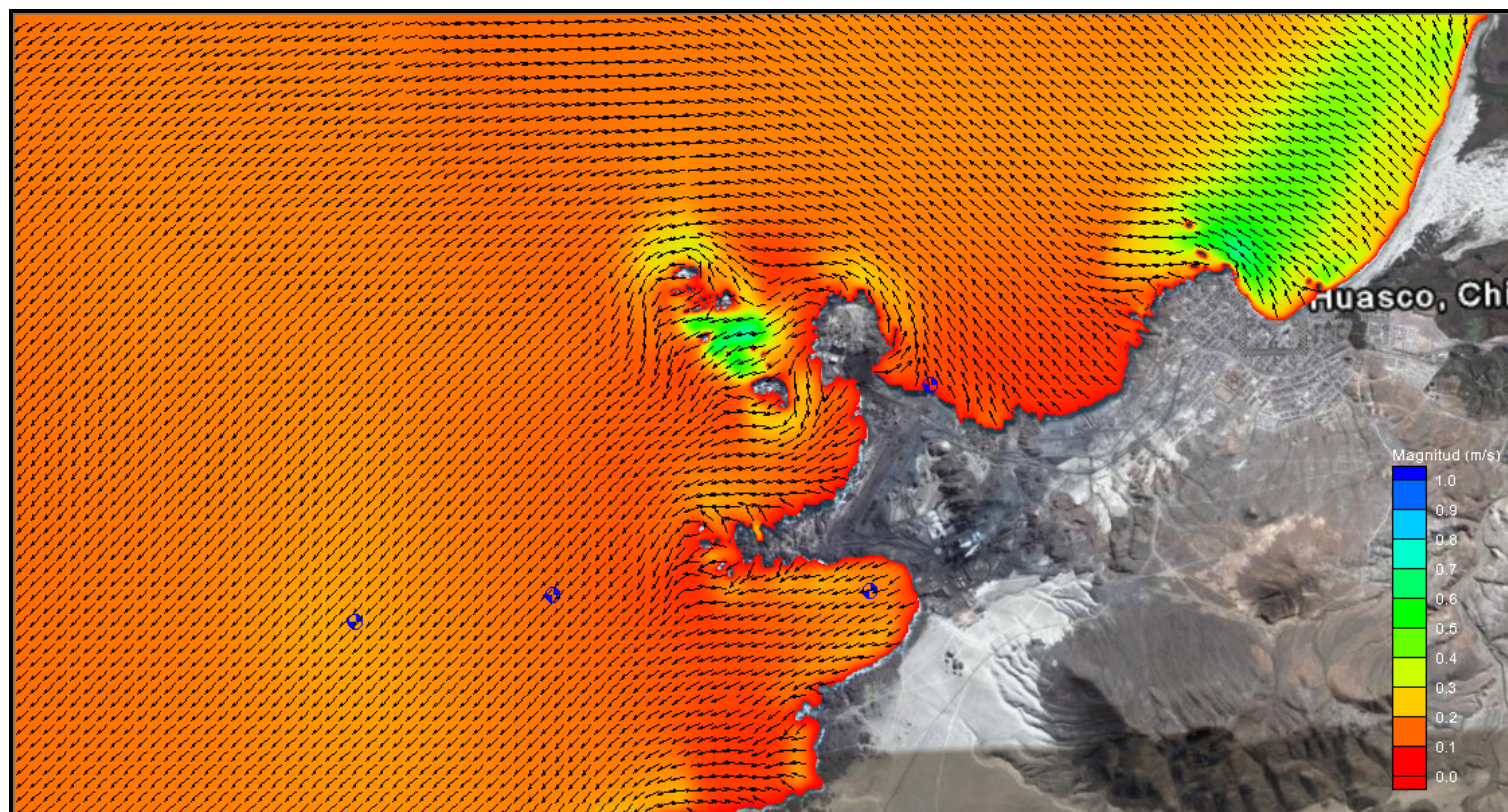


Figura 3.6.6 - 6: Salida ADCIRC de corrientes para cuadratura en vaciante, campaña de invierno.

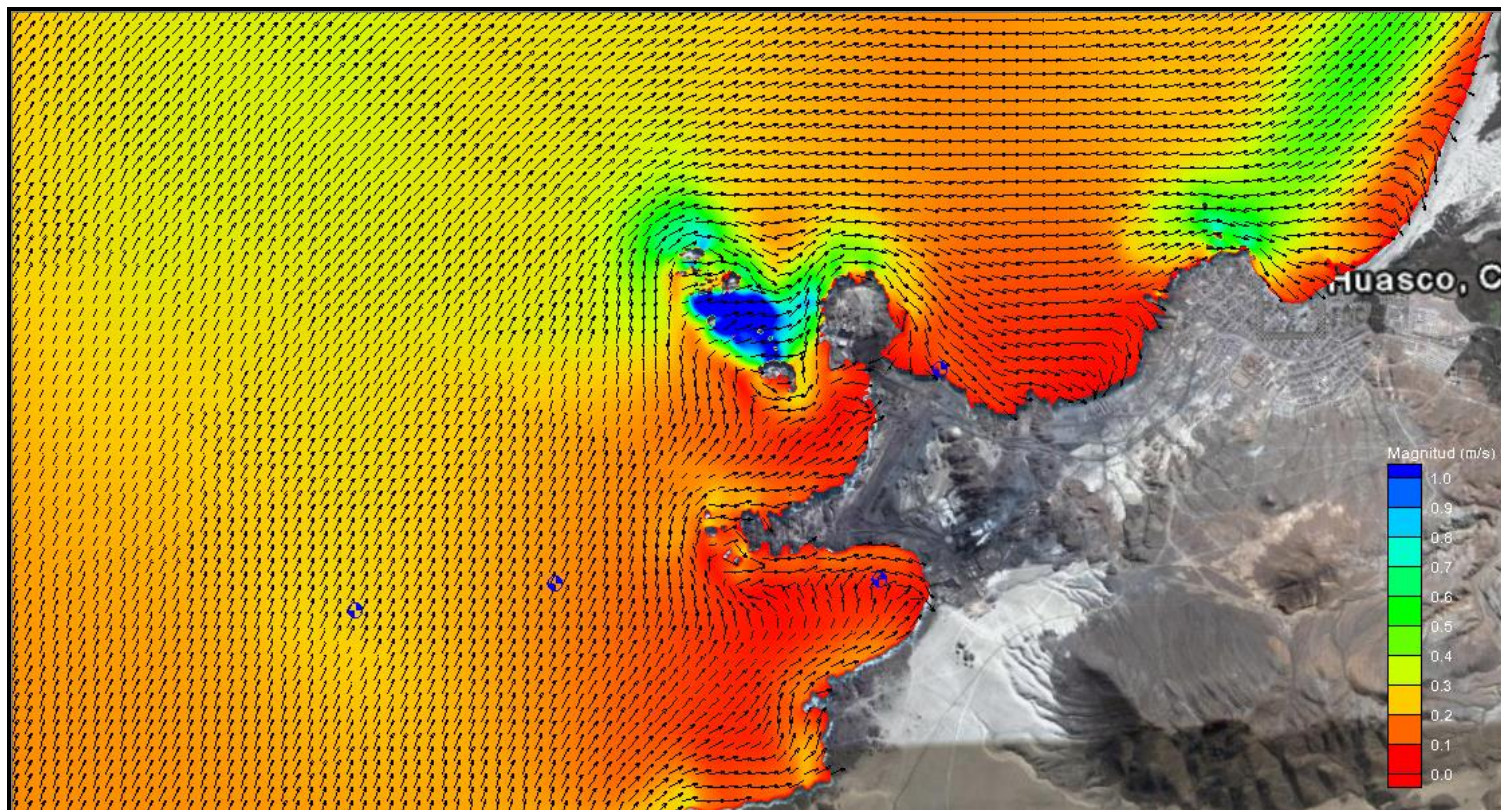


Figura 3.6.6 - 7: Salida ADCIRC de corrientes para sicigia en llenante, campaña de invierno.

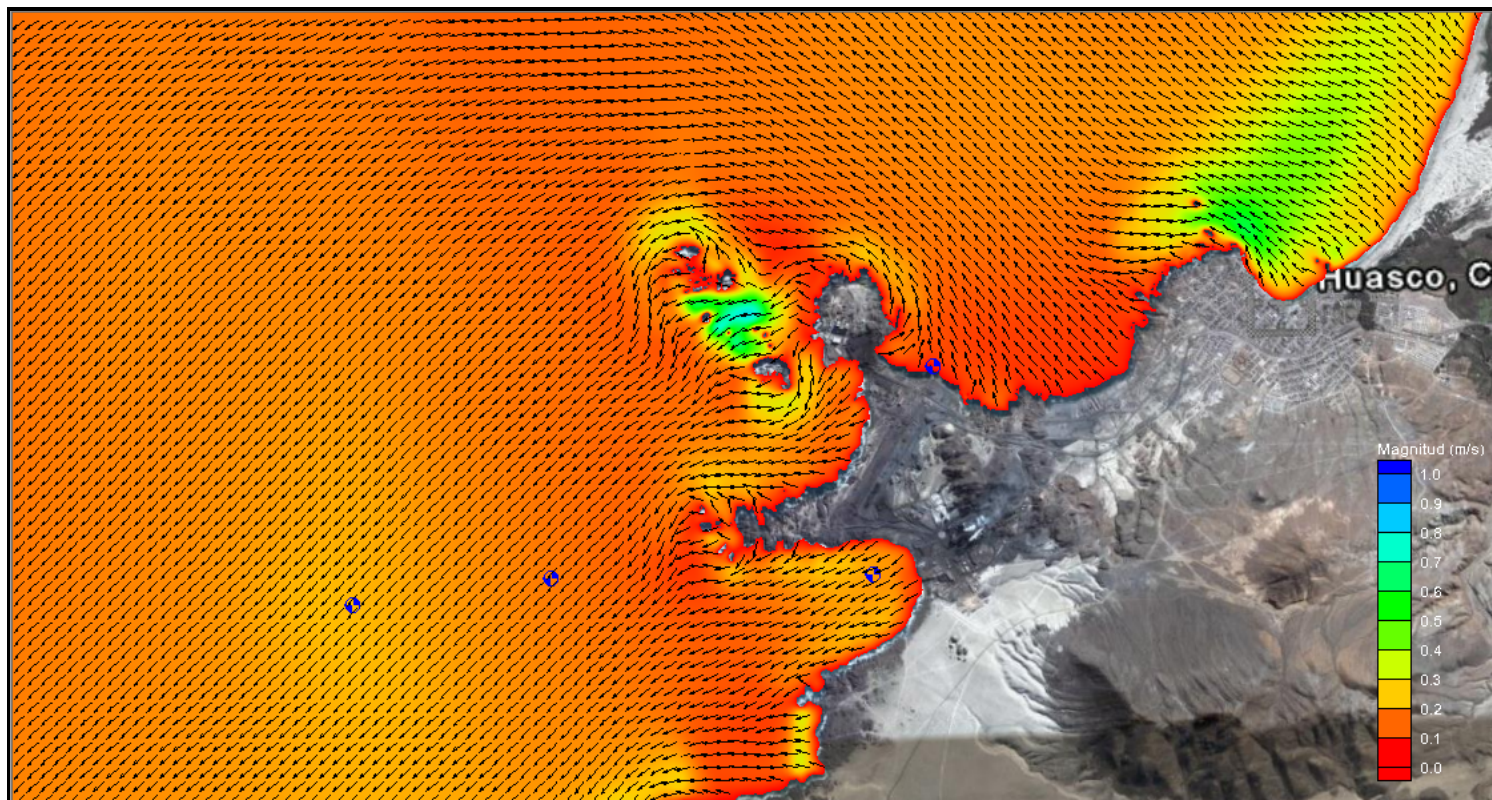


Figura 3.6.6 - 8: Salida ADCIRC de corrientes para sición en vaciante, campaña de invierno.

3.7 CARACTERIZACIÓN DE LA ACTUAL DESCARGA

Se busca, mediante correntometría directa, estimar la pluma de descarga del emisario en operaciones, utilizando los cambios sufridos en el eco de la señal impulsada por el ADCP, al momento de pasar por un medio de diferente densidad, estos cambios se identificaron y analizaron para tres profundidades definidas para obtener en forma indirecta, la visualización de la descarga.

Mediante las mediciones de correntometría directa (ADCP en modalidad Bottom Tracking), fue posible visualizar en forma indirecta la pluma de descarga del actual emisario submarino en las condiciones que presentó la descarga en el momento de la medición. Esto mediante los registros de variaciones en la intensidad de la señal del ADCP en la columna de agua, como consecuencia al cambio de densidad al pasar de agua de mar a la descarga. A través de esta técnica se pudo apreciar la tendencia direccional de la pluma de descarga para las mediciones de otoño, en condiciones de marea llenante y vaciante. La Figura 3.7 - 1 muestra un ejemplo de dicha visualización.

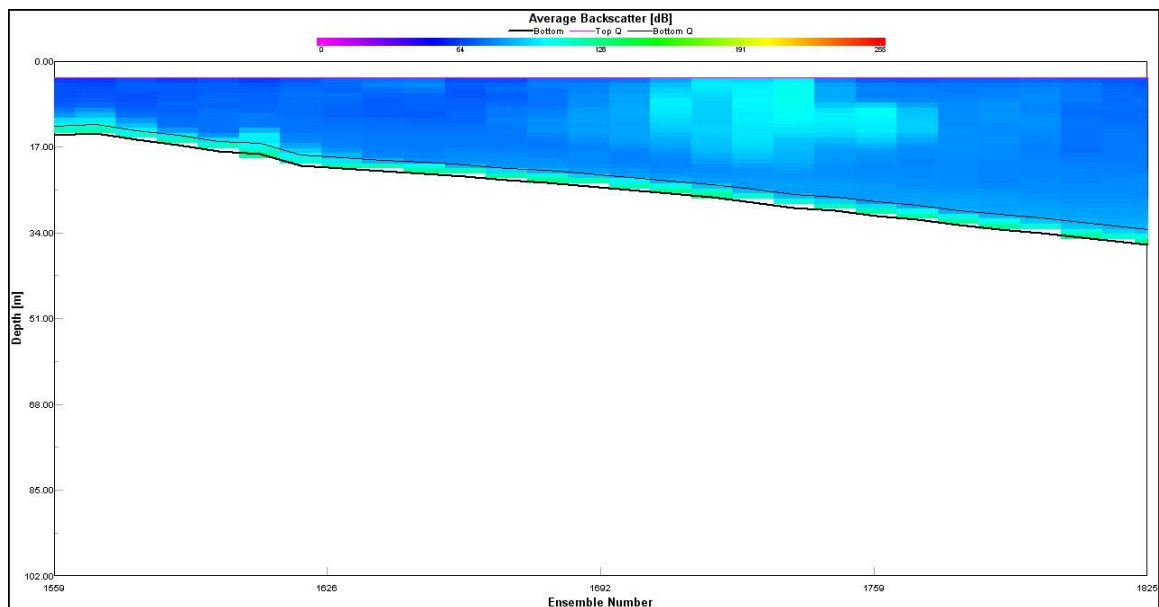


Figura 3.7 - 1: Visualización de la pluma de descarga mediante la variación en la intensidad del eco en la columna de agua.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

Se realizaron 17 transectos espaciados cada 20 m, como lo muestra la Figura 3.7 - 2. Para analizar la información recopilada, se seleccionaron tres niveles de referencia (5, 10 y 20 m). Posteriormente, se realizó una interpolación para obtener una visión bidimensional del comportamiento de la pluma, para las condiciones de llenante y vaciante.

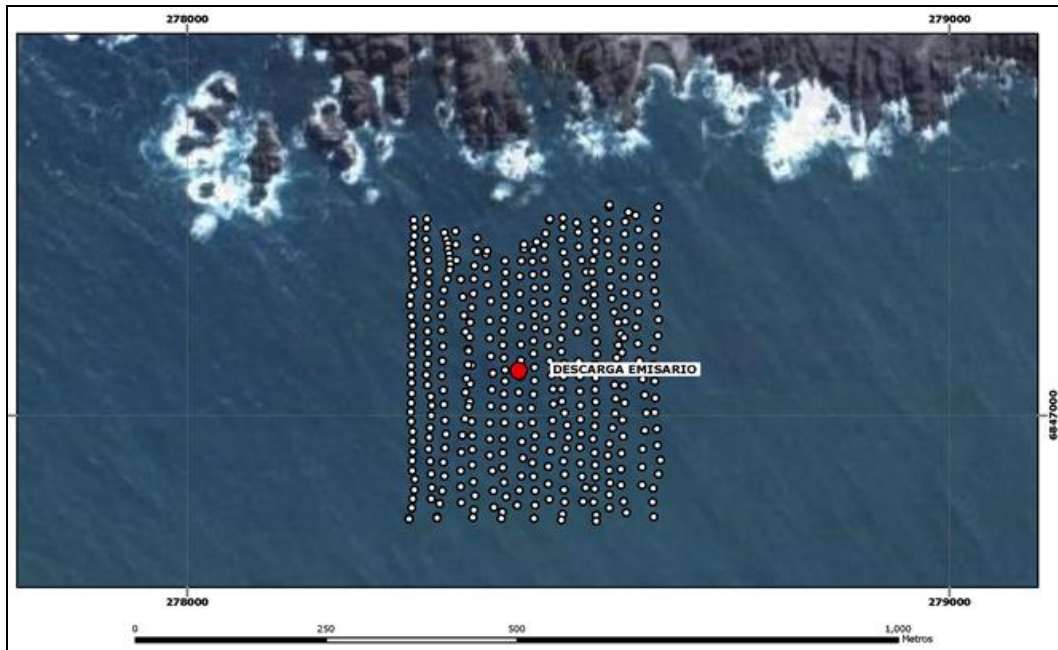


Figura 3.7 - 2: Transectos utilizados para detección de pluma.

Una vez obtenidos los resultados de los transectos, se procesó la información para así obtener en un solo archivo, los datos de posición y la información de las variaciones en la intensidad de la señal del ADCP en la columna de agua. Este procedimiento se realizó para 5, 10 y 20 m de profundidad. La Figura 3.7 - 3 muestra el resultado de la interpolación, en donde se aprecia una visualización tridimensional del campo de intensidad del eco a 5 m de profundidad (figura orientada hacia el norte). Esta medición se realizó para la fase de marea llenante, en estación de otoño. Del resultado se puede apreciar que la intensidad del eco en las inmediaciones del emisario submarino, en donde presenta altos valores, lo cual acusa una mayor concentración inicial; además se aprecia la dirección de dispersión del vertido, la que corresponde al sentido de las corrientes dominantes en ese instante y a esa profundidad.

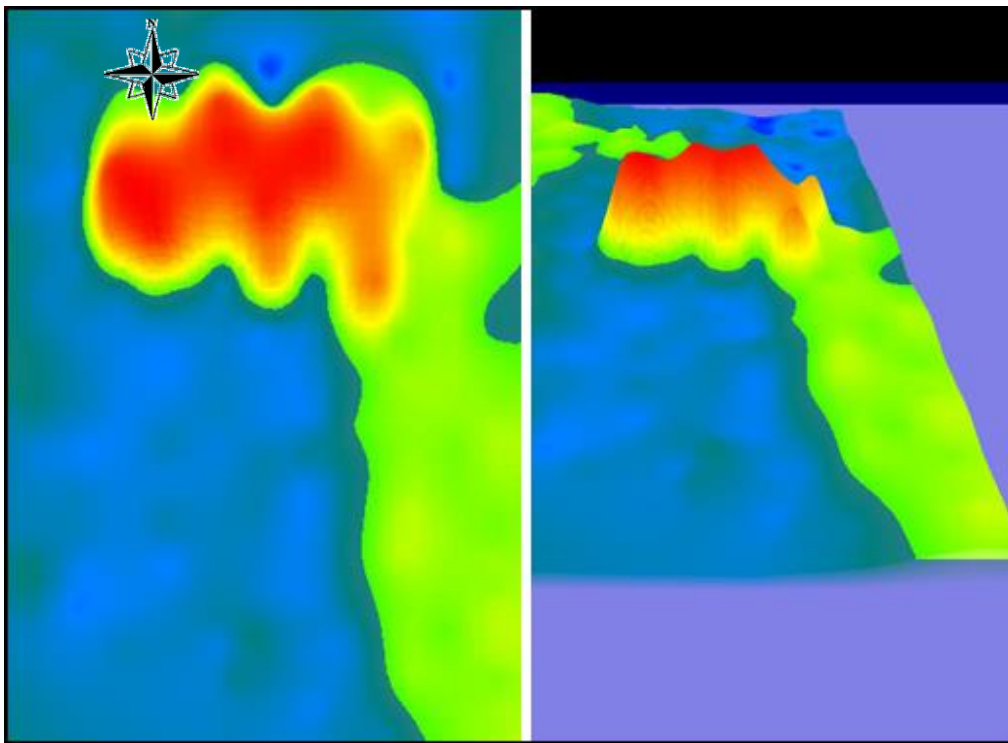


Figura 3.7 - 3: Interpretación de la pluma de descarga mediante variación de la intensidad de la señal del ADCP, medición de otoño.

En las Figuras 3.7 – 4 a 3.7 - 6 se aprecian los resultados para las tres profundidades estudiadas en condición de marea llenante para la medición de otoño, mientras que en las Figuras 3.7 – 7 a 3.7 - 9, se aprecian los resultados para las mismas profundidades en condición de marea vaciante.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

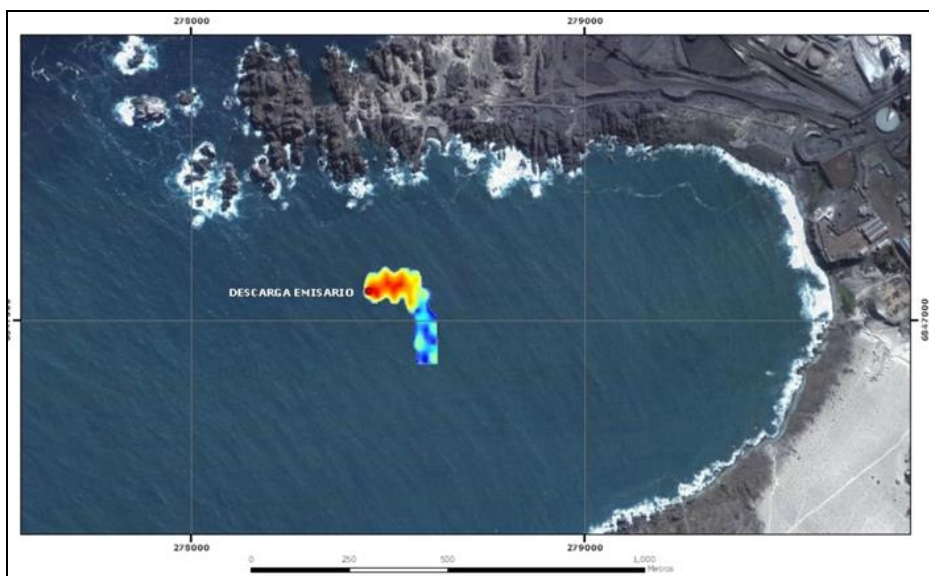


Figura 3.7 - 4: Representación pluma de descarga en marea llenante a 5m de profundidad.

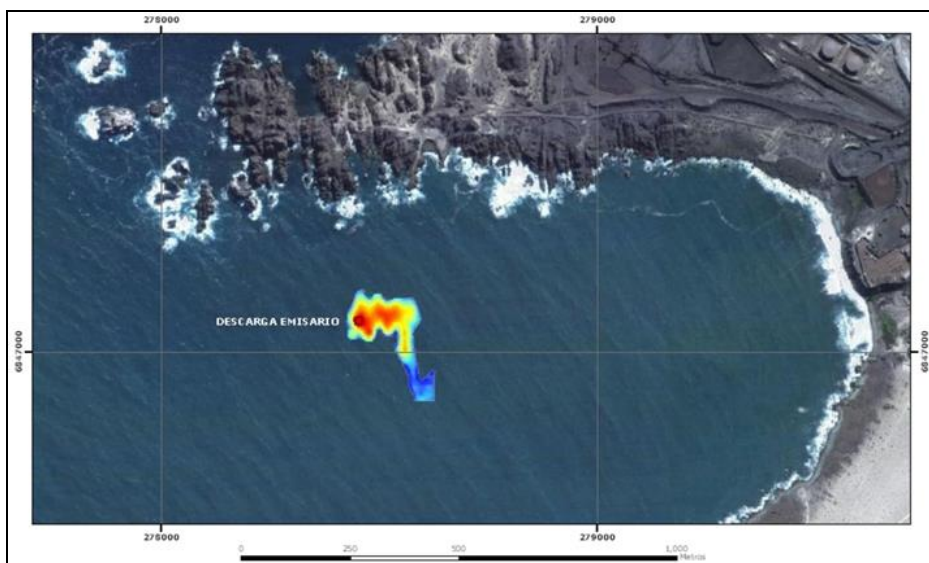


Figura 3.7 - 5: Representación pluma de descarga en marea llenante a 10m de profundidad.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

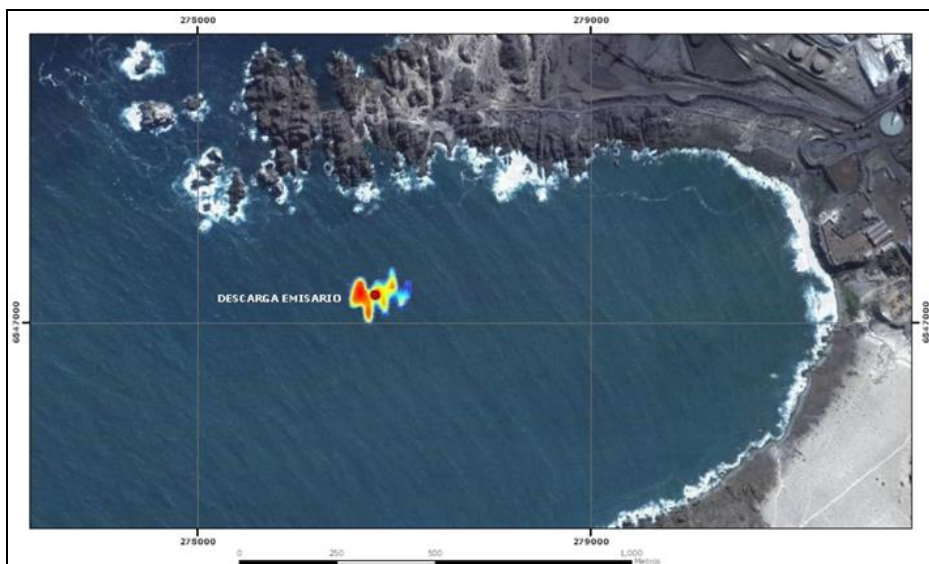


Figura 3.7 - 6: Representación pluma de descarga en marea llanante a 20m de profundidad.

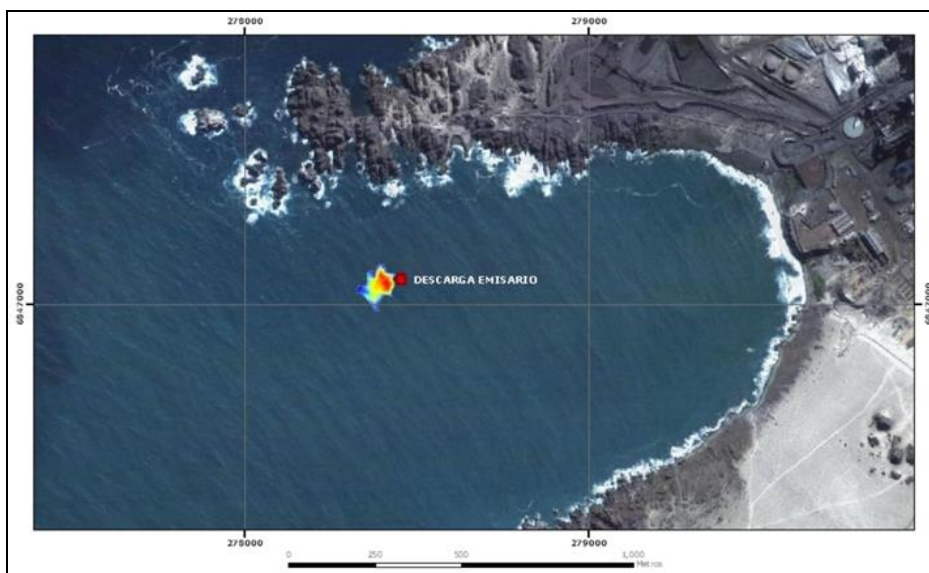


Figura 3.7 - 7 Representación pluma de descarga en marea vaciante a 5m de profundidad.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

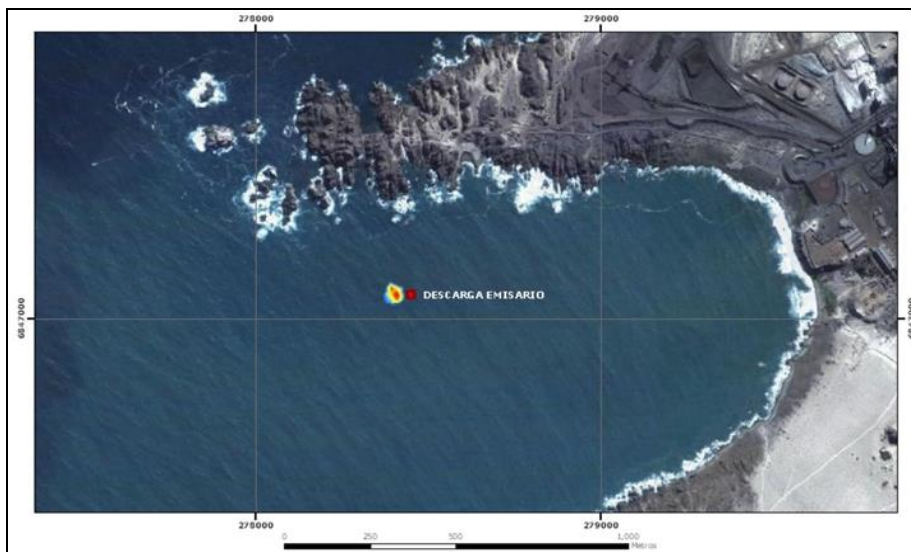


Figura 3.7 - 8: Representación pluma de descarga en marea vaciante a 10m de profundidad.

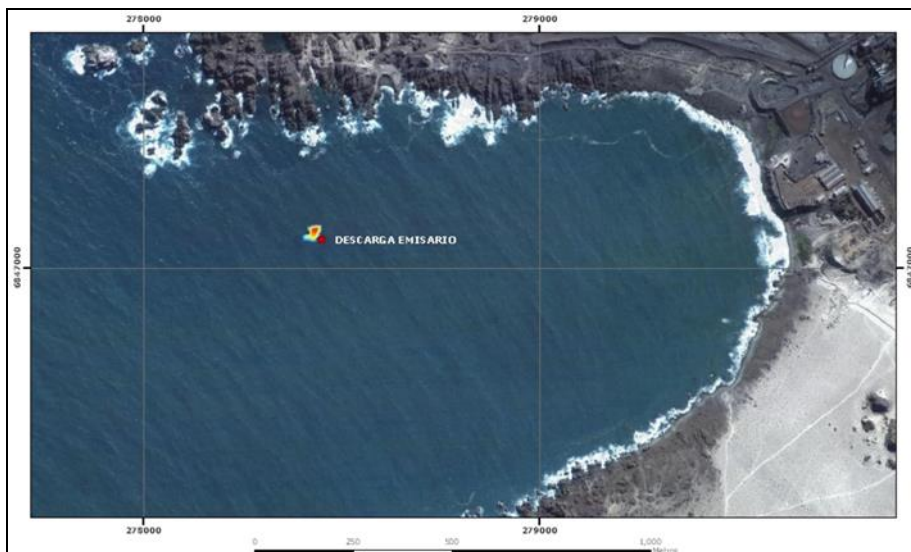


Figura 3.7 - 9: Representación pluma de descarga en marea vaciante a 20m de profundidad.

4 CONCLUSIONES

El objetivo del presente estudio fue efectuar una caracterización de las condiciones físicas de bahía Chapaco, donde es vertido riles con alto contenido de hierro. Los registros de campo fueron efectuados considerando condiciones de cuadratura y sicigia lunar, en las fases de marea vaciante y llenante.

La marea responde a un régimen mixto semidiurno, con un rango máximo de 1,78 m y un rango promedio de 0,96 m.

En relación al régimen de viento, éste se encuentra dominado por el viento noroeste (28,9%), seguido del viento suroeste con 25,5%; el rango de intensidad con mayor ocurrencia se encuentra entre 1,6 y 3,3 m/s (39,2%), correspondiente a brisa débil. Las calmas corresponden a un 1,2%. La magnitud máxima del viento registrada fue de 13,84 m/s, que corresponde a viento muy fuerte y la dirección media del viento fue 152,06°. Esta tendencia se mantiene constante en toda época del año.

Se estima que el clima de olas proporcionado por Fugro-Oceanor representa satisfactoriamente el oleaje de aguas profundas que se propaga e incide en el área de estudio, y su utilización fue adecuada para el desarrollo del proyecto. Se configuró y confeccionó el modelo STWAVE con la información batimétrica y fotográfica necesaria para obtener salidas gráficas claras y se configuró un modelo adecuado con información precisa, por lo que se pudo dar fiel cumplimiento a la normativa.

Las corrientes registradas, en su mayoría, corresponden a magnitudes bajas ($\leq 0,20$ m/s), independiente de la época del año. La dirección de la corriente varía según la profundidad, en superficie predomina la dirección noreste, a nivel intermedio es este y en profundidad es oeste. En el sitio de instalación del ADCP 1, a nivel superficial la corriente fluyó predominantemente hacia el noreste; las direcciones presentan una variación con respecto al aumento de profundidad, predominando la dirección suroeste para los niveles intermedio y profundo.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

En el sitio de instalación del ADCP 2, la dirección predominante de las corrientes fue la dirección norte para el nivel superficial; las direcciones presentan una variación con respecto al aumento de profundidad, predominando la dirección noreste para los niveles intermedio y profundo. Finalmente, en el ADCP 3 en superficie predominó la dirección este; en el nivel intermedio fue suroeste, mientras que a nivel profundo la dirección predominante fue oeste.

El modelo hidrodinámico ADCIRC resulta apropiado para caracterizar georeferenciadamente el comportamiento de las corrientes en el dominio del tiempo y el espacio, con el propósito de ir un paso más allá de lo que la normativa propone. Resulta apropiado contar con una buena fuente batimétrica como parámetro de entrada, además de mediciones de nivel del mar para la realización de un análisis armónico y obtener así los constituyentes usados como forzantes de entrada para el modelo. Además, es necesario contar con mediciones de correntometría para la calibración de este. Con todo lo anterior se tiene lo necesario para caracterizar mediante la metodología propuesta el comportamiento típico de la región modelada en cuanto a la hidrodinámica de corrientes.

Mediante el análisis de los cambios en la intensidad de la señal del ADCP, producto de la diferencia de densidades entre el agua de mar y del efluente en el punto de descarga, se pudo estudiar indirectamente el comportamiento de la pluma del emisario submarino en operación, lo que se considera un interesante fenómeno a seguir investigando, ya que si se logra obtener la relación entre densidad y material vertido se podría estimar las concentraciones iniciales en el punto de descarga y como estas se diluyen en el campo cercano.

5 REFERENCIAS

- SHOA (2005), Pub. 3201. Instrucciones Oceanográficas N° 1 - Especificaciones Técnicas para mediciones y análisis oceanográficos.
- SHOA (1999), Pub. 3202. Instrucciones Oceanográficas N° 2 - Método oficial para el cálculo de los valores no armónicos de la marea.
- SHOA (1992), Pub. 3013. Glosario de Mareas y Corrientes.
- SHOA, Cartas náuticas correspondiente a N° 3000 "Puerto de Caldera a Bahía Coquimbo" y 3211 "Puerto Huasco"
- McKee Smith, J., A.R. Sherlock & D.T. Resio.2001. Steady-State Spectral Wave Model User's Manual for STWAVE, Version 3.0
- US Army Corp of Engineers (2002). Coupling of Regional and Local Circulation Models ADCIRC and M2D.
- US Army Corp of Engineers (1999). Surface-Water Modeling System Tidal Constituents Toolbox for ADCIRC.
- Brigham Young University (2005). Surface water Modeling System. SMS 9.0.
- Luettich, D. (2000). ADvanced CIRCulation Multi-dimensional Hydrodynamic Model. ADCIRC CF 6/15/2000. University of North Carolina.
- Department of Civil and Environmental Engineering (2003). Calibrating ADCIRC With Tidal Constituents Using SMS as a Preprocessor.

6 ANEXOS

6.1 SOLICITUD PERMISO SHOA DECRETO SUPREMO 711.



FORMULARIO RESUMEN QUE DEBE COMPLETARSE AL SOLICITAR
AUTORIZACIÓN PARA EFECTUAR INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y/O
TECNOLÓGICAS MARINAS EN AGUAS JURISDICCIONALES CHILENAS
(Para Naves o Entidades Nacionales)

D.S. nº 711, del 22 de agosto de 1975

DATOS DEL SOLICITANTE	
Nombre	: Luis Jollán Vernal
Profesión	: Biólogo Marino
Empresa	: BENTOS (Servicios y Equipos Marinos Ltda.)
R.U.T	: 78.803.810-0
Domicilio	: Don Carlos Nº 3187, Of. B, Las Condes, Santiago.
Teléfono	: 56-2-6508150 Telefax : 56-2-3620611
E- mail	: info@bentos.cl ; luis@bentos.cl ; andrea@bentos.cl
Nacionalidad	: Chilena

ORGANISMO PATROCINADOR DE LA INVESTIGACIÓN	
Nombre de la Institución o Empresa:	Compañía Minera de Pacífico S.A.
R.U.T	: 94.638.000-8
Giro	: Minería
Domicilio	: Pedro Muñoz 675, La Serena
Nacionalidad	: chilena
Teléfono	: 56 - 51 - 208000
Telefax	: 56 - 51 - 208130
E- mail	: cmpsa@cmp.cl
Nacionalidad	: chilena
Contacto	: Claudio Masson (RUT 8.195.883-1)

CARACTERÍSTICAS DE LA NAVE O EMBARCACIÓN	
Tipo de nave o embarcación: ...Regional menor.	

PARTICIPANTES	
Jefe de Terreno: Nombre	: Luis Jollán Vernal
Profesión	: Biólogo Marino R.U.T. : 5.951.272-2

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.



Nómina de Científicos Principales

Nombre	Especialidad	R.U.T
01. Bruno Ladrón de Guevara	Biólogo Marino	7.439.890-1
02. Felipe Ríos	Ingeniero Oceanólogo	14.596.846-1
03. Karina Oyarce	Ingeniero Civil Oceánico	15.080.643-7
04. Adriana Hidalgo	Oceanógrafo	13.018.876-1
05. Mairon Romero	Hidrógrafo	13.754.927-1
06. Julio Skeet	Hidrógrafo	14.610.573-4
07. Alejandro Vera	Ingeniero Civil Oceánico	15.183.916-9
08. David Gómez	Técnico Oceanógrafo e Hidrógrafo	10.853.474-5
09. Juan Miranda	Ingeniero Geomensor	16.686.314-7

PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN

Objetivos principales : Corrientes eulerianas (ADCP), correntometría directa (ADCP), corrientes lagrangianas, rodamina WT, mareógrafo, estación meteorológica

Área de investigación: Aproximadamente a 5 km de costa en la localidad de Huasco (III Región).

Datos a obtener e instrumental a utilizar:
DGPS (Trimble R6, R8, 4000; Ashtech), ADCP 300 y 600 kHz (Teledyne RDI), ecosonda hidrográfico digital Odom, mareógrafo digital ventilado (RBR), estación meteorológica (Campbell), Rodamina WT.

CAMPAÑA de VERANO

Fecha de inicio : 21 Febrero 2011
Fecha de término : 13 Marzo 2011 (aproximadamente)

CAMPAÑA DE INVIERNO

Fecha de inicio de los trabajos : 21 Junio 2011
Duración de los trabajos desde : 01 Agosto 2011
* Fechas Tentativas

Notas aclaratorias :

- Los estudios SI requieren inspección SHOA.
- Se establecerán comunicaciones con la autoridad marítima local, con el fin de garantizar seguridad en el mar.

En Santiago a 14 días del mes de Febrero del año 2011.

Nombre del responsable

Luis Jollán Vernal

Firma



Figura N°1: Localización área de trabajo aproximada. Puerto Huasco, III Región (Carta Náutica SHOA N° 3000).

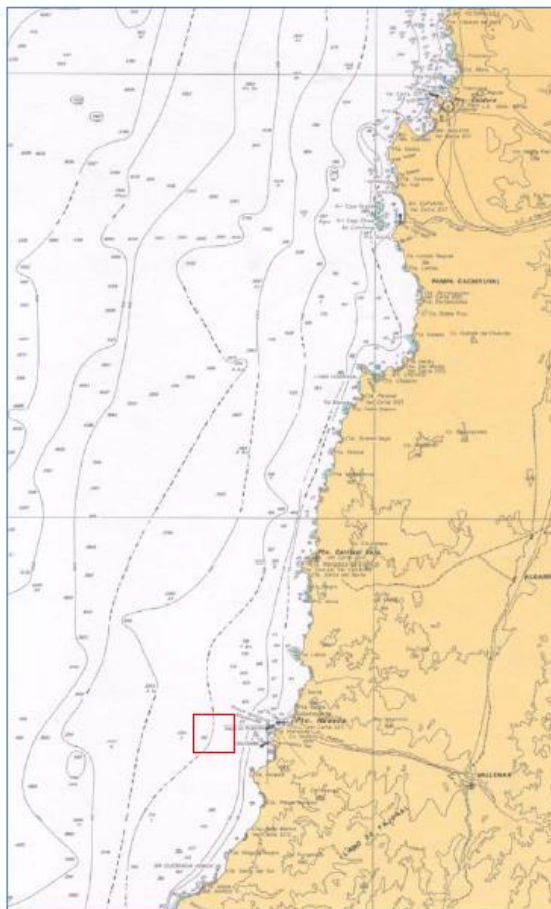




Figura 2.: Área específica de trabajo. Puerto Huasco, III Región. Carta Náutica SHOA N° 3000.

**UBICACIÓN GEOGRÁFICA
BAHÍA CALDERA SECTOR PUNTA PADRONES (III REGIÓN)**



6.2 DECRETO ORDINARIO SHOA N°13270/24/123/VRS

ARMADA DE CHILE
SERVICIO HIDROGRÁFICO
Y OCEANOGRÁFICO

SHOA ORDINARIO N° 13270/24/ 123 / Vrs.

AUTORIZA A LA EMPRESA BENTOS (SERVICIOS Y EQUIPOS MARINOS LTDA.) PARA REALIZAR ESTUDIOS OCEANOGRÁFICOS EN EL SECTOR DE HUASCO, III REGIÓN.

VALPARAÍSO, 16 FEB 2011

VISTO: lo solicitado por la Empresa BENTOS (SERVICIOS Y EQUIPOS MARINOS LTDA.), mediante correo electrónico de fecha 15 de febrero de 2011 y documentación complementaria con detalle de las actividades a desarrollar en terreno; las atribuciones que me confiere el Decreto Supremo N° 192, de fecha 6 de marzo de 1969, modificado por Decreto Supremo N° 784, de fecha 14 de agosto de 1985, y lo establecido en las Instrucciones Oceanográficas N° 1, Publicación SHOA N° 3201, 3ª edición,

RESUELVO:

- 1.- AUTORIZÁSE a la Empresa BENTOS (SERVICIOS Y EQUIPOS MARINOS LTDA.), para que por mandato de la COMPAÑÍA MINERA DEL PACÍFICO S.A., desarrolle estudios oceanográficos en los sectores de la Península Guacolda, Islotes Los Puentes y Punta Huasco, Huasco (III Región – Cartas Náuticas SHOA N° 3000 y 3211), los cuales se realizarán a contar de esta fecha y hasta el 30 de marzo de 2012.

2.- DECLÁRASE:

- a.- De acuerdo a lo informado por la Empresa BENTOS (SERVICIOS Y EQUIPOS MARINOS LTDA.), se ejecutarán los siguientes estudios oceanográficos:
Corrientes, métodos eulerianos y lagrangianos, campaña de verano e invierno.
Mareas.
Olas.
Vientos
- b.- En concordancia con el párrafo anterior, la Empresa BENTOS (SERVICIOS Y EQUIPOS MARINOS LTDA.), especifica que no se desarrollarán los siguientes estudios oceanográficos:
Calidad de Fondo, muestras superficiales y subsuperficiales.
- c.- Para la ejecución de los estudios oceanográficos, tanto en terreno como en gabinete, la Empresa BENTOS (SERVICIOS Y EQUIPOS MARINOS LTDA.), deberá dar fiel cumplimiento a las especificaciones técnicas contenidas en las Instrucciones Oceanográficas N° 1 indicadas en VISTO.
- d.- Será requisito previo a la revisión y aprobación de los estudios oceanográficos por parte del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA), que la instalación y/o retiro de los instrumentos que se utilicen en terreno para la toma de datos, sea inspeccionada por un profesional del SHOA, objeto dar fiel cumplimiento a las especificaciones técnicas establecidas por este Servicio. Para lo anterior, la Empresa Ejecutora deberá solicitar dicha inspección con una antelación de 5 días hábiles.
- e.- El Jefe de Terreno de la Empresa BENTOS (SERVICIOS Y EQUIPOS MARINOS LTDA.), Sr. Luis Jollán Vernal, deberá informar a la Capitanía de Puerto de Huasco, acerca de la ejecución de las actividades de investigación, como la posición en que se instalarán los instrumentos oceanográficos y, una vez fondeados, la posición geográfica definitiva y las características de señalización de los equipos instalados. Asimismo, se deberá informar oportunamente a la Autoridad Marítima el retiro del instrumental.

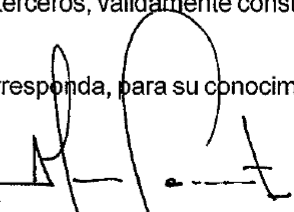
Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

SHOA ORDINARIO N° 13270/24/ 723 / Vrs.

FECHA, **16 FEB 2011**

- f.- Todos los gastos generados por concepto de inspección y revisión de los Informes Oceanográficos, por parte del SHOA, serán de responsabilidad de la Empresa Ejecutora del estudio y no de la Empresa Mandante.
 - g.- Durante el desarrollo del proceso de inspección y revisión de los estudios técnicos, que culmina con la Resolución de Aprobación o No Aprobación "Con / Sin Valor Oceanográfico", este Servicio se relacionará sólo con la Empresa Ejecutora.
 - h.- Una vez emitida la Resolución de Aprobación o No Aprobación de los estudios, este Servicio considerará la data obtenida como de propiedad de la Empresa Mandante.
 - i.- La presente autorización no acredita ni avala la idoneidad profesional de la Empresa Ejecutora, como asimismo, no da fe de los resultados de los estudios, hasta que éste sea APROBADO en su totalidad por el SHOA, bajo timbre y firma del Oficial Revisor y emisión de la Resolución de Aprobación correspondiente.
 - j.- Conforme a lo dispuesto en los Decretos Supremos citados en VISTO, al término de los trabajos el Representante Legal de la Empresa BENTOS (SERVICIOS Y EQUIPOS MARINOS LTDA.), Sr. Bruno Ladrón de Guevara, deberá remitir al SHOA, todos los antecedentes que originen los estudios, los que serán sometidos a revisión, para su aprobación o rechazo, según corresponda.
 - k.- Para el cumplimiento de lo anterior, considerar que previo al inicio de los trabajos, los ejecutores deberán concurrir a la Capitanía de Puerto de Huasco, para coordinar las actividades y requerir información respecto de las medidas de seguridad que se deben adoptar durante las operaciones de navegación y buceo en la mar.
 - l.- El Capitán de Puerto de Huasco tendrá la facultad de no autorizar la extracción de muestras de sedimentos, si el área de estudio estuviere sometida a un régimen de concesión marítima de acuicultura u otra destinación ya otorgada, bajo la responsabilidad de un concesionario diferente al mandante señalado en el numeral 1 de la presente Resolución.
 - m.- Lo expuesto y dispuesto en los considerandos anteriores, no podrá bajo ningún pretexto perjudicar o amenazar los derechos de terceros, válidamente constituidos en el área de estudio.
- 3.- ANÓTESE y comuníquese a quienes corresponda, para su conocimiento y cumplimiento.




ALVARO CARRASCO FLORES
CAPITÁN DE FRAGATA
DIRECTOR SUBROGANTE

6.3 SOLICITUD DE INSTALACIÓN INSTRUMENTAL.



SERVICIOS Y EQUIPOS MARINOS LTDA.

Santiago, 22 de Febrero de 2011.

Señores
CAPITANÍA DE PUERTO HUASCO
Presente

Atn.: Sr. Sebastián Herrera K. Tte. 1º LT., Capitán de Puerto Huasco.

Ref.: Proyecto Emisario Submarino Profundo Compañía Minera del Pacífico, Huasco.
Estudios Oceanográficos Oficiales, Campaña de Verano.

Estimado Señor:

Nuestra empresa se encuentra desarrollando los Estudios Oceanográficos Oficiales correspondientes a: Estudio de Corrientes, Olas y Mareas, sujetos a inspección y aprobación SHOA; trabajos conducente a estudios de ingeniería marítima y medio ambiente del proyecto de emisario submarino profundo, que planea emplazar la empresa Compañía Minera del Pacífico en el área de Huasco. En el contexto antes mencionado, solicitamos respetuosamente a Uds. autorización para realizar los trabajos marítimos del proyecto; los mismos que se detallan en documentos adjuntos (Solicitud SHOA D.S. 711 y Solicitud SHOA Estudios Oceanográficos Oficiales, y sus respectivas Resolución SHOA).

Los trabajos próximos a desarrollar, corresponden a la Campaña de Verano, estos se realizarán entre el 22 de febrero del 2011 hasta aproximadamente el 05 de abril de 2011. A modo de antecedente, se ha solicitado autorización de los estudios al SHOA (D.S. 711 y Estudios Oceanográficos Oficiales); contándose con un Inspector Profesional (SHOA) en esta Etapa del Proyecto.

Los trabajos de instalación de instrumentos, se efectuarán con el apoyo de embarcaciones propias y locales.

Para los efectos de coordinar aspectos de seguridad del muestreo o consultas sobre el mismo, solicitamos la posibilidad de reunirnos con Uds. A las 16:00 horas del día miércoles 23 de febrero del año en curso en su repartición.

Sin otro particular, le saluda atentamente,

BENTOS

Luis Jollán Vernal
Socio

LJV
Armada. Cap. Pto. 1

Oceanografía • Hidrografía • Geofísica Marina • Cables Submarinos

Don Carlos 3187 Of. B, Las Condes, Santiago. • Fono: (56 2) 6508150 • Fax: (56 2) 3620611
e-mail: info@bentos.cl

6.4 ACTAS DE INSPECCIÓN.



SERVICIO HIDROGRÁFICO Y OCEANOGRÁFICO DE LA ARMADA DE CHILE
EDRAZURIZ 737 PLAZA ANCHA - VALPARAISO - CHILE
 TELEFONO 56-32-2266666 - FAX 56-32-2266542 EMAIL: shoa@shoa.cl

ACTA DE INSPECCIÓN OCEANOGRÁFICA N° 12/2011

Por el presente documento se deja constancia que el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile, de acuerdo a la legislación vigente, ha efectuado la inspección de los trabajos de terreno que a continuación se describen.

1.- DATOS GENERALES DE LA INSPECCIÓN	
Área del trabajo inspeccionado	: <i>Huasco, III Región</i>
Empresa o entidad ejecutora	: <i>BENTOS (Servicios y Equipos Marinos Ltda.)</i>
Objetivo del trabajo	: <i>Establecer Valores de diseño en área emplazamiento de Emisario Submarino Profundo</i>
Empresa Mandante	: <i>Compañía Minera del Pacífico S.A.</i>
N° de resolución del SHOA que autoriza	: <i>Ord. N° 13270/24/123 del 16-feb-2011</i>
Fecha de la Inspección	: <i>22 al 26 de febrero de 2011</i>

2.- INSTRUMENTAL	
CORRENTOMETRÍA EULERIANA	
Estación Correntómetro N° 1	
Marca : <i>Teledyne RDI</i>	Modelo : <i>WHS 300Khz</i> N° de Serie : <i>283</i>
Latitud : <i>6.846.804 N</i>	Longitud : <i>274.717 E</i>
Prof. Sonda : <i>130</i> (m.)	Prof. Instrumental : <i>124</i> (m.) Frec. Muestreo: <i>307200 HZ</i>
Huso Horario : <i>Z + 3</i> horas	Fecha/Hora de fondeo: <i>25/02 ; 14:45 Hrs.</i>
Observaciones :	
<i>-Empresa proporcionó setup del equipo.</i>	
<i>ADCP N° 283: 6 m sobre el fondo ; Frecuencia: 300 Khz</i>	



 Luis Jollán V.
 BENTOS Ltda.



 Karim Kaiser C.
 Inspector

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.



SERVICIO HIDROGRÁFICO Y OCEANOGRÁFICO DE LA ARMADA DE CHILE

CORRENTOMETRÍA EULERIANA		
Estación Correntómetro N° 2		
Marca : <i>Teledyne RDI</i>	Modelo : <i>600 Khz</i>	N° de Serie :
Latitud : <i>6.846.874 N</i>	Longitud : <i>276.357 E</i>	
Prof. Sonda : <i>120</i> (m.)	Prof. Instrumental : <i>en obs.</i>	Frec. Muestreo : <i>en obs.</i>
Huso Horario : <i>Z + 3</i> horas	Fecha/Hora de fondeo : <i>25/02 ; 19:30 Hrs.</i>	
Observaciones :		
<i>La estación de Correntómetro N°2, posee 2 ADCP (Fondo y Superficie).</i>		
<i>ADCP N° 12080: 114 m (fondo); 600 Khz ; Frec. Muestreo: 614400 HZ. Fondeo en boya</i>		
<i>ADCP N° 10118: 6 m (superficie); 600 Khz ; Frec. Muestreo: 614400 HZ. Fondeo en línea</i>		
<i>Empresa proporcionó setup de ambos equipos.</i>		

CORRENTOMETRÍA EULERIANA		
Correntómetro N° 3		
Marca : <i>Teledyne RDI</i>	Modelo : <i>WHS 600 Khz</i>	N° de Serie : <i>1211</i>
Latitud : <i>6.847.091 N</i>	Longitud : <i>279.415 E</i>	
Prof. Sonda : <i>17 (m.)</i>	Prof. Instrumental : <i>16.6 (m.)</i>	Frec. Muestreo <i>614400 HZ</i>
Huso Horario : <i>Z + 3</i> horas	Fecha/Hora de fondeo: <i>23/02 ; 14:37 Hrs.</i>	
Observaciones :		
<i>Empresa proporcionó setup del equipo.</i>		

Luis Jollán V.
BENTOS Ltda.

Karim Kaiser C.
Inspector

Observaciones :

-ADCP Teledyne RDI WHS 300 Khz Sentinel. N° Serie: 1111

-Sistema de posicionamiento GPS Omnistar, Trimble GPS

-Empresa proporcionó setup del equipo en modalidad bottom tracking.

-Empresa proporcionó una imagen de la pantalla desplegada durante el desarrollo del Bottom Tracking de prueba.

-Empresa se comprometió a enviar, vía correo electrónico, archivo del setup del ADCP, cuando se efectúe el bottom tracking cerca del 4 marzo en el área de interés.

2.- Día 24-feb: Se efectuó 1 lance de 2 derivadores (1m y 7 m), a modo de verificar el procedimiento, que se realizará en el área de interés.

-La empresa efectuará correntometría lagrangiana cerca del 4 de marzo, donde a lo menos se deberán ocupar (2 derivadores superficiales y 2 subsuperficiales, en el área alledaña a cada fondeo), dada la extensión del área de estudio.



[Signature]

MAREAS

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.



SERVICIO HIDROGRÁFICO Y OCEANOGRÁFICO DE LA ARMADA DE CHILE

Mareógrafo marca : <i>RBR</i>	Modelo : <i>TGR-1050 HT</i>	N° de Serie : <i>15023</i>
Intervalo de registro : <i>5</i> (min.)	Intervalo de muestro : <i>1</i> (min.)	
Frecuencia de muestreo : ----- (Hz)	Tipo de registro : <i>digital</i>	Rango sensor : -----
Tope de escala : <i>2.87</i> (m.)	Graduación : <i>cada 1 mm</i>	
Nivel marca : <i>Beijing Topcon</i>	Modelo : <i>AT-22A</i>	N° de Serie : -----
Huso Horario : <i>Z + 3</i> horas.	Hora instalación/retiro : -----	
Observaciones :		
<i>Posicionamiento del instrumental: 6848802 N; 279729 E</i>		
<i>Se efectuó lecturas comparativas, no arrojando diferencias mayores de 5 cm.</i>		
<i>Empresa bajó los datos registrados durante las lecturas a la regla de marea.</i>		
<i>Se efectuó nivelación cerrada entre el tope de escala y la Cota CFM1, instalada por la empresa en el muelle.</i>		

OLAS		
Marca : <i>Teledyne RDI</i>	Modelo : <i>WHS 600 Khz</i>	N° de Serie : <i>1211</i>
Intervalo de registro : 20 (min.)	Intervalo de muestreo : 120 (min.)	
Frecuencia de muestro : <i>614400</i> (Hz)	Profundidad de Sonda : <i>17 (m)</i>	
	Prof. Instrumental : <i>16.6 (m.)</i>	
Posicionamiento: Latitud : <i>6.847.091 N</i>	Longitud : <i>279.415 E</i>	
Huso Horario : <i>Z + 3</i> horas	Fecha/Hora de fondeo: <i>23/02 ; 14:37 Hrs.</i>	
Observaciones :		
<i>Idem a ADCP N° 3.</i>		

Luis Jollán V.
BENTOS Ltda.

Karim Kaiser C.
Inspector

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.



SERVICIO HIDROGRÁFICO Y OCEANOGRÁFICO DE LA ARMADA DE CHILE

VIENTOS		
Datalogger marca : <i>RM Young</i>	Modelo : <i>Campbell SC.</i>	N° de Serie : <i>14948</i>
Anemómetro marca : <i>RM Young</i>	Modelo : <i>Campbell SC.</i>	N° de Serie : <i>14948</i>
Tipo de registro : <i>Digital</i>	Intervalo de muestro : <i>10</i>	(min.)
Altura aproximada sobre el nivel medio del mar : <i>app. 30</i> (m.) y sobre suelo <i>app. 8 m.</i>		
Posicionamiento: <i>6.847.674 N 278.815 E</i>		
Huso Horario : <i>Z + 4</i> horas.		
Observaciones :		
<i>Equipo fue seteado en Z+4, posterior a bajar los datos se dejó funcionando en Z+3</i>		
<i>Empresa proporcionó datos registrados el día 23 de febrero.</i>		
<i>Equipo instalado a 8 m del suelo sobre una colina sin obstáculos, lo que permitirán que los datos sean representativos del área de interés.</i>		

Luis Jollán V.
BENTOS Ltda.

Karim Kaiser C.
Inspector

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.



SERVICIO HIDROGRÁFICO Y OCEANOGRÁFICO DE LA ARMADA DE CHILE

3.- OBSERVACIONES

Se da conformidad a los trabajos inspeccionados en terreno.
Se hace presente que las actividades efectuadas durante los fondeos de las 2 líneas de ADCP hacia mar afuera, se consideró un trabajo minucioso y muy bien pensado.

Caldera, 26 de febrero de 2011

Luis Jollán V.
BENTOS Ltda.

Karim Kaiser C.
Inspector

Notas:

- 1) La inspección de terreno tiene como objetivo verificar que la empresa ejecutora de los trabajos de fiel cumplimiento a las especificaciones técnicas establecidas por este Servicio, mediante la Publicación SHOA 3201 "Instrucciones Oceanográficas N°1 3ª Edición, 2005", además de verificar el funcionamiento correcto del instrumental utilizado.
- 2) Será responsabilidad de la empresa ejecutora conocer las limitaciones del o los equipos oceanográficos, normalmente contenidas en el manual del equipo proporcionado por el fabricante, y la determinación de la ubicación y profundidad del instrumental y/o sensores, de acuerdo a los requerimientos del mandante u objetivos del estudio.
- 3) La presente acta de inspección no avala la idoneidad profesional de la Empresa ejecutora, como asimismo, no responsabiliza a este Servicio respecto de la veracidad de los resultados del estudio, hasta que éste sea aprobado en su totalidad por este Organismo Técnico del Estado, bajo timbre y firma del Oficial Revisor competente y emisión del documento de aprobación correspondiente.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

6.5 FOTOGRAFÍAS DE TERRENO.



SECTOR ESTUDIADO.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.



PREPARACIÓN DE ADCP.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.



ANEMÓMETRO.



MAREÓGRAFO.

6.6 RESULTADOS REGIMEN DE VIENTOS

6.6.1 ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD ESTACIONAL

Tabla 6.6.1 - 1: Incidencia del viento para verano.

Dirección	Velocidad (m/s)						Total	Dirección Promedio (°)	Velocidad		
	0,2 - 3,0	3,0 - 6,0	6,0 - 9,0	9,0 - 12,0	12,0 - 15,0	> 15,0			Máxima	Promedio	Desv. Estándar
									(m/s)		
N	4,2	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	348,6	10,6	1,8	1,19
NE	12,7	9,7	0,9	0,0	0,0	0,0	23,3	45,9	8,5	3,0	1,43
E	1,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	85,9	4,4	1,6	0,85
SE	1,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	138,3	4,0	1,2	0,82
S	4,5	1,1	0,2	0,0	0,0	0,0	5,8	187,0	13,8	2,3	1,65
SW	8,2	15,1	16,9	9,5	1,7	0,0	51,4	225,7	16,1	6,4	3,08
W	3,6	1,5	0,1	0,0	0,0	0,0	5,2	267,0	8,4	2,5	1,57
NW	4,3	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	4,7	316,3	6,1	1,7	1,01
Total efectivo	40,6	28,8	18,1	9,5	1,7	0,0	98,7				
						Calmas	1,3				
						Total	100,0				
						Total Datos	12960				

Tabla 6.6.1 - 2: Incidencia del viento para otoño.

Dirección	Velocidad (m/s)						Total	Dirección Promedio (°)	Velocidad		
	0,2 - 3,0	3,0 - 6,0	6,0 - 9,0	9,0 - 12,0	12,0 - 15,0	> 15,0			Máxima	Promedio	Desv. Estándar
									(m/s)		
N	5,7	2,5	0,5	0,3	0,2	0,0	9,2	348,1	13,8	3,1	2,62
NE	14,9	12,8	1,8	0,3	0,0	0,0	29,8	46,3	11,5	3,3	1,72
E	5,5	3,0	0,2	0,0	0,0	0,0	8,7	84,9	9,3	2,7	1,56
SE	2,6	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	136,4	6,9	1,5	0,96
S	4,8	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	182,6	9,0	2,1	1,18
SW	7,1	10,1	7,2	3,1	0,4	0,0	27,9	225,4	14,8	5,3	2,91
W	5,6	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	6,9	270,3	7,6	2,1	1,14
NW	6,0	1,6	0,1	0,0	0,0	0,0	7,7	316,0	9,6	2,1	1,40
Total efectivo	52,2	32,7	9,8	3,7	0,6	0,0	99,0				
						Calmas	1,0				
						Total	100,0				
						Total Datos	13248				

Tabla 6.6.1 - 3: Incidencia del viento para invierno.

Dirección	Velocidad (m/s)						Total	Dirección Promedio (°)	Velocidad		
	0,2 - 3,0	3,0 - 6,0	6,0 - 9,0	9,0 - 12,0	12,0 - 15,0	> 15,0			Máxima	Promedio	Desv. Estándar
									(m/s)		
N	5,9	2,7	0,3	0,1	0,0	0,0	9,0	347,6	11,5	2,7	1,70
NE	17,6	11,4	0,8	0,1	0,0	0,0	29,9	46,1	12,0	2,9	1,46
E	5,1	1,7	0,2	0,1	0,0	0,0	7,1	86,1	13,0	2,6	1,87
SE	2,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	136,5	4,5	1,4	0,86
S	3,9	1,4	0,1	0,0	0,0	0,0	5,4	184,0	13,6	2,4	1,61
SW	6,0	9,6	7,8	6,4	2,3	0,5	32,6	224,6	20,1	6,7	3,68
W	4,8	1,3	0,1	0,0	0,0	0,0	6,2	269,1	7,1	2,3	1,27
NW	5,6	1,1	0,1	0,0	0,0	0,0	6,8	316,3	8,6	2,1	1,26
Total efectivo	51,1	29,3	9,4	6,7	2,3	0,5	99,3				
							Calmas	0,7			
							Total	100,0			
							Total Datos	13104			

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

Tabla 6.6.1 - 4: Incidencia del viento para primavera.

Dirección	Velocidad (m/s)						Total	Dirección Promedio (°)	Velocidad		
	0,2 - 3,0	3,0 - 6,0	6,0 - 9,0	9,0 - 12,0	12,0 - 15,0	> 15,0			Máxima	Promedio	Desv. Estándar
									(m/s)		
N	5,7	3,2	1,2	0,5	0,0	0,0	10,6	348,5	12,5	3,5	2,56
NE	10,8	11,7	1,6	0,1	0,0	0,0	24,2	42,5	9,9	3,4	1,63
E	1,9	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	84,1	6,6	2,0	1,14
SE	1,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	138,2	5,6	1,4	0,91
S	2,5	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0	3,2	185,0	14,8	2,4	1,92
SW	6,9	15,1	13,1	7,7	2,1	0,1	45,0	226,9	16,1	6,4	3,17
W	4,3	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	5,4	269,4	8,5	2,1	1,32
NW	6,5	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	7,4	315,4	11,7	2,0	1,16
Total efectivo	39,8	33,0	16,0	8,3	2,1	0,1	99,2				
						Calmas	0,8				
						Total	100,0				
						Total Datos	13104				

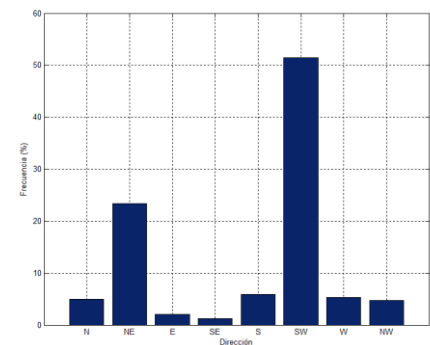
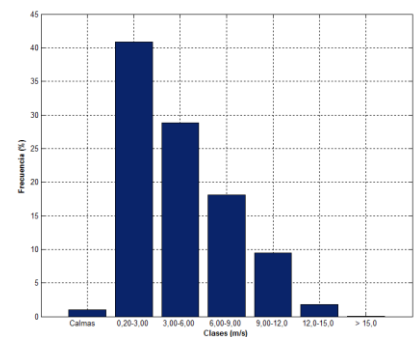
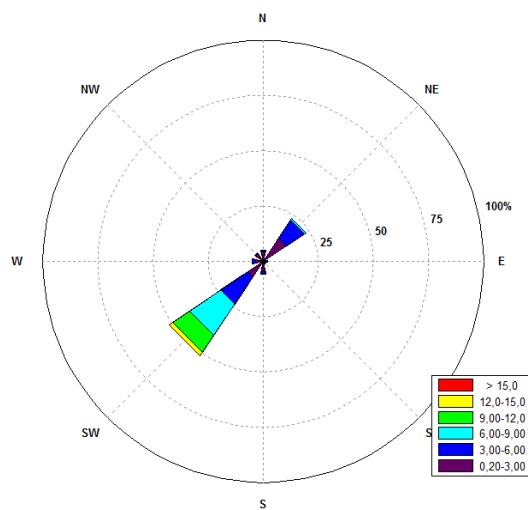


Figura 6.6.1 - 1: Rosa de viento e histograma de frecuencia para verano.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

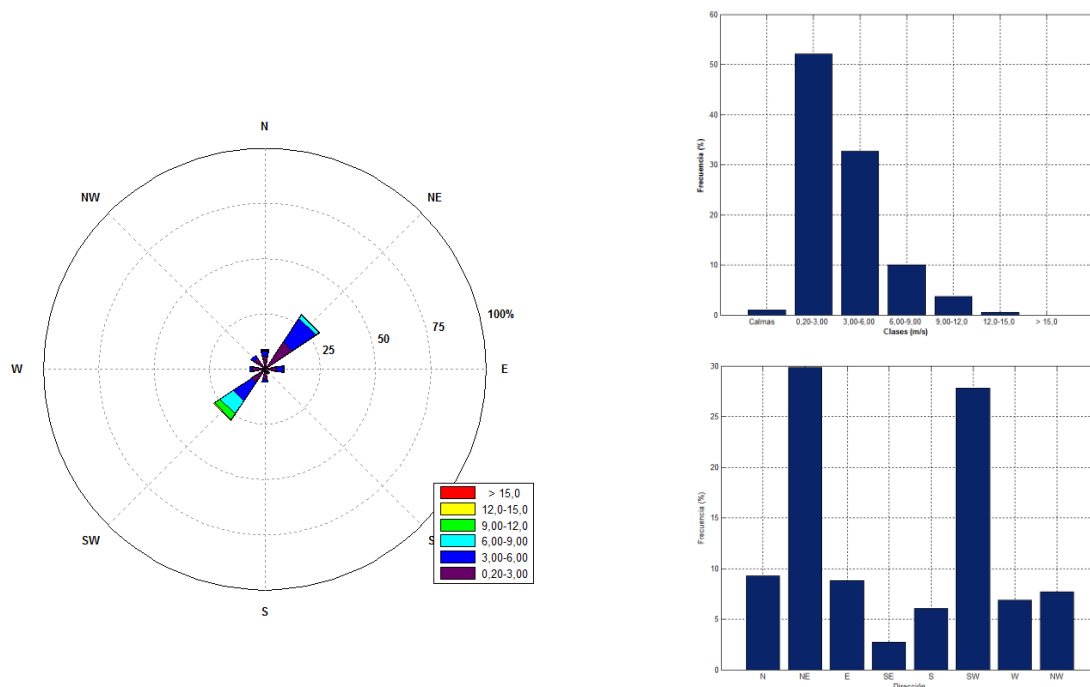


Figura 6.6.1 - 2: Rosa de viento e histograma de frecuencia para otoño.

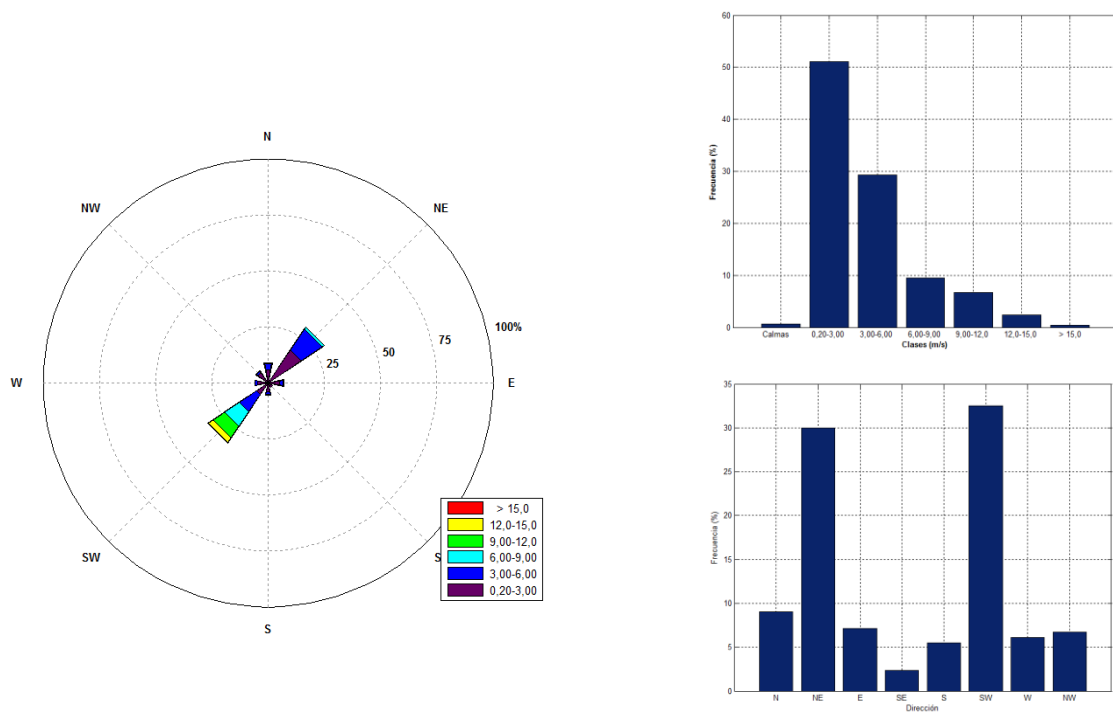


Figura 6.6.1 - 3: Rosa de viento e histograma de frecuencia para invierno.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

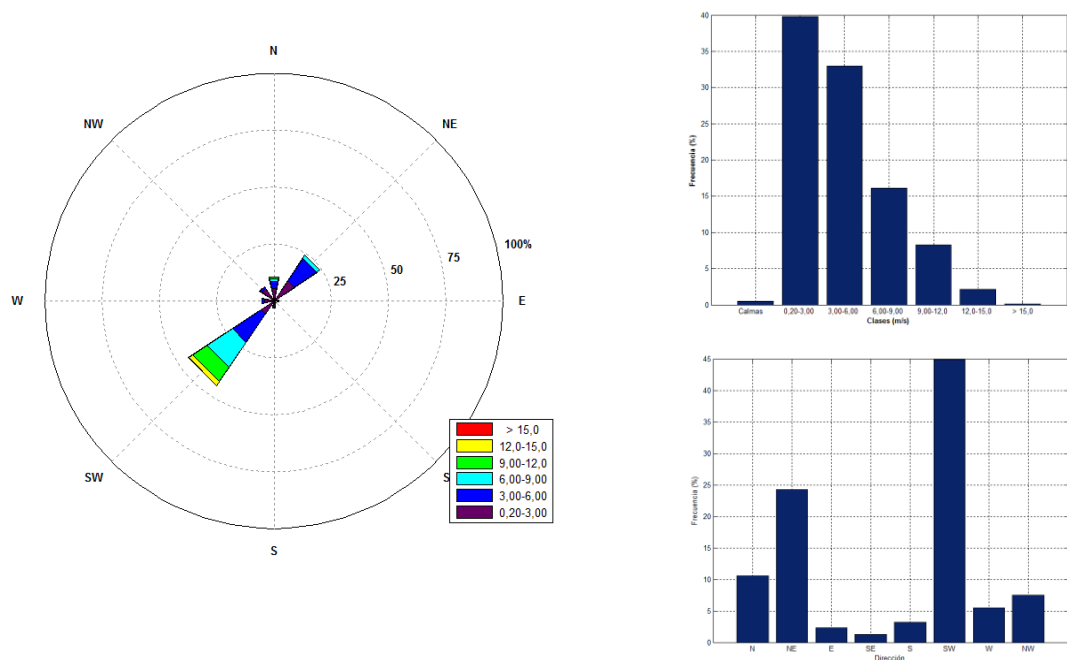


Figura 6.6.1 - 4: Rosa de viento e histograma de frecuencia para primavera.

6.6.2 ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD INTERANUAL (MENSUAL)

Tabla 6.6.2 - 1: Incidencia del viento para enero.

Dirección	Velocidad (m/s)						Total	Dirección	Velocidad		
	0,2 - 3,0	3,0 - 6,0	6,0 - 9,0	9,0 - 12,0	12,0 - 15,0	> 15,0			Máxima	Promedio	Desv. Estándar
N	3,7	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	349,2	4,2	1,6	0,99
NE	11,8	9,3	1,3	0,0	0,0	0,0	22,4	45,2	8,3	3,1	1,55
E	2,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	86,8	3,5	1,6	0,86
SE	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	140,6	4,0	1,2	0,77
S	4,5	0,8	0,3	0,0	0,0	0,0	5,6	186,2	8,1	2,2	1,59
SW	8,0	14,7	17,5	10,6	2,7	0,0	53,5	225,6	15,4	6,7	3,20
W	3,5	1,7	0,3	0,0	0,0	0,0	5,5	264,4	8,4	2,8	1,79
NW	4,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	315,4	3,6	1,5	0,74
Total efectivo	39,0	27,1	19,4	10,6	2,7	0,0	98,8				
							Calmas				
							Total				
							Total Datos				

Tabla 6.6.2 - 2: Incidencia del viento para febrero.

Dirección	Velocidad (m/s)						Total	Dirección	Velocidad		
	0,2 - 3,0	3,0 - 6,0	6,0 - 9,0	9,0 - 12,0	12,0 - 15,0	> 15,0			Máxima	Promedio	Desv. Estándar
N	4,3	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	4,7	347,8	5,3	1,5	0,92
NE	13,9	11,1	1,1	0,0	0,0	0,0	26,1	45,3	8,5	3,1	1,48
E	1,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	85,1	3,9	1,7	0,86
SE	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	137,0	3,3	1,1	0,77
S	4,5	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6	186,4	10,0	2,2	1,26
SW	8,9	15,6	15,0	10,1	0,8	0,0	50,4	226,6	13,7	6,2	3,00
W	3,6	1,1	0,1	0,0	0,0	0,0	4,8	265,8	6,9	2,2	1,41
NW	4,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	4,4	315,6	5,4	1,6	0,83
Total efectivo	42,4	29,6	16,2	10,1	0,8	0,0	99,1				
							Calmas				
							Total				
							Total Datos				

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

Tabla 6.6.2 - 3: Incidencia del viento para marzo.

Dirección	Velocidad (m/s)						Total	Dirección	Velocidad		
	0,2 - 3,0	3,0 - 6,0	6,0 - 9,0	9,0 - 12,0	12,0 - 15,0	> 15,0			Máxima	Promedio	Desv. Estándar
									(m/s)		
N	5,0	1,7	0,1	0,0	0,0	0,0	6,8	348,4	10,6	2,2	1,59
NE	13,6	11,6	0,5	0,0	0,0	0,0	25,7	46,9	9,1	3,0	1,40
E	3,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	86,4	5,2	1,6	0,89
SE	1,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	137,4	3,3	1,4	0,83
S	4,5	1,5	0,1	0,0	0,0	0,0	6,1	186,6	7,9	2,3	1,39
SW	5,2	12,8	15,7	8,2	1,6	0,0	43,5	224,5	14,9	6,7	2,97
W	3,9	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	5,8	270,1	6,3	2,6	1,33
NW	4,5	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	5,8	316,7	6,1	2,1	1,33
Total efectivo	41,5	31,2	16,4	8,2	1,6	0,0	98,9				
	Calmas						1,1				
	Total						100,0				
	Total Datos						4464				

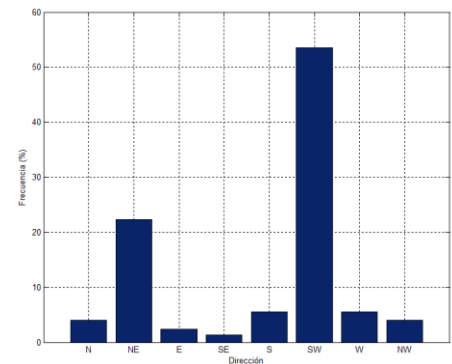
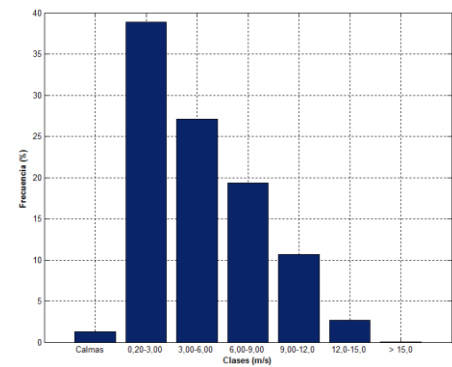
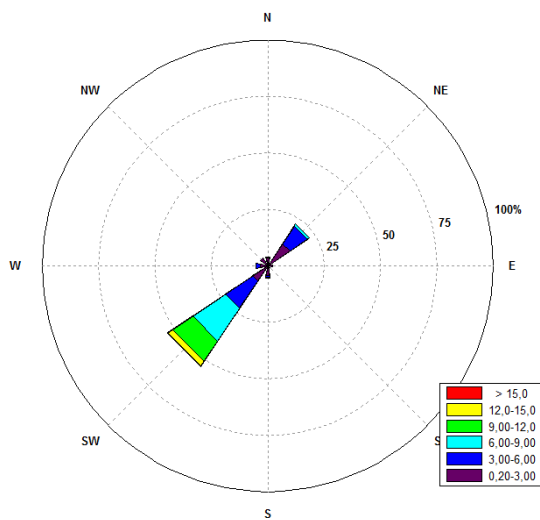


Figura 6.6.2 - 1: Rosa de viento e histograma de frecuencia para enero.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

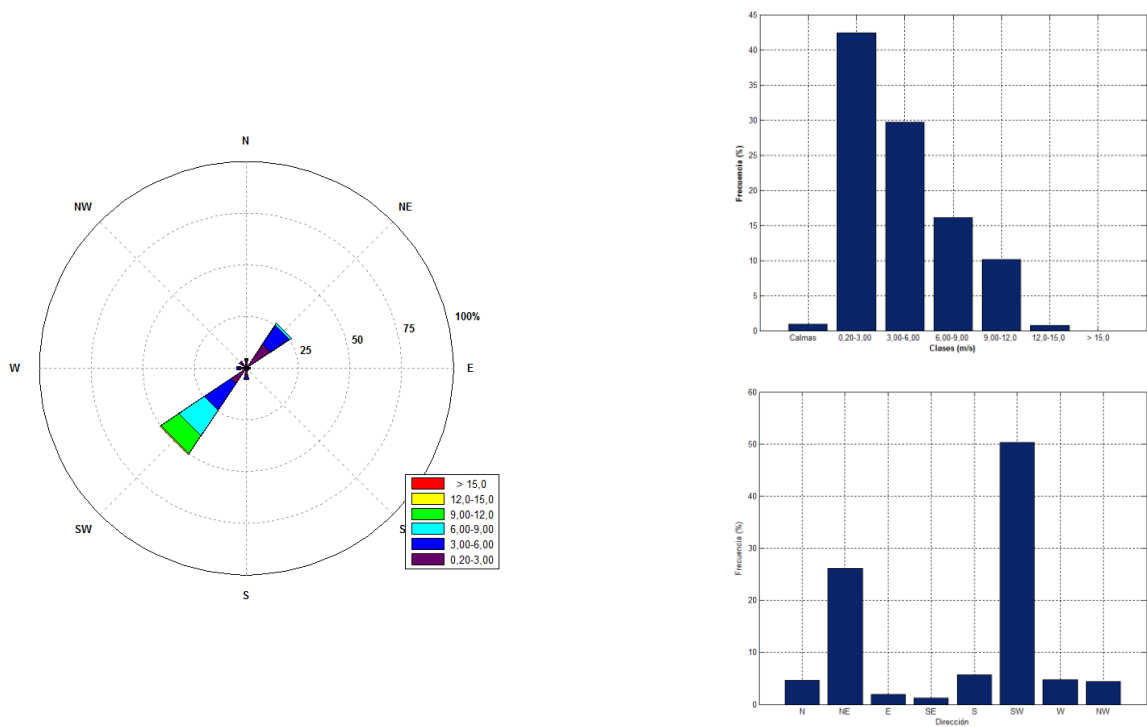


Figura 6.6.2 - 2: Rosa de viento e histograma de frecuencia para febrero.

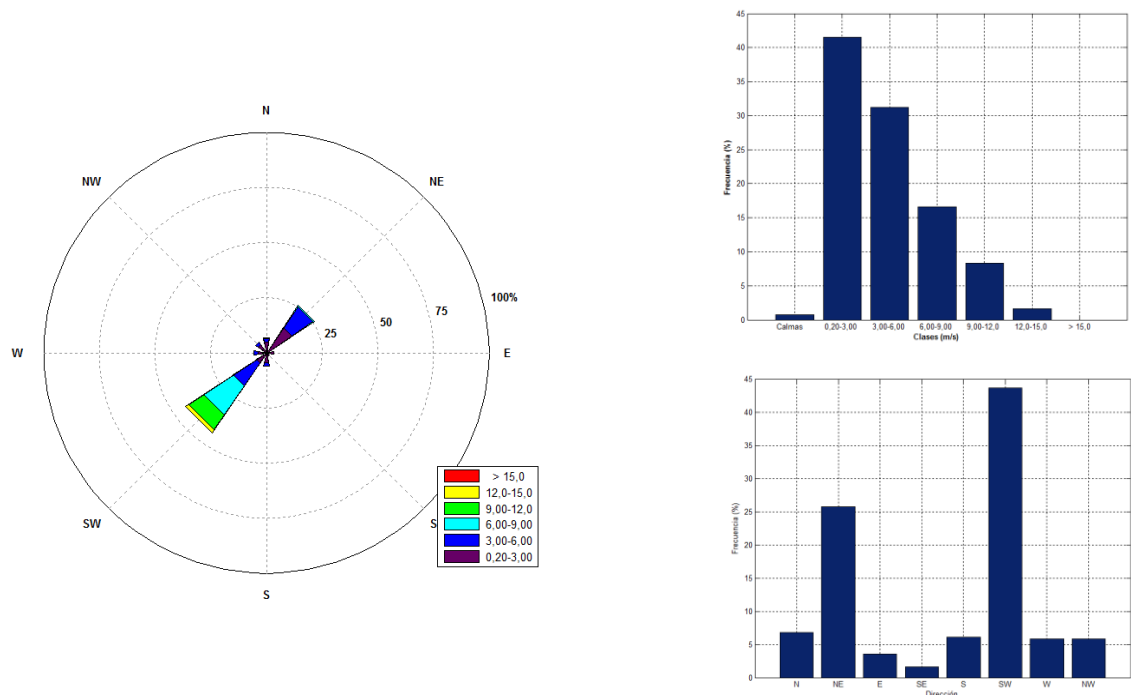


Figura 6.6.2 - 3: Rosa de viento e histograma de frecuencia para marzo.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

Tabla 6.6.2 - 4: Incidencia del viento para abril.

Dirección	Velocidad (m/s)						Total	Dirección	Velocidad		
	0,2 - 3,0	3,0 - 6,0	6,0 - 9,0	9,0 - 12,0	12,0 - 15,0	> 15,0			Máxima	Promedio	Desv. Estándar
									(m/s)		
N	7,5	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	9,6	347,7	6,4	2,1	1,24
NE	16,9	11,8	0,6	0,0	0,0	0,0	29,3	45,4	9,2	2,9	1,35
E	3,5	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	84,0	5,6	1,8	1,13
SE	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	137,9	3,3	1,2	0,79
S	4,2	1,2	0,1	0,0	0,0	0,0	5,5	183,6	9,0	2,2	1,31
SW	8,2	11,0	8,8	4,4	0,1	0,0	32,5	226,2	12,2	5,4	2,88
W	5,9	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	7,4	270,5	5,3	2,1	1,19
NW	7,1	1,4	0,1	0,0	0,0	0,0	8,6	315,6	6,8	1,9	1,19
Total efectivo	55,1	29,8	9,6	4,4	0,1	0,0	99,0				
						Calmas	1,0				
						Total	100,0				
						Total Datos	4320				

Tabla 6.6.2 - 5: Incidencia del viento para mayo.

Dirección	Velocidad (m/s)						Total	Dirección	Velocidad		
	0,2 - 3,0	3,0 - 6,0	6,0 - 9,0	9,0 - 12,0	12,0 - 15,0	> 15,0			Máxima	Promedio	Desv. Estándar
									(m/s)		
N	3,9	1,9	0,2	0,0	0,0	0,0	6,0	347,3	7,2	2,5	1,64
NE	14,1	10,2	1,1	0,0	0,0	0,0	25,4	48,7	7,6	3,0	1,48
E	8,6	4,5	0,4	0,0	0,0	0,0	13,5	85,6	6,9	2,7	1,47
SE	3,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	3,6	136,2	5,0	1,6	1,04
S	5,6	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	7,1	181,5	5,3	2,1	1,08
SW	8,0	11,3	8,3	2,1	0,1	0,0	29,8	224,8	13,6	5,0	2,64
W	6,2	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	7,3	270,9	5,1	2,1	0,96
NW	5,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	6,4	315,2	6,0	2,1	1,18
Total efectivo	54,7	32,2	10,0	2,1	0,1	0,0	99,1				
						Calmas	0,9				
						Total	100,0				
						Total Datos	4464				

Tabla 6.6.2 - 6: Incidencia del viento para junio.

Dirección	Velocidad (m/s)						Total	Dirección	Velocidad		
	0,2 - 3,0	3,0 - 6,0	6,0 - 9,0	9,0 - 12,0	12,0 - 15,0	> 15,0			Máxima	Promedio	Desv. Estándar
									(m/s)		
N	5,4	2,8	1,3	1,0	0,5	0,0	11,0	348,9	13,8	4,1	3,55
NE	16,9	13,1	3,4	0,8	0,0	0,0	34,2	47,0	11,5	3,4	2,06
E	6,3	5,4	0,5	0,0	0,0	0,0	12,2	85,8	9,3	3,0	1,67
SE	3,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	136,0	6,9	1,4	0,98
S	5,3	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,3	182,0	8,3	2,0	1,20
SW	6,0	6,8	3,8	2,3	1,0	0,0	19,9	224,8	13,7	5,3	3,50
W	4,4	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	269,5	7,6	1,8	1,06
NW	5,0	1,1	0,3	0,1	0,0	0,0	6,5	316,7	9,6	2,2	1,76
Total efectivo	52,6	31,0	9,3	4,2	1,5	0,0	98,6				
						Calmas	1,4				
						Total	100,0				
						Total Datos	4320				

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

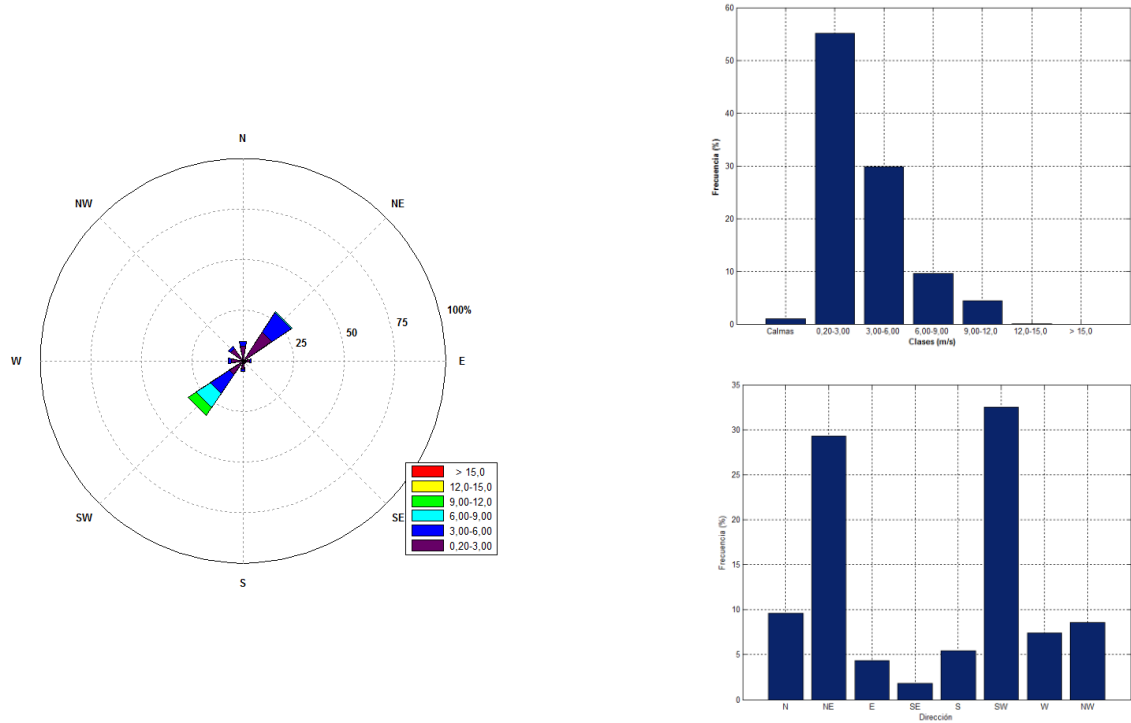


Figura 6.6.2 - 4: Rosa de viento e histograma de frecuencia para abril.

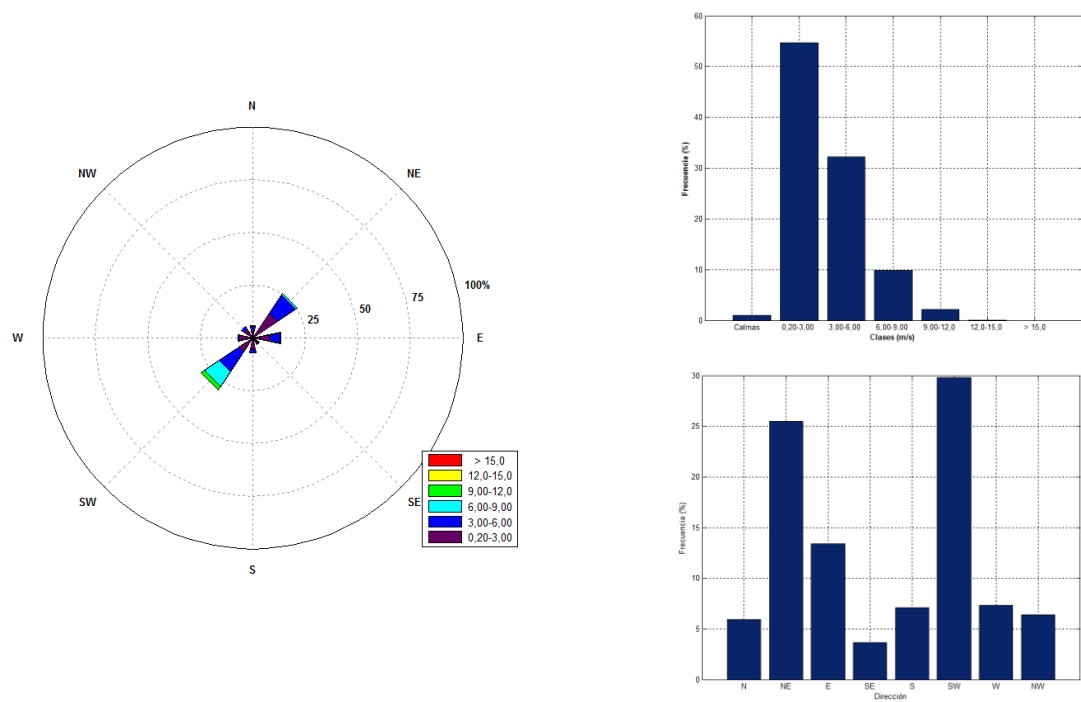


Figura 6.6.2 - 5: Rosa de viento e histograma de frecuencia para mayo.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

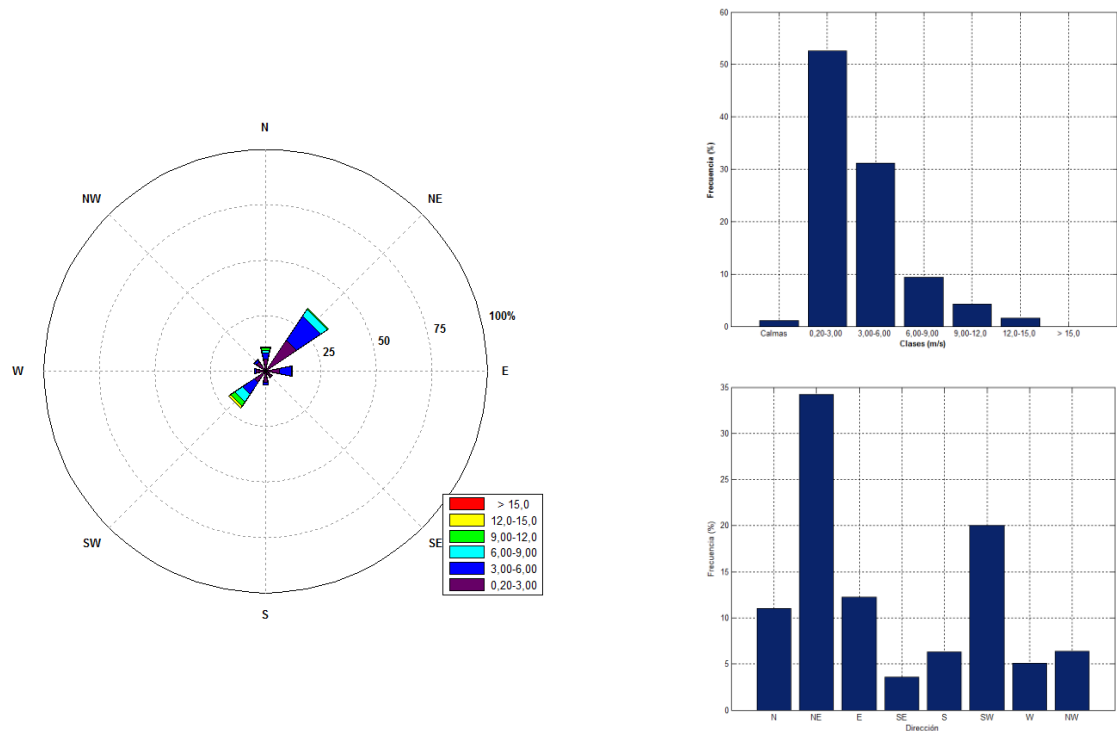


Figura 6.6.2 - 6: Rosa de viento e histograma de frecuencia para junio.

Tabla 6.6.2 - 7: Incidencia del viento para julio.

Dirección	Velocidad (m/s)						Total	Dirección	Velocidad		
	0,2 - 3,0	3,0 - 6,0	6,0 - 9,0	9,0 - 12,0	12,0 - 15,0	> 15,0			Máxima	Promedio	Desv. Estándar
N	5,9	2,4	0,5	0,0	0,0	0,0	8,8	347,1	10,5	2,7	1,74
NE	18,0	8,9	0,6	0,0	0,0	0,0	27,5	46,7	8,6	2,8	1,34
E	5,3	2,3	0,5	0,3	0,1	0,0	8,5	86,4	13,0	3,1	2,41
SE	2,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	135,9	4,0	1,4	0,86
S	5,0	2,0	0,2	0,0	0,0	0,0	7,2	183,2	7,9	2,5	1,46
SW	7,2	10,6	6,9	4,4	1,4	0,0	30,5	224,1	14,8	5,7	3,27
W	5,8	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	7,2	269,2	6,6	2,2	1,14
NW	5,4	1,1	0,3	0,0	0,0	0,0	6,8	316,3	8,6	2,3	1,58
Total efectivo	55,2	28,8	9,0	4,7	1,5	0,0	99,2				
							Calmas				
							Total				
							Total Datos				

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

Tabla 6.6.2 - 8: Incidencia del viento para agosto.

Dirección	Velocidad (m/s)						Total	Dirección	Velocidad		
	0,2 - 3,0	3,0 - 6,0	6,0 - 9,0	9,0 - 12,0	12,0 - 15,0	> 15,0			Máxima	Promedio	Desv. Estándar
									(m/s)		
N	6,2	3,2	0,4	0,2	0,0	0,0	10,0	347,8	11,5	2,9	1,85
NE	16,4	14,0	1,1	0,3	0,0	0,0	31,8	45,7	12,0	3,2	1,54
E	4,4	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	83,6	7,7	2,1	1,08
SE	1,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	135,7	4,2	1,5	0,75
S	2,9	1,3	0,2	0,0	0,0	0,0	4,4	186,1	9,0	2,6	1,62
SW	5,6	9,1	8,8	7,1	2,4	0,6	33,6	224,2	17,9	6,9	3,64
W	4,4	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	271,2	6,0	2,2	1,14
NW	6,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	7,2	316,4	5,7	2,1	1,02
Total efectivo	47,7	30,7	10,5	7,6	2,4	0,6	99,5				
						Calmas	0,5				
						Total	100,0				
						Total Datos	4320				

Tabla 6.6.2 - 9: Incidencia del viento para septiembre.

Dirección	Velocidad (m/s)						Total	Dirección	Velocidad		
	0,2 - 3,0	3,0 - 6,0	6,0 - 9,0	9,0 - 12,0	12,0 - 15,0	> 15,0			Máxima	Promedio	Desv. Estándar
									(m/s)		
N	6,0	4,3	0,9	0,0	0,0	0,0	11,2	348,3	7,8	3,0	1,76
NE	13,8	12,9	1,3	0,1	0,0	0,0	28,1	43,4	10,0	3,2	1,52
E	2,7	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,9	83,5	4,2	1,7	0,85
SE	1,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	137,9	3,5	1,2	0,79
S	2,8	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	3,8	187,0	13,6	2,5	2,00
SW	5,7	11,8	8,1	7,5	2,2	0,9	36,2	226,0	20,1	6,8	3,68
W	5,0	1,8	0,2	0,0	0,0	0,0	7,0	267,4	7,1	2,4	1,56
NW	7,2	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	8,8	317,0	5,6	2,1	1,09
Total efectivo	44,5	33,5	10,7	7,6	2,2	0,9	99,4				
						Calmas	0,6				
						Total	100,0				
						Total Datos	4320				

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

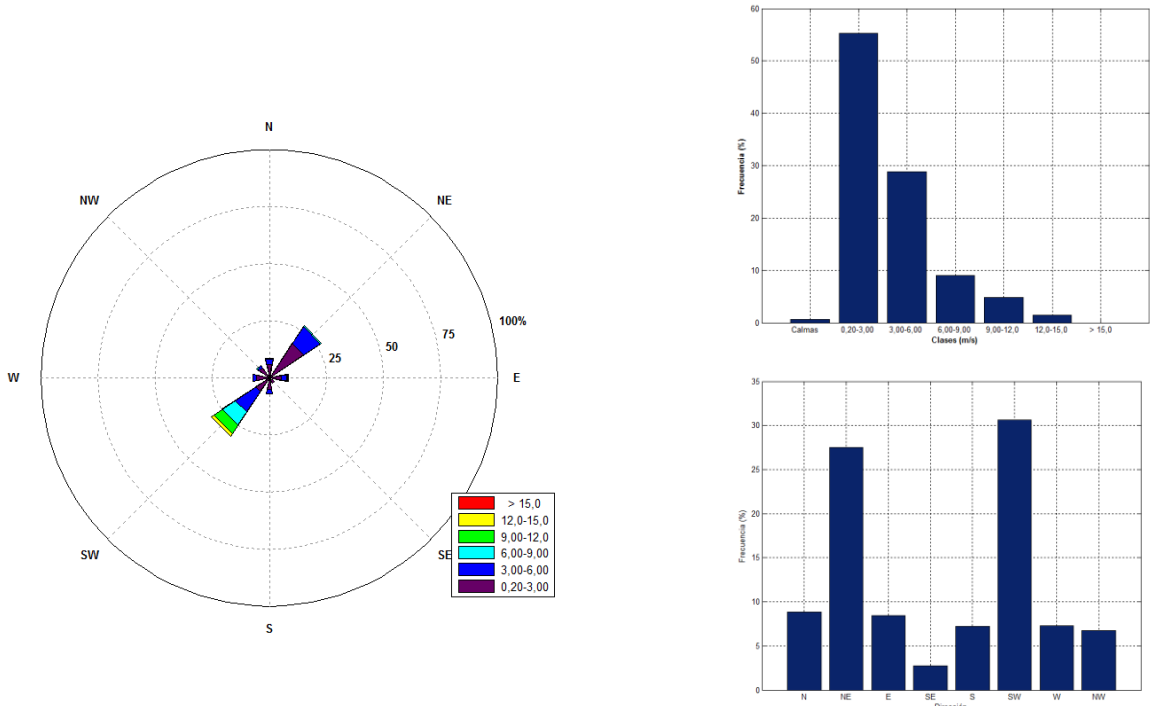


Figura 6.6.2 - 7: Rosa de viento e histograma de frecuencia para julio.

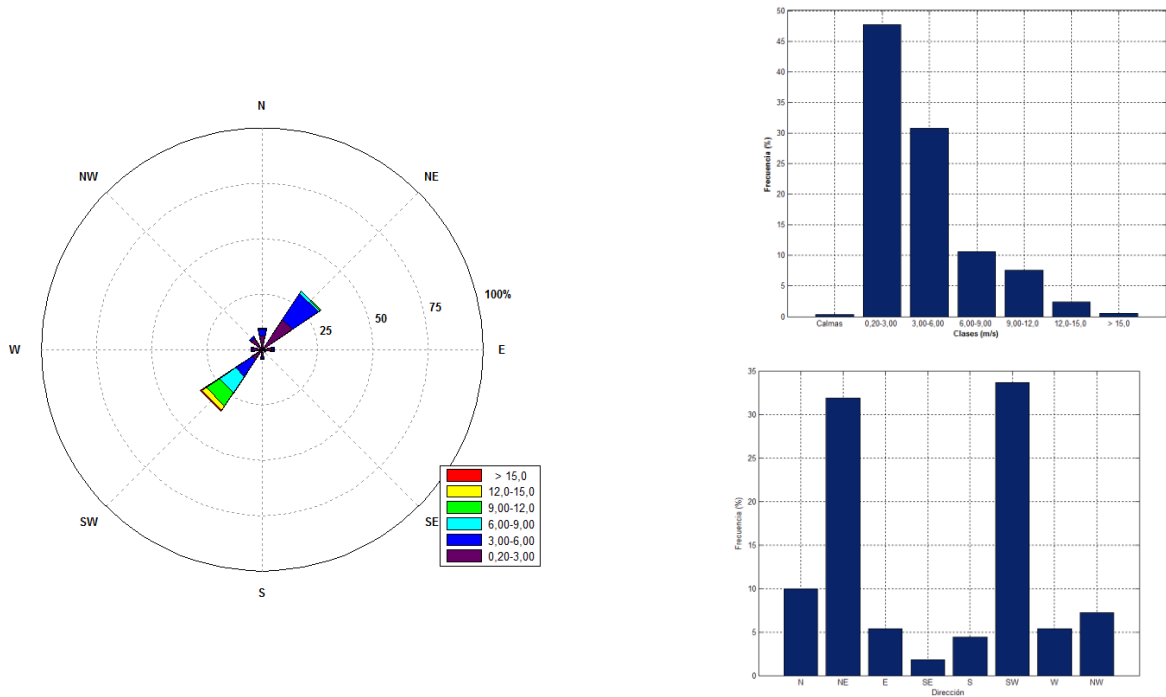


Figura 6.6.2 - 8: Rosa de viento e histograma de frecuencia para agosto.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

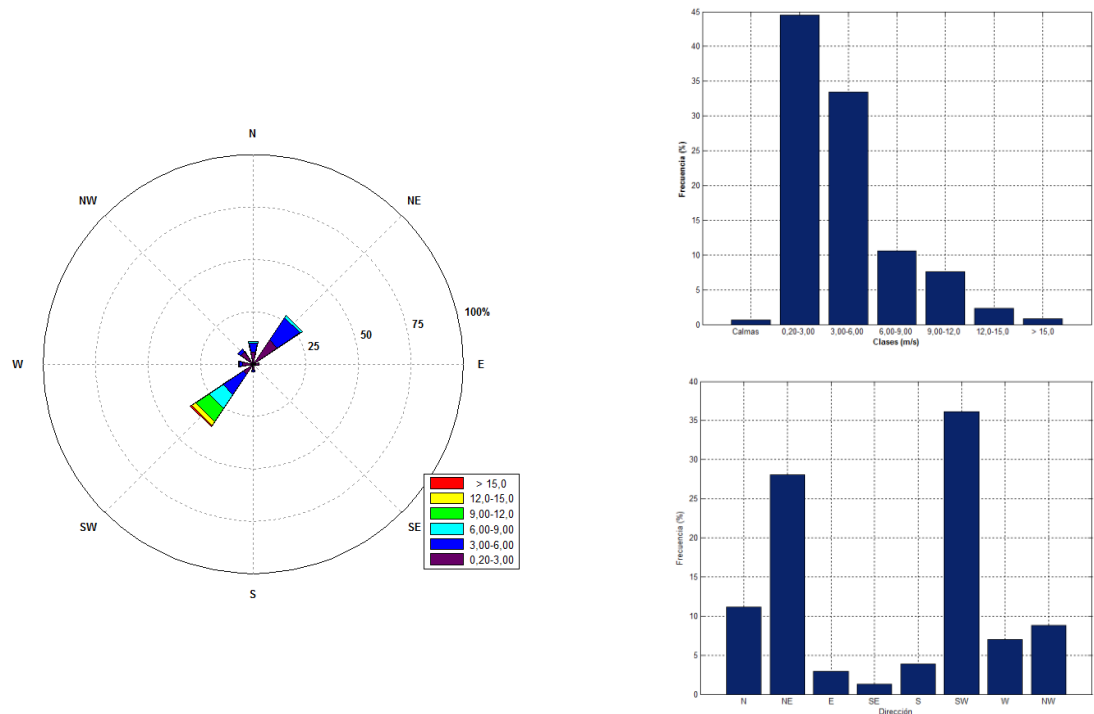


Figura 6.6.2 - 9: Rosa de viento e histograma de frecuencia para septiembre.

Tabla 6.6.2 - 10: Incidencia del viento para octubre.

Dirección	Velocidad (m/s)						Total	Dirección	Velocidad		
	0,2 - 3,0	3,0 - 6,0	6,0 - 9,0	9,0 - 12,0	12,0 - 15,0	> 15,0			Máxima	Promedio	Desv. Estándar
									(m/s)		
N	4,2	4,2	1,7	1,3	0,0	0,0	11,4	350,0	12,3	4,5	3,03
NE	10,0	11,2	1,6	0,2	0,0	0,0	23,0	42,8	9,8	3,5	1,69
E	2,5	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1	84,0	6,6	2,2	1,27
SE	1,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	136,6	5,6	1,4	0,90
S	2,5	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1	180,2	7,0	2,0	1,16
SW	6,6	13,3	13,9	7,2	2,5	0,3	43,8	227,5	16,1	6,6	3,26
W	4,1	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6	270,8	8,5	2,2	1,36
NW	6,5	1,1	0,1	0,0	0,0	0,0	7,7	315,3	11,7	2,1	1,32
Total efectivo	37,9	32,6	17,3	8,7	2,5	0,3	99,3				
						Calmas	0,7				
						Total	100,0				
						Total Datos	4464				

Tabla 6.6.2 - 11: Incidencia del viento para noviembre.

Dirección	Velocidad (m/s)						Total	Dirección	Velocidad		
	0,2 - 3,0	3,0 - 6,0	6,0 - 9,0	9,0 - 12,0	12,0 - 15,0	> 15,0			Máxima	Promedio	Desv. Estándar
									(m/s)		
N	7,2	2,8	0,9	0,2	0,1	0,0	11,2	347,4	12,5	3,0	2,19
NE	12,4	10,4	1,9	0,2	0,0	0,0	24,9	42,2	9,9	3,3	1,74
E	1,5	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	84,2	5,4	1,8	1,08
SE	1,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	140,3	4,7	1,6	0,99
S	2,9	0,3	0,0	0,0	0,1	0,0	3,3	185,9	14,8	2,3	2,36
SW	7,3	14,7	10,6	9,3	3,1	0,1	45,1	226,5	15,2	6,6	3,43
W	4,2	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	271,1	5,8	1,9	1,05
NW	6,5	0,7	0,1	0,0	0,0	0,0	7,3	314,6	6,9	1,9	1,15
Total efectivo	43,2	29,8	13,5	9,7	3,3	0,1	99,6				
						Calmas	0,4				
						Total	100,0				
						Total Datos	4320				

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

Tabla 6.6.2 - 12: Incidencia del viento para diciembre.

Dirección	Velocidad (m/s)						Total	Dirección	Velocidad		
	0,2 - 3,0	3,0 - 6,0	6,0 - 9,0	9,0 - 12,0	12,0 - 15,0	> 15,0			Máxima	Promedio	Desv. Estándar
									(m/s)		
N	5,6	1,5	0,1	0,0	0,0	0,0	7,2	347,7	8,0	2,2	1,25
NE	10,6	12,8	1,1	0,0	0,0	0,0	24,5	42,9	8,6	3,3	1,40
E	1,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	85,2	4,7	1,7	0,93
SE	0,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	138,5	3,6	1,4	1,04
S	2,4	0,8	0,2	0,0	0,1	0,0	3,5	189,6	13,8	2,9	2,48
SW	8,1	17,6	16,9	6,3	1,3	0,1	50,3	226,7	16,1	6,1	2,90
W	3,9	1,3	0,1	0,0	0,0	0,0	5,3	266,8	6,7	2,3	1,48
NW	5,9	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	6,5	316,7	6,1	1,8	1,06
Total efectivo	38,5	34,8	18,4	6,3	1,4	0,1	99,5				
						Calmas	0,5				
						Total	100,0				
						Total Datos	4464				

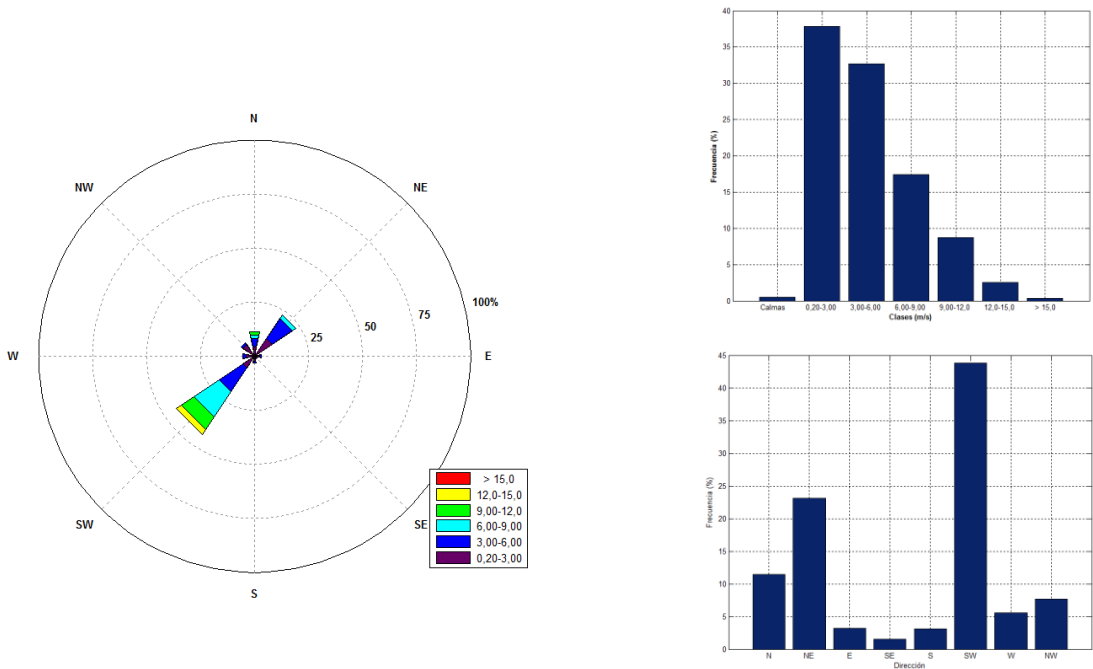


Figura 6.6.2 - 10: Rosa de viento e histograma de frecuencia para octubre.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

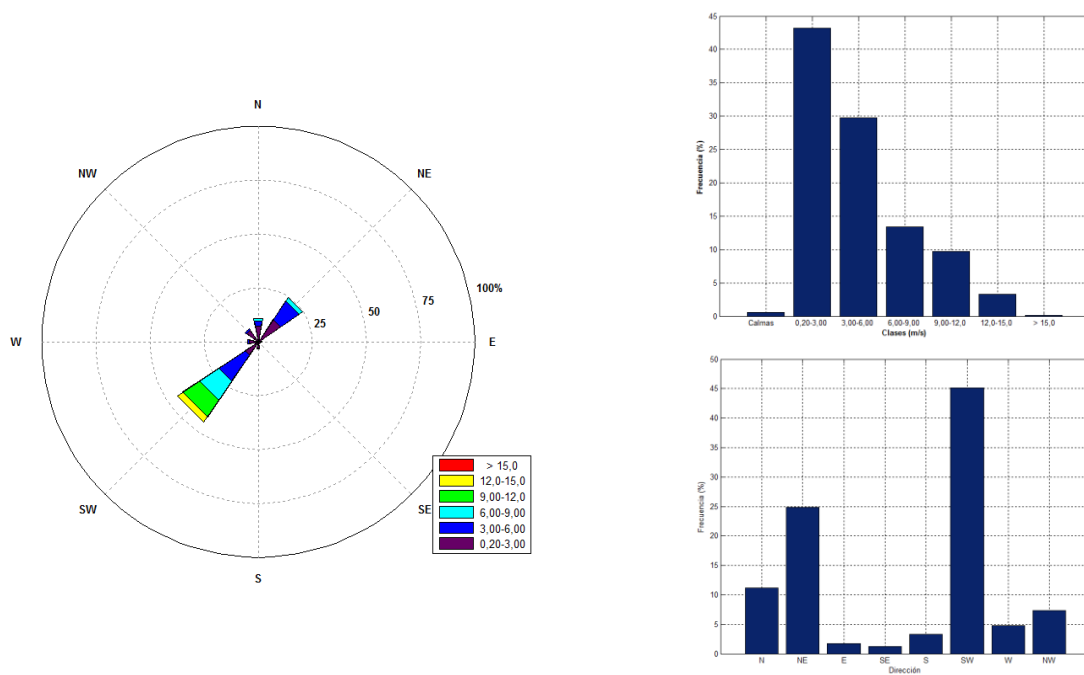


Figura 6.6.2 - 11: Rosa de viento e histograma de frecuencias para noviembre.

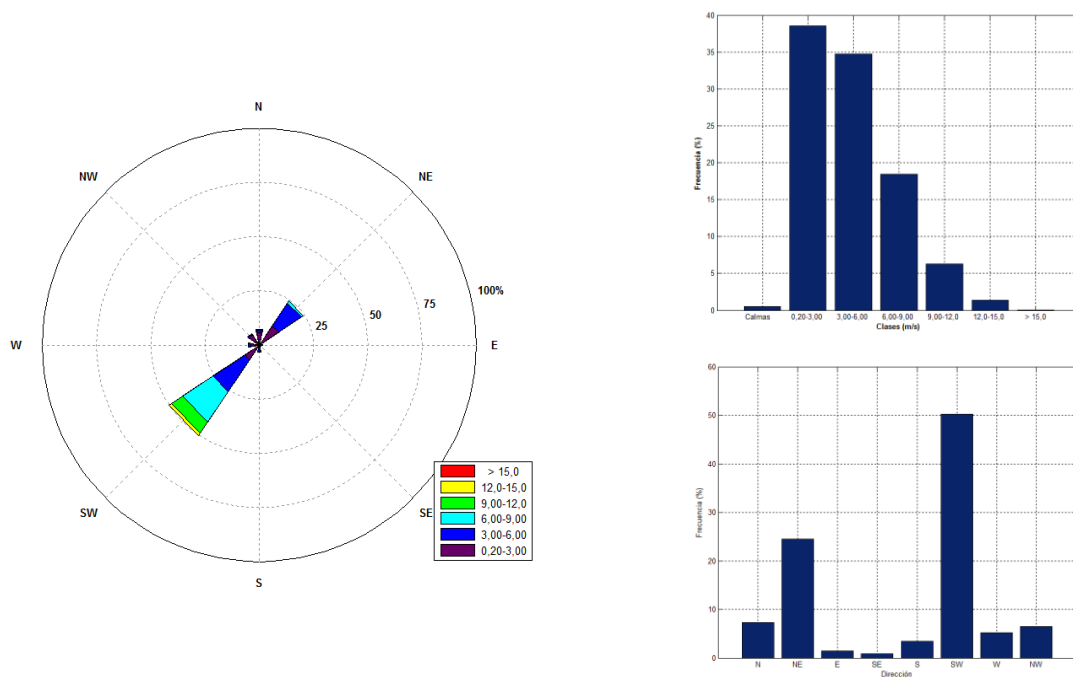


Figura 6.6.2 - 12: Rosa de viento e histograma de frecuencia para diciembre.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

6.6.3 ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD HORARIA

Tabla 6.6.3 - 1: Incidencia del viento para la hora 00:00.

Dirección	Velocidad (m/s)						Total	Dirección	Velocidad		
									Máxima	Promedio	Desv. Estándar
	0,2 - 3,0	3,0 - 6,0	6,0 - 9,0	9,0 - 12,0	12,0 - 15,0	> 15,0			(m/s)		
N	6,3	1,6	0,3	0,0	0,0	0,0	8,2	348,7	6,8	2,2	1,51
NE	19,2	22,0	2,2	0,0	0,0	0,0	43,4	46,1	8,8	3,2	1,54
E	5,8	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	6,3	87,2	3,1	1,6	0,81
SE	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	133,7	2,6	1,4	0,68
S	8,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	9,6	187,1	3,5	1,8	1,04
SW	8,8	6,0	2,7	0,8	0,0	0,0	18,3	219,8	9,9	3,7	2,39
W	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	265,0	2,4	1,3	0,59
NW	6,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	6,3	310,9	3,9	1,3	0,85
Total efectivo	60,9	32,0	5,2	0,8	0,0	0,0	98,9				
						Calmas	1,1				
						Total	100,0				
						Total Datos	364				

Tabla 6.6.3 - 2: Incidencia del viento para la hora 04:00.

Dirección	Velocidad (m/s)						Total	Dirección	Velocidad		
	0,2 - 3,0	3,0 - 6,0	6,0 - 9,0	9,0 - 12,0	12,0 - 15,0	> 15,0			Máxima	Promedio	Desv. Estándar
									(m/s)		
N	7,1	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	8,7	348,2	5,3	1,8	1,33
NE	25,5	17,0	1,9	0,0	0,0	0,0	44,4	45,5	8,5	3,0	1,48
E	9,3	1,4	0,3	0,0	0,0	0,0	11,0	83,6	6,3	2,0	1,17
SE	5,5	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	5,8	140,3	3,0	1,5	0,87
S	9,6	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	10,1	183,2	4,3	1,7	0,91
SW	4,4	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	8,8	222,5	5,9	2,8	1,50
W	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9	270,0	2,8	1,2	0,68
NW	3,8	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	318,1	4,6	1,7	1,09
Total efectivo	70,1	25,7	2,2	0,0	0,0	0,0	98,0				
						Calmas	2,0				
						Total	100,0				
						Total Datos	364				

Tabla 6.6.3 - 3: Incidencia del viento para la hora 08:00.

Dirección	Velocidad (m/s)						Total	Dirección	Velocidad		
	0,2 - 3,0	3,0 - 6,0	6,0 - 9,0	9,0 - 12,0	12,0 - 15,0	> 15,0			Máxima	Promedio	Desv. Estándar
									(m/s)		
N	7,7	1,6	0,5	0,3	0,0	0,0	10,1	349,8	11,3	2,5	2,29
NE	23,6	21,4	2,7	0,0	0,0	0,0	47,7	45,7	8,1	3,2	1,49
E	6,9	4,1	0,0	0,0	0,3	0,0	11,3	85,6	12,1	2,6	2,09
SE	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	135,9	1,8	0,8	0,54
S	6,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	6,5	182,9	3,9	1,8	0,99
SW	8,5	4,4	0,5	0,0	0,0	0,0	13,4	223,9	6,9	2,7	1,68
W	2,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	276,3	3,4	1,7	1,01
NW	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,7	316,3	2,8	1,4	0,66
Total efectivo	61,7	32,3	3,7	0,3	0,3	0,0	98,3				
						Calmas	1,7				
						Total	100,0				
						Total Datos	364				

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

Tabla 6.6.3 - 4: Incidencia del viento para la hora 12:00.

Dirección	Velocidad (m/s)						Total	Dirección	Velocidad		
	0,2 - 3,0	3,0 - 6,0	6,0 - 9,0	9,0 - 12,0	12,0 - 15,0	> 15,0			Máxima	Promedio	Desv. Estándar
N	6,6	4,1	1,4	0,3	0,3	0,0	12,7	349,5	12,5	3,6	2,36
NE	5,2	8,0	1,6	0,3	0,0	0,0	15,1	37,7	10,9	4,0	1,85
E	0,3	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	81,2	5,7	4,0	0,94
SE	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	124,4	2,8	1,5	1,73
S	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	189,1	1,2	1,0	0,34
SW	7,7	17,6	8,2	3,0	0,0	0,0	36,5	231,2	10,8	5,0	2,34
W	11,0	3,8	0,3	0,0	0,0	0,0	15,1	268,7	6,2	2,5	1,23
NW	13,7	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	17,0	314,4	5,0	2,2	0,95
Total efectivo	45,5	39,0	11,5	3,6	0,3	0,0	99,9				
							Calmas				
							Total				
							Total Datos				

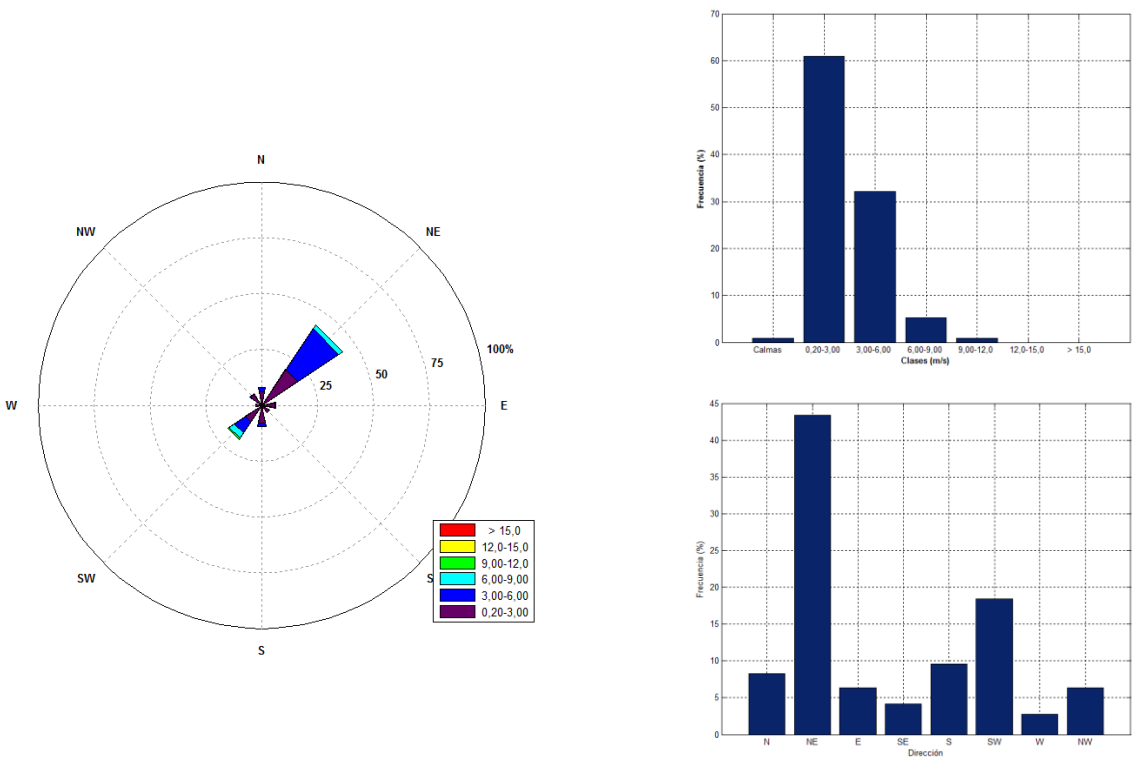


Figura 6.6.3 - 1: Rosa de viento e histograma de frecuencia para la hora 00:00.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

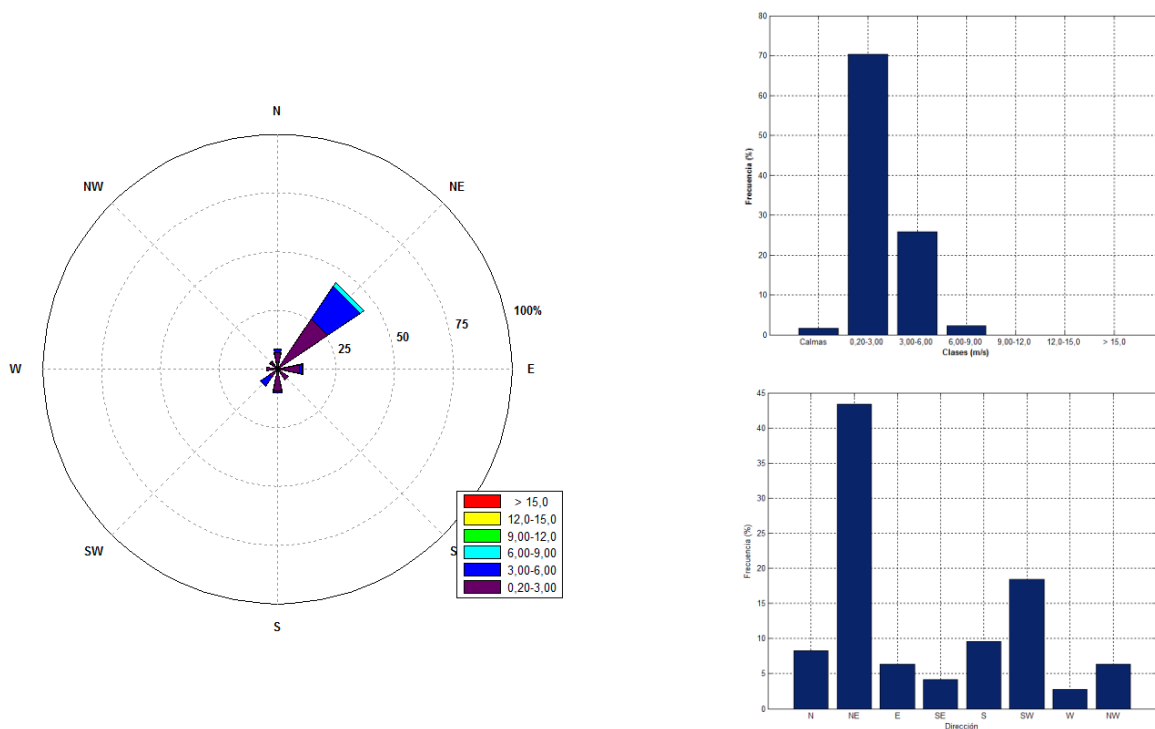


Figura 6.6.3 - 2: Rosa de viento e histograma de frecuencia para la hora 04:00.

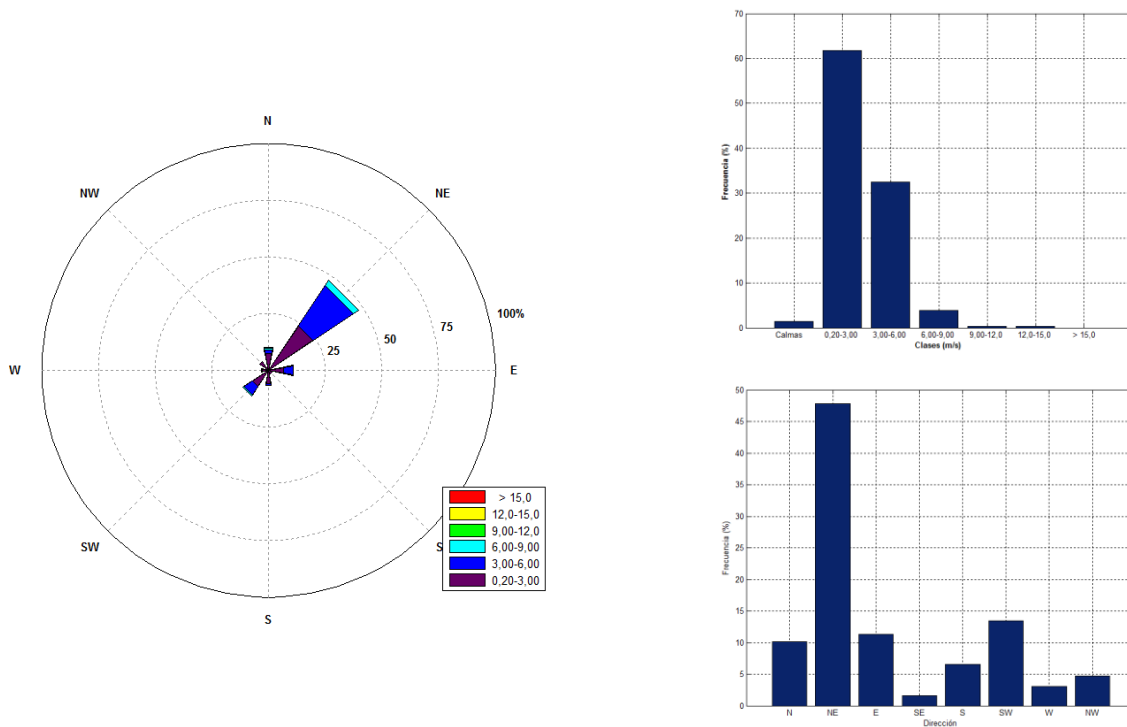


Figura 6.6.3 - 3: Rosa de viento e histograma de frecuencia para la hora 08:00.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

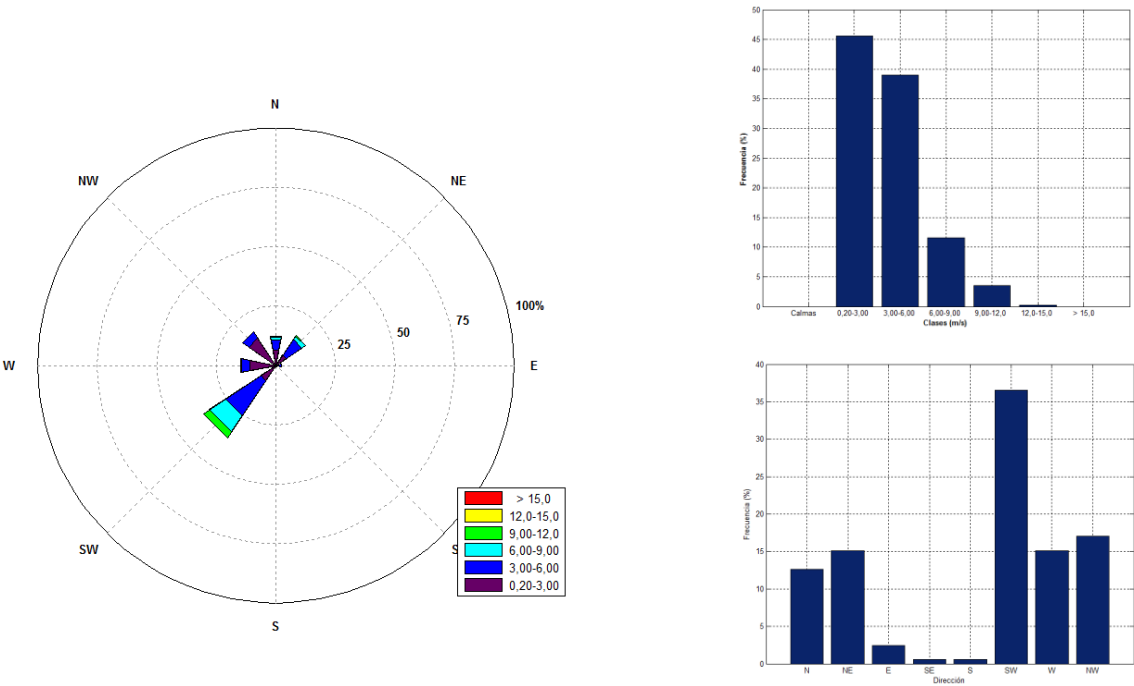


Figura 6.6.3 - 4: Rosa de viento e histograma de frecuencia para la hora 12:00.

Tabla 6.6.3 - 5: Incidencia del viento para la hora 16:00.

Dirección	Velocidad (m/s)						Total	Dirección	Velocidad		
	0,2 - 3,0	3,0 - 6,0	6,0 - 9,0	9,0 - 12,0	12,0 - 15,0	> 15,0			Máxima	Promedio	Desv. Estándar
N	2,7	2,5	0,5	0,3	0,0	0,0	6,0	350,5	11,4	3,9	2,48
NE	0,8	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	31,7	5,7	3,8	1,51
E	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	85,7	1,9	1,9	0,00
SE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
S	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	202,4	4,0	4,0	0,00
SW	3,6	17,3	25,5	22,3	6,9	0,8	76,4	228,7	16,6	8,1	2,95
W	5,2	2,7	0,3	0,0	0,0	0,0	8,2	268,2	8,1	3,1	1,50
NW	5,2	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	6,3	311,2	5,5	2,2	1,14
Total efectivo	17,8	25,5	26,3	22,6	6,9	0,8	99,9				
							Calmas				
							Total				
							Total Datos				

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

Tabla 6.6.3 - 6: Incidencia del viento para la hora 20:00.

Dirección	Velocidad (m/s)						Total	Dirección	Velocidad			
	0,2 - 3,0	3,0 - 6,0	6,0 - 9,0	9,0 - 12,0	12,0 - 15,0	> 15,0			Máxima	Promedio	Desv. Estándar	
									(m/s)			
N	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	349,4	3,9	2,1	1,64	
NE	5,5	3,6	1,1	0,0	0,0	0,0	10,2	44,4	8,5	3,4	1,72	
E	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	75,7	4,0	2,8	1,36	
SE	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	131,0	3,0	2,2	0,87	
S	1,4	1,1	0,8	0,0	0,0	0,0	3,3	190,0	9,0	4,6	2,64	
SW	7,1	20,6	36,0	12,4	1,4	0,3	77,8	221,4	16,2	6,8	2,70	
W	1,9	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	268,5	5,2	2,2	1,45	
NW	2,5	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	3,1	317,4	7,7	2,0	2,08	
Total efectivo	20,5	27,1	38,2	12,4	1,4	0,3	99,9					
							Calmas					0,1
							Total					100,0
							Total Datos	364				

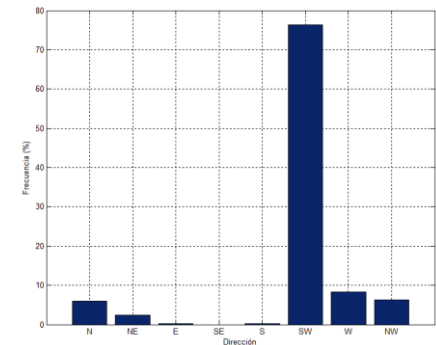
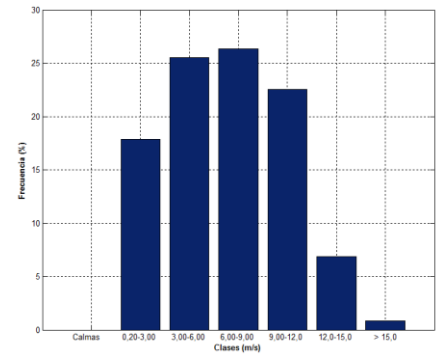
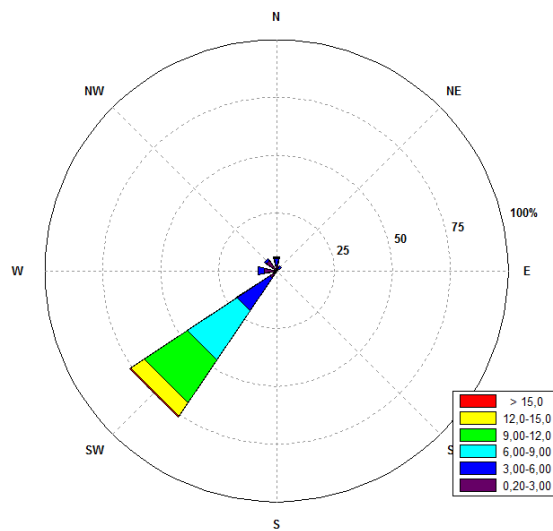


Figura 6.6.3 - 5: Rosa de viento e histograma de frecuencia para la hora 16:00.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

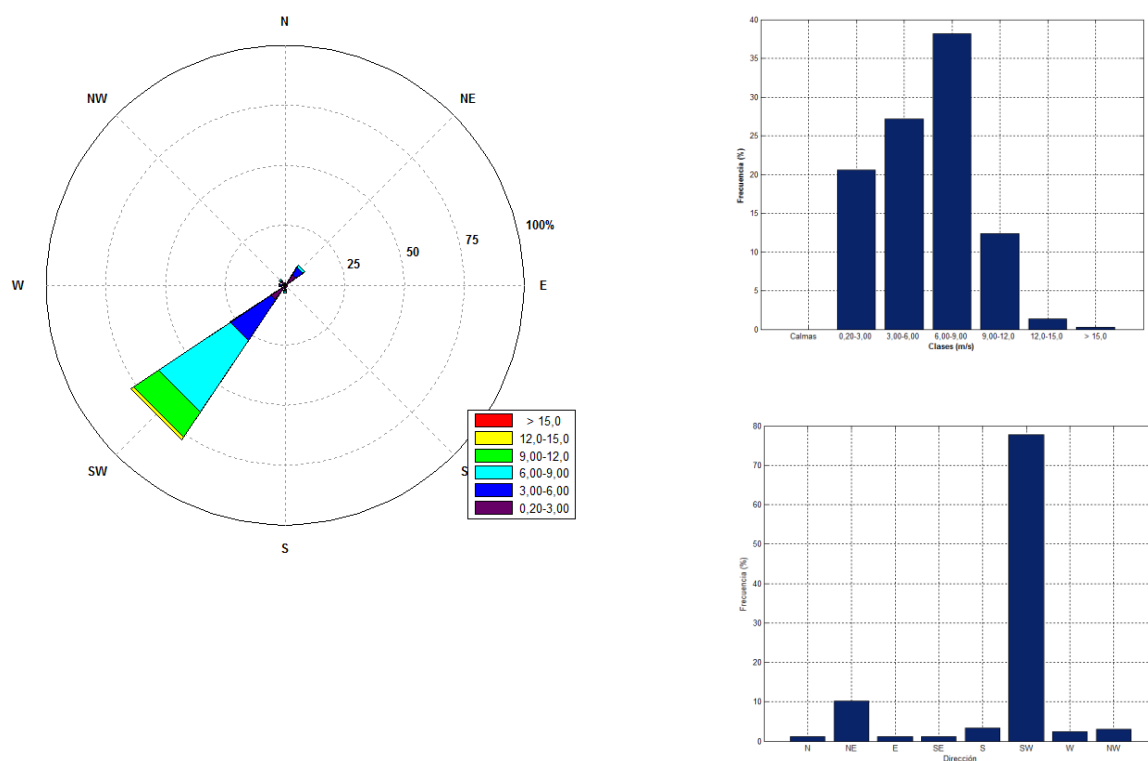


Figura 6.6.3 - 6: Rosa de viento e histograma de frecuencia para la hora 20:00.

6.7 RESULTADOS REGIMEN DE CORRIENTES

6.7.1 RESULTADOS CAMPAÑA DE VERANO

- **ESTACIÓN 1 (ADCP 1 - VERANO)**

La Tabla 6.7.1 - 1 muestra los estadísticos descriptivos (media, máximo, mínimo, varianza y desviación estándar) de las series temporales de la corriente (capas 1, 23 y 45). La máxima magnitud de la corriente (0,59 m/s) se registró en la capa más profunda.

Tabla 6.7.1 - 1: Estadística básica para la magnitud y componentes U-V de la corriente, registrada en la estación 1 (ADCP 1).

Estadístico	Capa 1			Capa 23			Capa 45		
	Magnitud	U	V	Magnitud	U	V	Magnitud	U	V
	m/s			m/s			m/s		
Promedio	0,13	-0,05	-0,09	0,11	-0,04	-0,07	0,12	0,03	0,03
Máximo	0,40	0,31	0,13	0,33	0,19	0,24	0,59	0,42	0,58
Mínimo	0,00	-0,37	-0,39	0,00	-0,27	-0,32	0,00	-0,49	-0,43
Varianza	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01
Desv. Estándar	0,06	0,08	0,07	0,06	0,06	0,08	0,07	0,08	0,10

La distribución de frecuencias de magnitud de la corriente indica que en general para todos los niveles predominan corrientes de baja magnitud (menores a 0,20 m/s, incluyendo las calmas) abarcando más del 84% de los registros. En todos los niveles analizados se registraron corrientes superiores a 0,20 m/s, alcanzando un 15,2% de los datos en el nivel profundo (Tablas 6.7.1 – 2 a 6.7.1 – 4).

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

Tabla 6.7.1 - 2: Frecuencia de incidencia de corriente registrada en estación 1 superficie.

Direcciones	Frecuencia de Incidencia de Corrientes						Total	Dirección	Velocidad
	Velocidad (m/s)								(m/s)
	0,10 - 0,20	0,20 - 0,30	0,30 - 0,40	0,40 - 0,50	0,50 - 0,60	>0,60		Media	Media
N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	359,4	0,04
NE	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	46,6	0,07
E	1,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	94,1	0,11
SE	3,6	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2	137,9	0,10
S	15,8	6,6	0,3	0,0	0,0	0,0	22,7	184,3	0,15
SW	22,2	5,1	0,0	0,0	0,0	0,0	27,4	224,6	0,14
W	8,5	2,2	0,1	0,0	0,0	0,0	10,7	262,4	0,13
NW	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	309,8	0,07
Total efectivo	51,9	14,7	0,4	0,0	0,0	0,0	67,2		
						Calmas	32,8		
						Total	100,0		

Tabla 6.7.1 - 3: Frecuencia de incidencia de corriente registrada en estación 1 intermedio.

Direcciones	Frecuencia de Incidencia de Corrientes						Total	Dirección	Velocidad
	Velocidad (m/s)								(m/s)
	0,10 - 0,20	0,20 - 0,30	0,30 - 0,40	0,40 - 0,50	0,50 - 0,60	>0,60		Media	Media
N	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	1,0	0,07
NE	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	41,9	0,07
E	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	90,8	0,06
SE	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	139,7	0,07
S	15,9	2,8	0,1	0,0	0,0	0,0	18,8	186,4	0,12
SW	21,7	5,0	0,2	0,0	0,0	0,0	26,9	220,9	0,13
W	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	263,9	0,08
NW	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	313,9	0,06
Total efectivo	44,2	7,9	0,3	0,0	0,0	0,0	52,3		
						Calmas	47,7		
						Total	100,0		

Tabla 6.7.1 - 4: Frecuencia de incidencia de corriente registrada en estación 1 profundo.

Direcciones	Frecuencia de Incidencia de Corrientes						Total	Dirección	Velocidad
	Velocidad (m/s)								(m/s)
	0,10 - 0,20	0,20 - 0,30	0,30 - 0,40	0,40 - 0,50	0,50 - 0,60	>0,60		Media	Media
N	8,6	1,1	0,1	0,0	0,0	0,0	9,9	4,5	0,12
NE	14,5	4,7	0,6	0,0	0,0	0,0	19,9	42,6	0,15
E	6,5	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	6,9	88,7	0,10
SE	3,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	135,0	0,09
S	3,9	0,7	0,1	0,0	0,0	0,0	4,7	181,1	0,11
SW	3,7	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	4,8	223,6	0,12
W	1,8	0,3	0,0	0,1	0,0	0,0	2,2	269,8	0,10
NW	2,8	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	315,6	0,09
Total efectivo	45,6	8,5	1,1	0,2	0,1	0,0	55,7		
						Calmas	44,3		
						Total	100,0		

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

La dirección predominante de la corriente a nivel superficial fue NE, con un 19,8% de incidencia; las direcciones presentan una variación con respecto al aumento de profundidad, predominando la dirección SW para los niveles intermedio y profundo, lo que se puede apreciar en la rosa de direcciones (Figuras 3.5.3 – 1 a 3.5.3 - 3). En general se puede apreciar una tendencia de las corrientes hacia el primer cuadrante a nivel superficial y hacia tercer cuadrante a nivel intermedio y profundo.

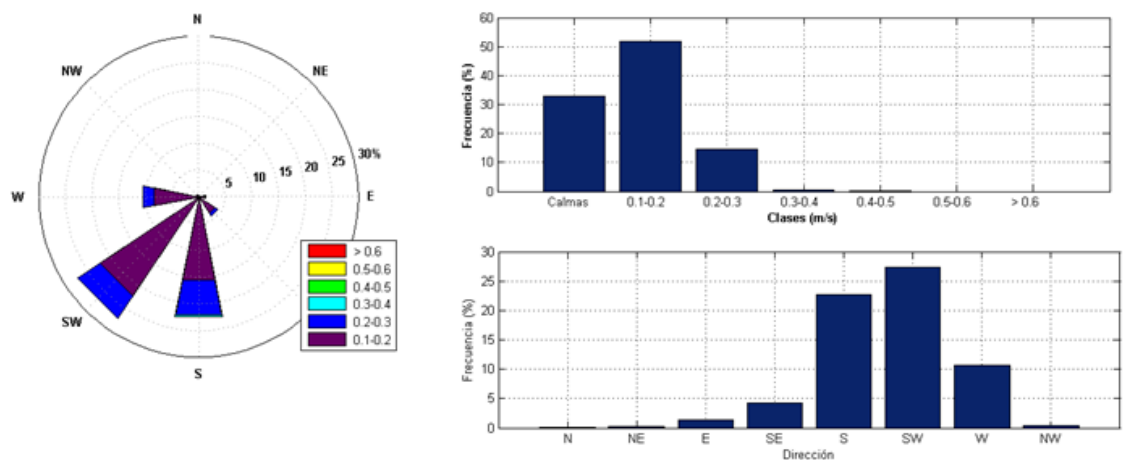


Figura 6.7.1 - 1: Rosa e histograma de frecuencia de corriente en el nivel superficial (32 m).

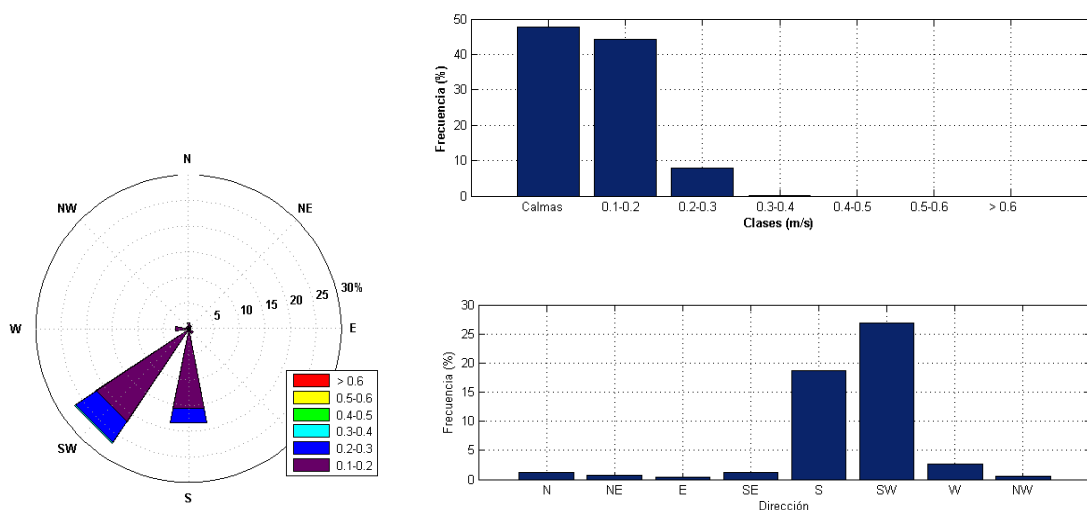


Figura 6.7.1 - 2: Rosa e histograma de frecuencia de corriente en el nivel intermedio (76 m).

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

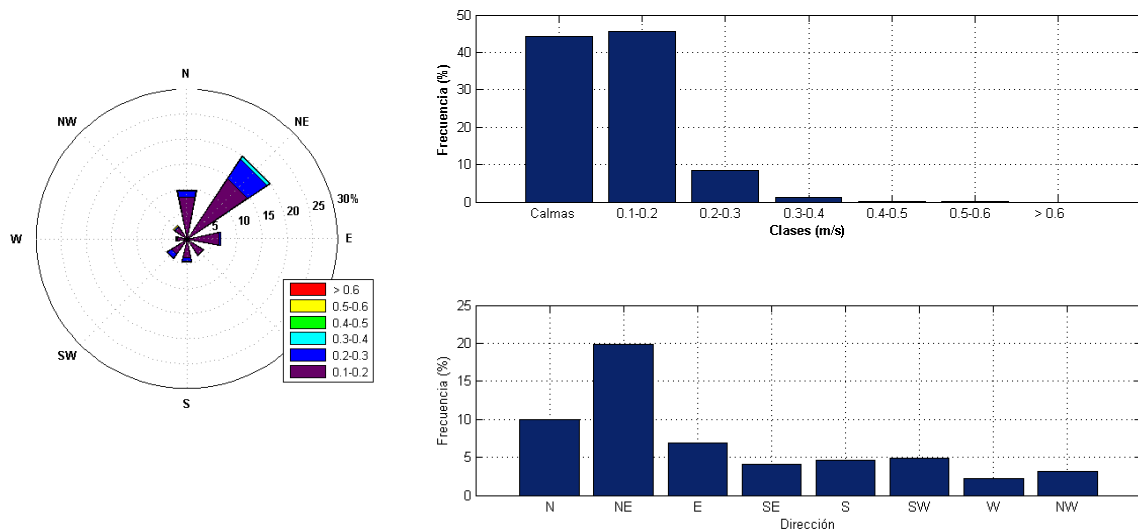


Figura 6.7.1 - 3: Rosa e histograma de frecuencia de corriente en el nivel profundo (120 m).

Los diagramas de vector progresivo (DVP) muestran la tendencia residual de la circulación a diferentes niveles de profundidad durante el período de medición. En el nivel superficial se evidenció una circulación residual hacia el primer cuadrante, mientras que en los niveles intermedio y profundo se observa una circulación residual hacia el tercer cuadrante. El mayor desplazamiento se presenta en el nivel profundo (302 km), mientras que para los niveles superficiales e intermedio el desplazamiento disminuye, llegando a los 129 km para el nivel superficial. La mayor velocidad residual (0,10 m/s) se registró en el nivel profundo, mientras que en el nivel intermedio y superficial la velocidad residual es menor, presentando un valor de 0,04 m/s, en el nivel superficial (Figuras 6.7.1 – 4 a 6.7.1 – 6).

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

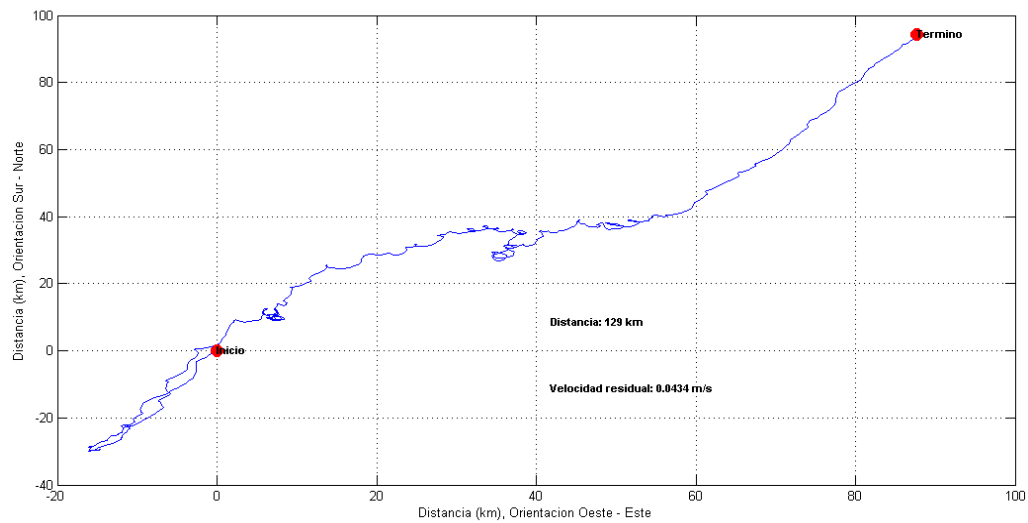


Figura 6.7.1 - 4: Diagrama de vector progresivo para la corriente registrada en el nivel superficial en la estación 1 (32 m).

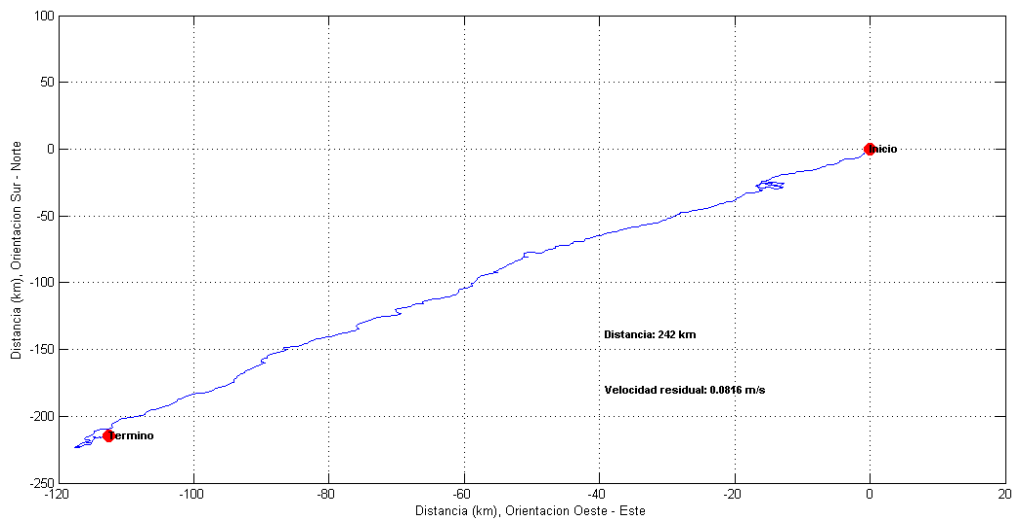


Figura 6.7.1 - 5: Diagrama de vector progresivo para la corriente registrada en el nivel intermedio en la estación 1 (76 m).

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

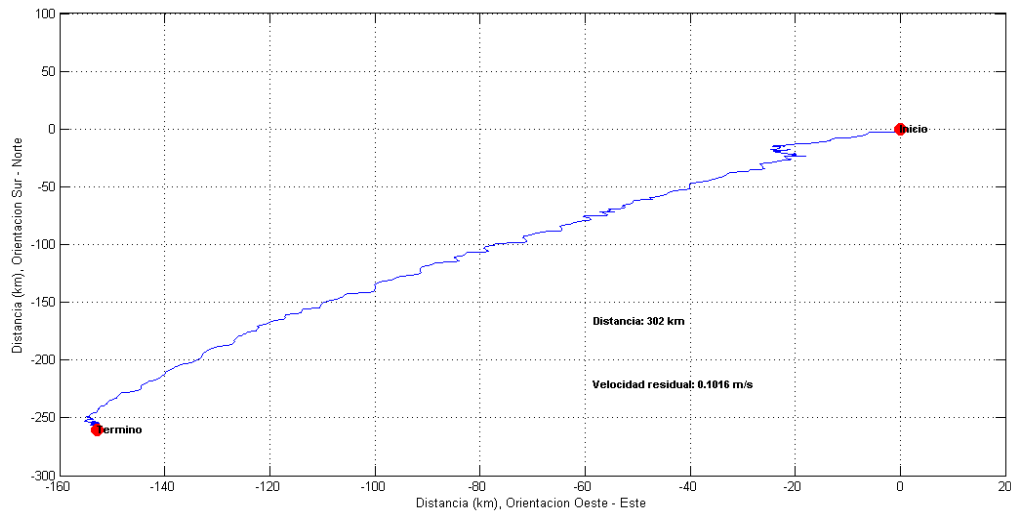


Figura 6.7.1 - 6: Diagrama de vector progresivo para la corriente registrada en el nivel profundo en la estación 1 (120 m).

- ESTACIÓN 2 (ADCP 2 VERANO)**

La Tabla 6.7.1 - 5 muestra los estadísticos descriptivos (media, máximo, mínimo, varianza y desviación estándar) de las series temporales de la corriente (capas 1, 5 y 9). La máxima magnitud de la corriente (0,51 m/s) se registró en la capa superficial (10 m).

Tabla 6.7.1 - 5: Estadística básica para la magnitud y componentes U-V de la corriente, registrada en la estación 2 (ADCP 2).

Estadístico	Capa 1			Capa 5			Capa 9		
	Magnitud	Componente u	Componente v	Magnitud	Componente u	Componente v	Magnitud	Componente u	Componente v
	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
Promedio	0,13	0,02	0,06	0,09	0,02	0,04	0,08	0,01	0,01
Máximo	0,51	0,35	0,47	0,38	0,29	0,34	0,33	0,20	0,32
Mínimo	0,00	-0,18	-0,35	0,00	-0,17	-0,21	0,00	-0,20	-0,26
Varianza	0,007	0,006	0,014	0,003	0,004	0,006	0,002	0,003	0,004

La distribución de frecuencias de la magnitud de la corriente (Tablas 6.7.1 – 6 a 6.7.1 - 8) indica que en general para todos los niveles predominan corrientes de baja intensidad (menores a 0,20 m/s, incluyendo las calmas) abarcando más del 82% de los registros. Se registraron corrientes superiores a 0,20 m/s, representando un 17,5% de los datos para el nivel superficial.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

Tabla 6.7.1 - 6: Frecuencia de incidencia de la corriente registrada en la estación 2 (ADCP 2-superficie) en superficie (10 m).

Direcciones	Frecuencia de Incidencia de Corrientes						Total	Dirección	Velocidad
	Velocidad (m/s)								(m/s)
	0,10 - 0,20	0,20 - 0,30	0,30 - 0,40	0,40 - 0,50	0,50 - 0,60	>0,60		Media	Media
N	11,8	6,9	2,1	0,6	0,0	0,0	21,5	3,3	0,18
NE	8,9	3,9	1,5	0,3	0,0	0,0	14,7	41,7	0,16
E	4,7	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	5,4	87,1	0,11
SE	2,8	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3	135,4	0,10
S	3,9	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	4,7	181,4	0,11
SW	2,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	221,7	0,09
W	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	270,8	0,08
NW	3,5	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8	318,8	0,10
Total efectivo	40,9	13,0	3,7	0,9	0,0	0,0	58,6		
						Calmas	41,4		
						Total	100,0		

Tabla 6.7.1 - 7: Frecuencia de incidencia de la corriente registrada en la estación 2 (ADCP 2-superficie) en nivel intermedio (26 m).

Direcciones	Frecuencia de Incidencia de Corrientes						Total	Dirección	Velocidad
	Velocidad (m/s)								(m/s)
	0,10 - 0,20	0,20 - 0,30	0,30 - 0,40	0,40 - 0,50	0,50 - 0,60	>0,60		Media	Media
N	9,4	1,7	0,2	0,0	0,0	0,0	11,3	2,6	0,11
NE	9,5	2,7	0,2	0,0	0,0	0,0	12,5	42,8	0,12
E	5,1	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6	89,7	0,09
SE	2,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	133,2	0,08
S	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	179,1	0,07
SW	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	224,3	0,06
W	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	272,7	0,06
NW	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	316,8	0,07
Total efectivo	30,8	5,2	0,4	0,0	0,0	0,0	36,5		
						Calmas	63,5		
						Total	100,0		

Tabla 6.7.1 - 8: Frecuencia de incidencia de la corriente registrada en la estación 2 (ADCP 2-superficie) en nivel profundo (42 m).

Direcciones	Frecuencia de Incidencia de Corrientes						Total	Dirección	Velocidad
	Velocidad (m/s)								(m/s)
	0,10 - 0,20	0,20 - 0,30	0,30 - 0,40	0,40 - 0,50	0,50 - 0,60	>0,60		Media	Media
N	4,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	2,1	0,08
NE	7,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	7,4	42,4	0,09
E	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,6	89,4	0,08
SE	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2	135,4	0,08
S	2,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	179,2	0,08
SW	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	225,9	0,07
W	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	269,4	0,06
NW	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	316,7	0,07
Total efectivo	26,5	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	27,2		
						Calmas	72,8		
						Total	100,0		

A nivel superficial, la corriente predominante fluyó hacia el norte, abarcando en conjunto un 21,4% de los datos; las direcciones presentan una variación con respecto al aumento de profundidad, predominando la dirección NE para los niveles intermedio y profundo, lo se puede apreciar en las rosas de direcciones. En general, se puede apreciar una tendencia de las corrientes hacia el primer y segundo cuadrante a nivel superficial, intermedio y profundo (Figuras 6.7.1 – 7 a 6.7.1 – 9).

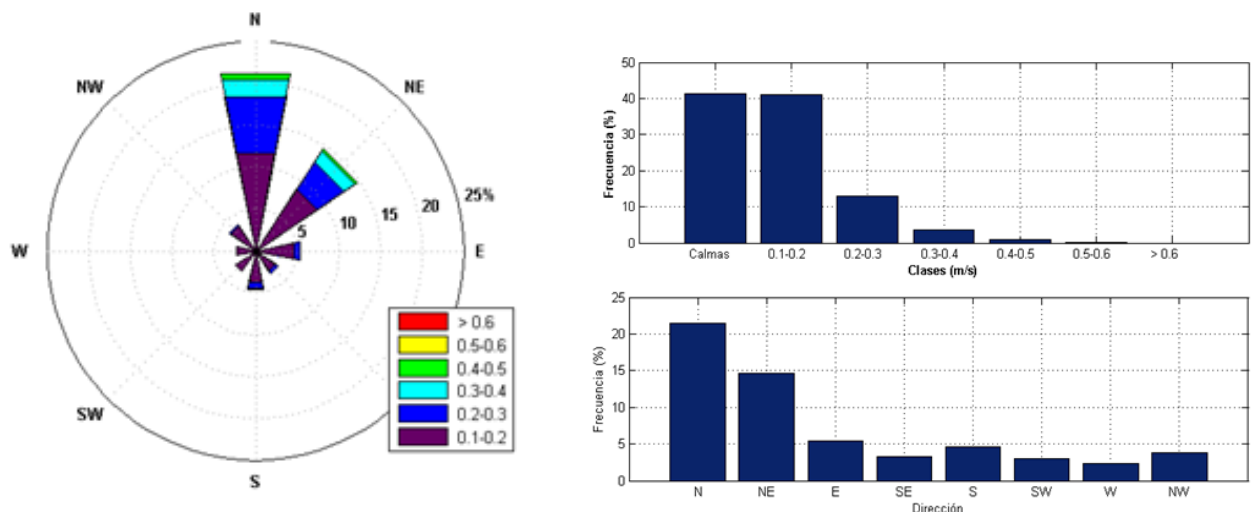


Figura 6.7.1 - 7: Rosa e histograma de frecuencia de corriente en el nivel superficial (10 m).

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

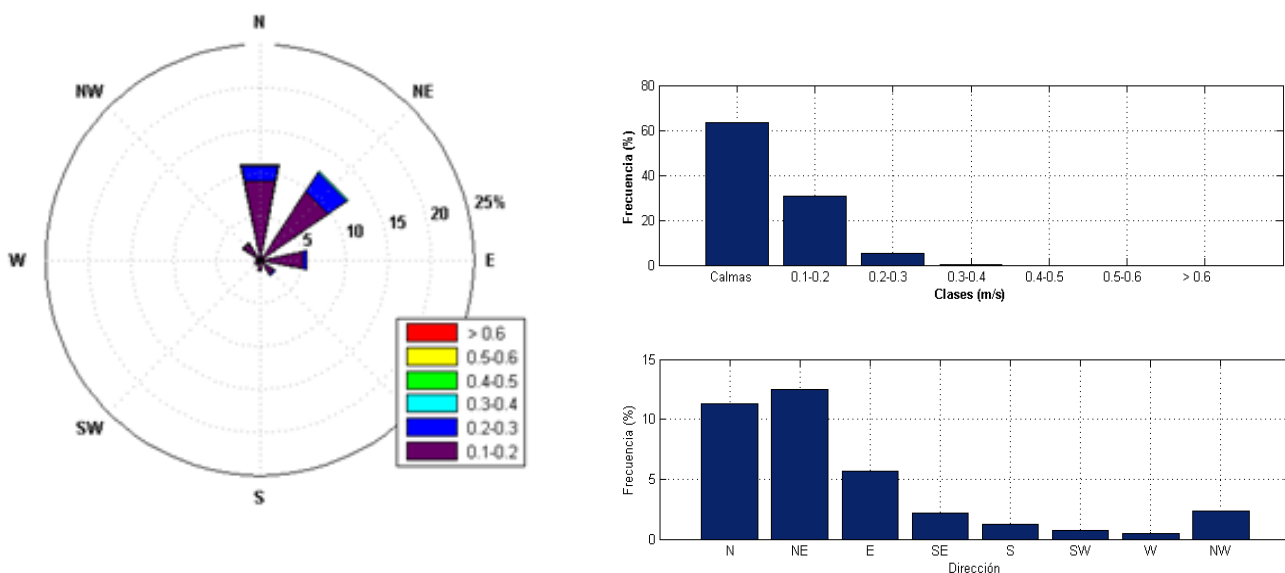


Figura 6.7.1 - 8: Rosa e histograma de frecuencia de corriente en el nivel intermedio (26 m).

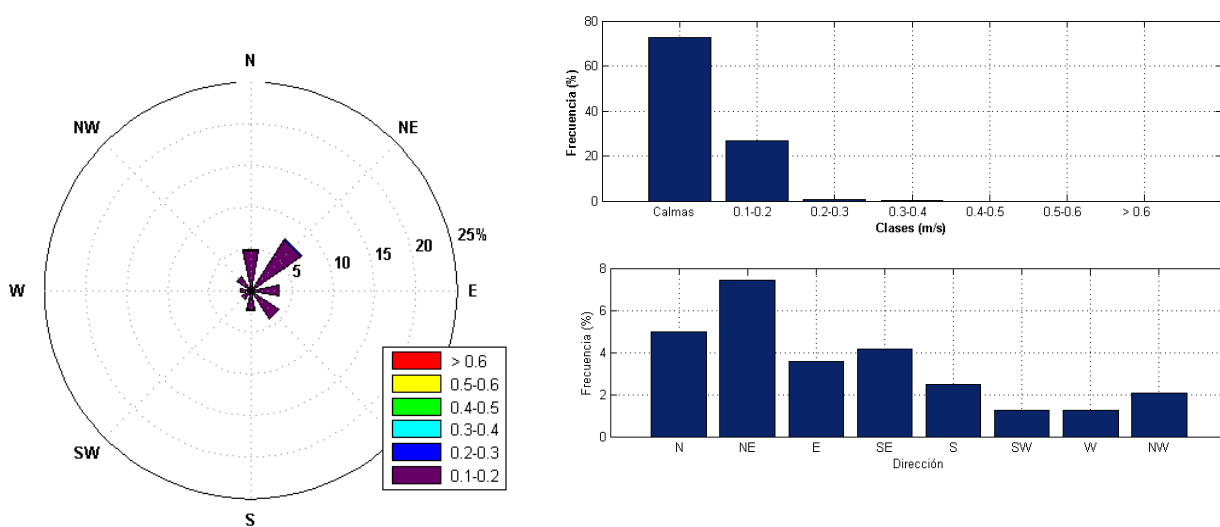


Figura 6.7.1 - 9: Rosa e histograma de frecuencia de corriente en el nivel profundo (42 m).

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

Los diagramas de vector progresivo (DVP; Figuras 6.7.1 – 10 a 6.7.1 - 12) muestran la tendencia residual de la circulación a diferentes niveles de profundidad durante el período de medición. En el nivel superficial, intermedio y profundo se evidenció una circulación residual hacia el primer cuadrante, presentando mayor desplazamiento (182 km) en el nivel superficial, disminuyendo conforme aumenta la profundidad de análisis (nivel intermedio y profundo), hasta llegar a 55 km a los 42 m de profundidad. Las mayores velocidades residuales (0,06 m/s) se registraron en superficie y disminuyeron conforme aumenta la profundidad (0,02 m/s).

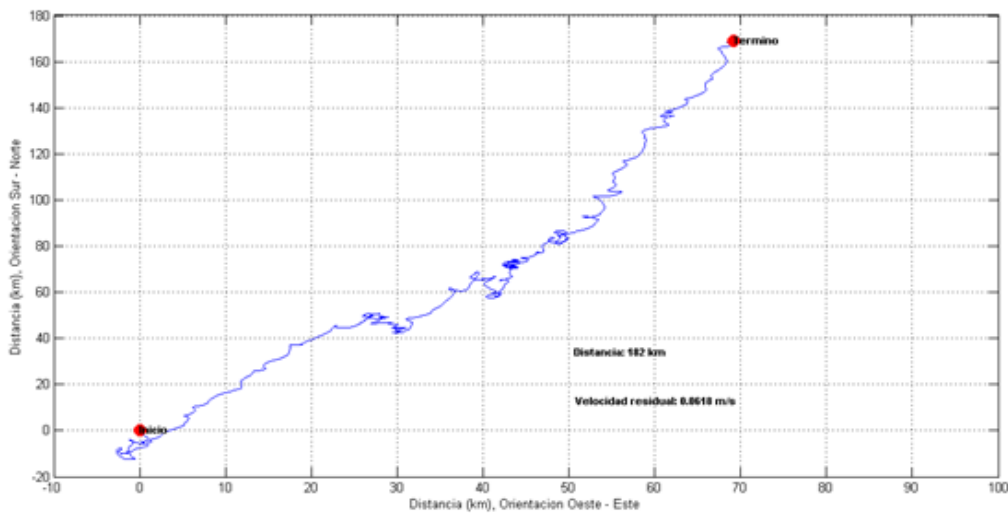


Figura 6.7.1 - 10: Diagrama de vector progresivo para la corriente registrada en el nivel superficial en la estación 2 (ADCP 2) (10 m).

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

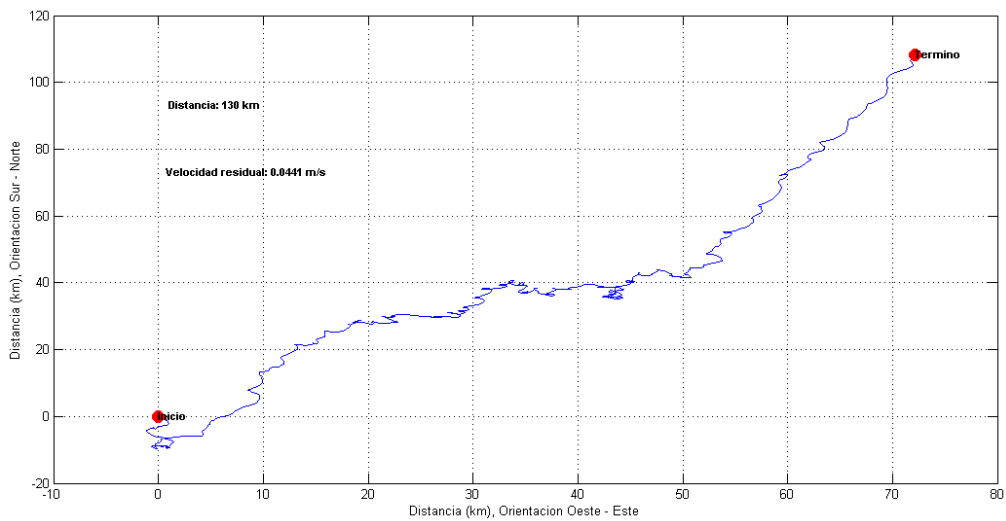


Figura 6.7.1 - 11: Diagrama de vector progresivo para la corriente registrada en el nivel intermedio en la estación 2 (ADCP 2) (26 m).

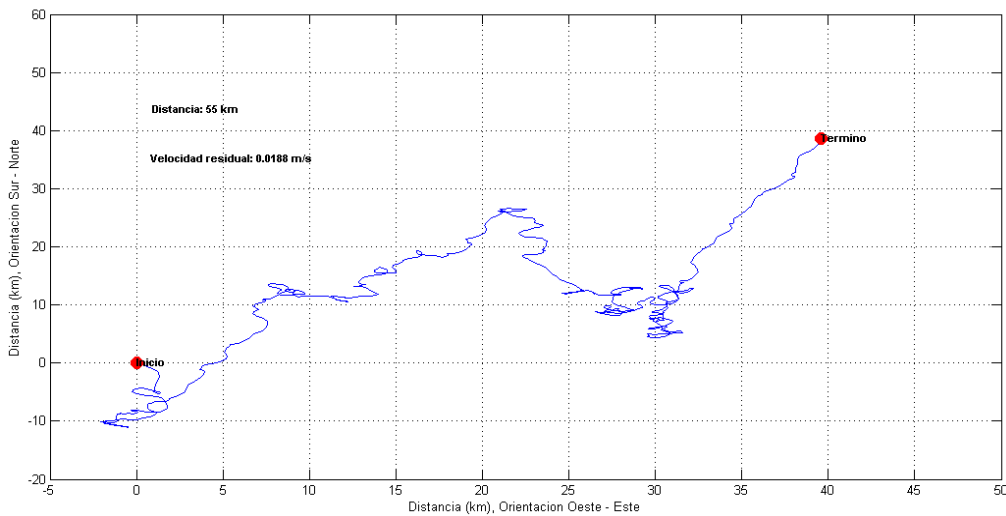


Figura 6.7.1 - 12: Diagrama de vector progresivo para la corriente registrada en el nivel profundo en la estación 2 (ADCP 2) (42 m).

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

• **ESTACIÓN 3 (ADCP 3 - VERANO)**

La Tabla 6.7.1 - 9 muestra los estadísticos descriptivos (media, máximo, mínimo, varianza y desviación estándar) de las series temporales de la corriente (capas 14, 7 y 1). La máxima magnitud de la corriente (0,27 m/s), se registró en la capa superficial.

Tabla 6.7.1 - 9: Estadística básica de corriente registrada en estación 3.

Estadístico	Capa 1			Capa 7			Capa 14		
	Magnitud	Componente u	Componente v	Magnitud	Componente u	Componente v	Magnitud	Componente u	Componente v
	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
Promedio	0,04	-0,01	0,00	0,04	0,00	-0,01	0,06	0,02	-0,01
Máximo	0,23	0,20	0,15	0,21	0,20	0,12	0,27	0,25	0,16
Mínimo	0,00	-0,22	-0,10	0,00	-0,17	-0,15	0,00	-0,17	-0,20
Varianza	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,003	0,001

La distribución de frecuencias de magnitud de la corriente (Tablas 6.7.1 – 10 a 6.7.1 - 12) indica que para todos los niveles predominan corrientes de baja magnitud (menores a 0,20 m/s, incluyendo las calmas) abarcando más del 99% de los registros. Para el nivel superficial, se registraron corrientes superiores a 0,20 m/s, representando un 0,5% de los datos.

Tabla 6.7.1 - 10: Frecuencia de incidencia de corriente registrada en estación 3 en superficie (3 m).

Direcciones	Frecuencia de Incidencia de Corrientes						Total	Dirección	Velocidad
	Velocidad (m/s)								(m/s)
	0,10 - 0,20	0,20 - 0,30	0,30 - 0,40	0,40 - 0,50	0,50 - 0,60	>0,60		Media	Media
N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,03
NE	3,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	52,4	0,08
E	5,7	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	5,9	87,4	0,07
SE	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	132,6	0,05
S	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	181,7	0,05
SW	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	225,3	0,06
W	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	264,4	0,04
NW	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	313,8	0,03
Total efectivo	12,9	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	13,4		
						Calmas	86,6		
						Total	100,0		

Tabla 6.7.1 - 11: Frecuencia de incidencia de corriente registrada en estación 3 en nivel intermedio (10 m).

Direcciones	Frecuencia de Incidencia de Corrientes						Total	Dirección	Velocidad
	Velocidad (m/s)								(m/s)
	0,10 - 0,20	0,20 - 0,30	0,30 - 0,40	0,40 - 0,50	0,50 - 0,60	>0,60		Media	Media
N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,02
NE	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	47,3	0,04
E	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	87,7	0,03
SE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	135,7	0,03
S	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	182,9	0,04
SW	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	224,3	0,05
W	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	266,1	0,03
NW	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	314,3	0,02
Total efectivo	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3		
						Calmas	96,7		
						Total	100,0		

Tabla 6.7.1 - 12: Frecuencia de incidencia de corriente registrada en estación 3 en nivel profundo (16 m).

Direcciones	Frecuencia de Incidencia de Corrientes						Total	Dirección	Velocidad
	Velocidad (m/s)								(m/s)
	0,10 - 0,20	0,20 - 0,30	0,30 - 0,40	0,40 - 0,50	0,50 - 0,60	>0,60		Media	Media
N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	0,03
NE	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	46,5	0,05
E	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	84,6	0,04
SE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	131,7	0,02
S	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	181,0	0,02
SW	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	231,7	0,04
W	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	267,6	0,05
NW	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	310,8	0,03
Total efectivo	4,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0		
						Calmas	95,0		
						Total	100,0		

La dirección predominante de las corrientes para el sector, fue la dirección E para el nivel superficial; para el nivel intermedio la dirección predominante es la SW, mientras que para el nivel profundo la dirección predominante es la W, lo que se puede apreciar en las rosas de direcciones (Figuras 6.7.1 – 13 a 6.7.1 – 15). En general se puede ver una tendencia en las corrientes a fluir hacia el primer cuadrante a nivel superficial y hacia el tercer cuadrante a nivel intermedio y profundo.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

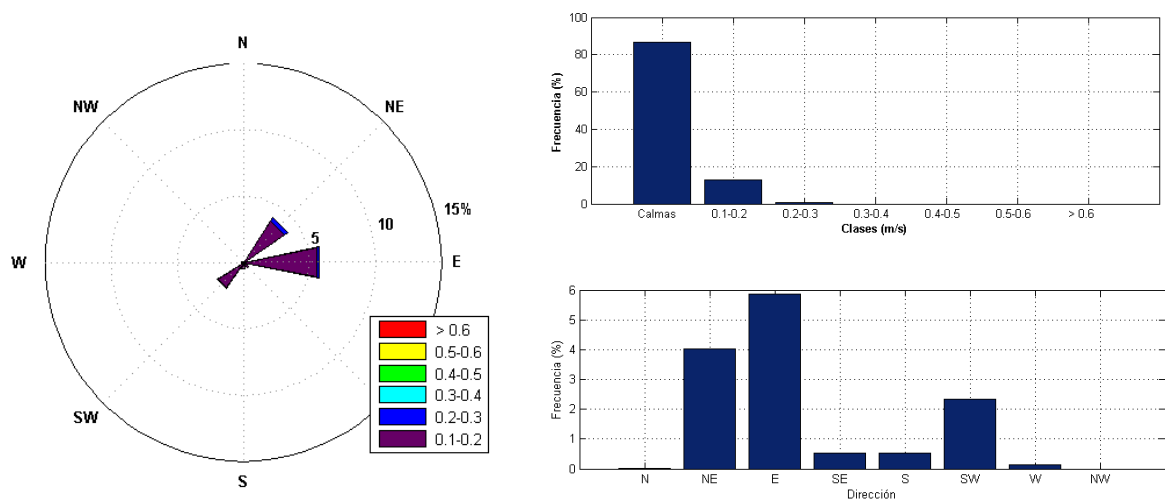


Figura 6.7.1 - 13: Rosa e histograma de frecuencia de corriente en el nivel superficial (3 m).

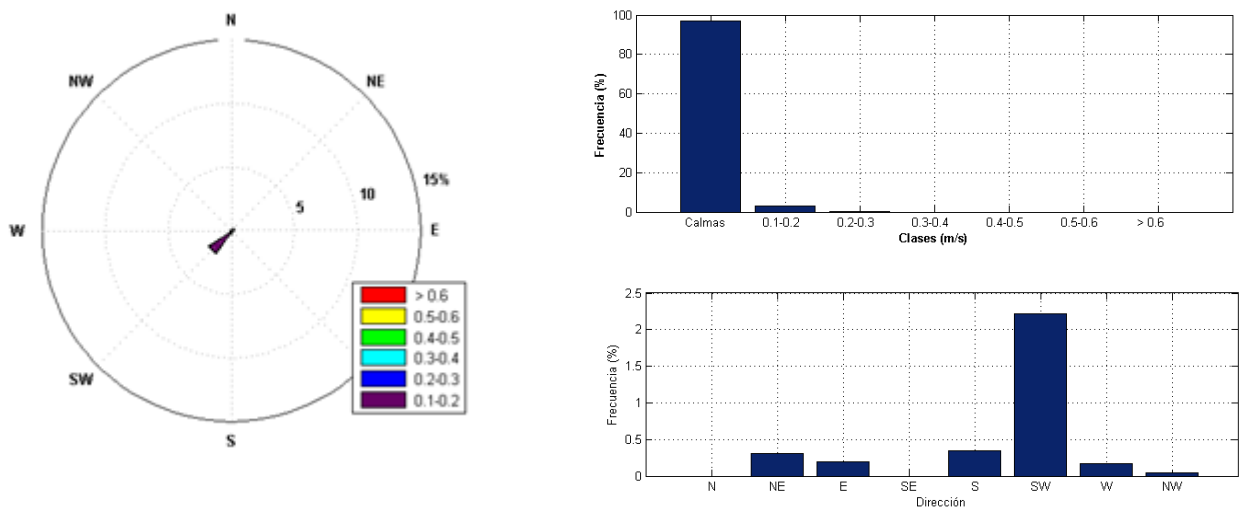


Figura 6.7.1 - 14: Rosa e histograma de frecuencia de corriente en nivel intermedio (10 m).

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

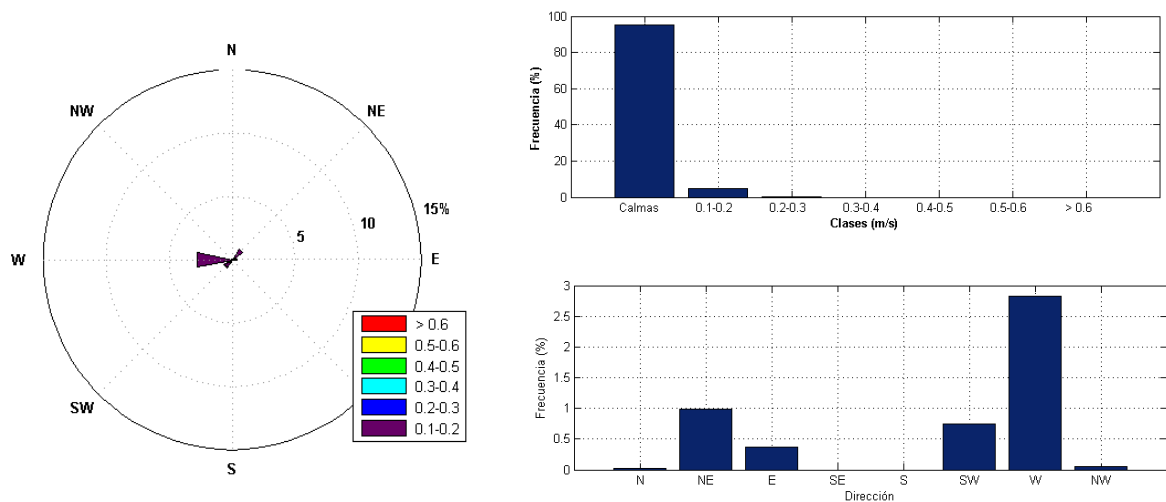


Figura 6.7.1 - 15: Rosa e histograma de frecuencia de corriente en el nivel profundo (16 m).

Los diagramas de vector progresivo (DVP; Figuras 6.7.1 – 16 a 6.7.1 – 18) muestran la tendencia residual de la circulación a diferentes niveles de profundidad durante el período de medición. En el nivel superficial, se evidenció una circulación residual hacia el segundo cuadrante, en el nivel intermedio se observa una circulación residual hacia el tercer cuadrante, mientras que en el nivel profundo se observa una circulación residual hacia el cuarto cuadrante. El mayor desplazamiento (69 km) se observa en el nivel superficial y disminuyendo conforme aumenta la profundidad de análisis (nivel intermedio y profundo), hasta llegar a 32 km en ambos niveles. Las mayores velocidades residuales (0,02 m/s) se registraron en superficie y disminuyeron conforme aumenta la profundidad (0,01 m/s), valor observado en el nivel profundo.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

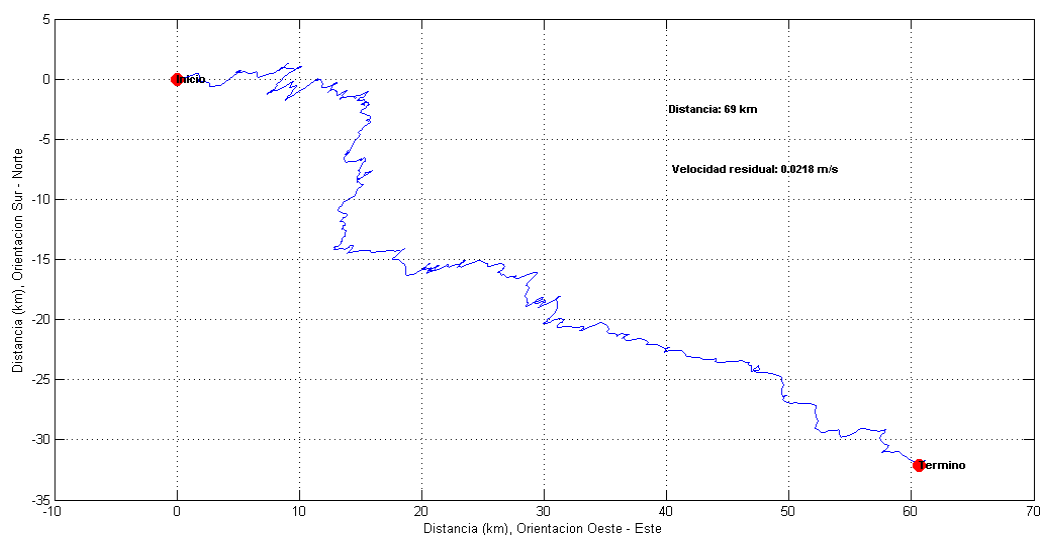


Figura 6.7.1 - 16: Diagrama de vector progresivo para la corriente registrada en el nivel superficial en la estación 3 (3 m).

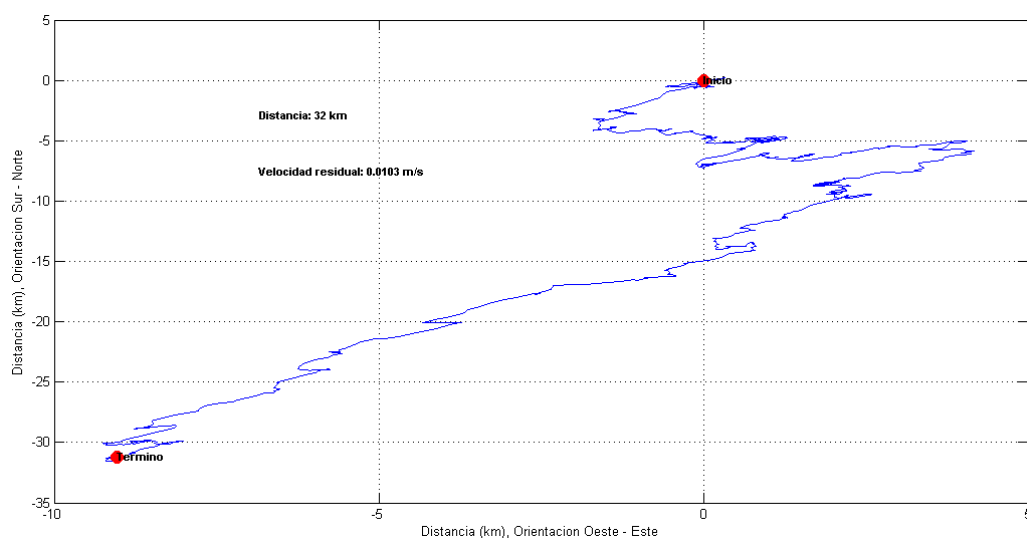


Figura 6.7.1 - 17: Diagrama de vector progresivo para la corriente registrada en el nivel intermedio en la estación 3 (10 m).

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

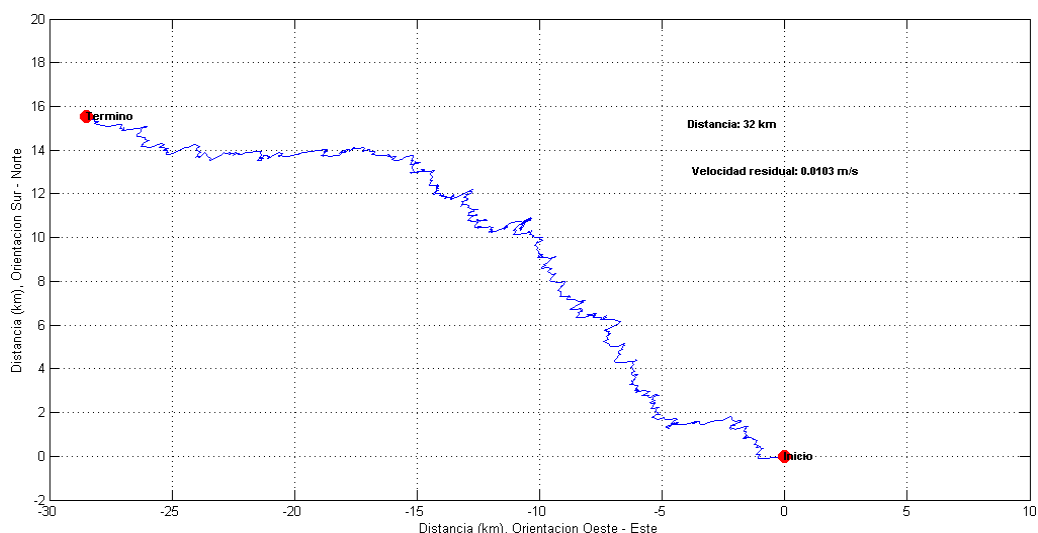


Figura 6.7.1 - 18: Diagrama de vector progresivo para la corriente registrada en el nivel profundo en la estación 3 (16 m).

6.7.2 RESULTADOS CAMPAÑA DE INVIERNO

- ESTACIÓN 1 (ADCP 1 - INVIERNO)

La Tabla 6.7.2 - 1 muestra los estadísticos descriptivos (media, máximo, mínimo, varianza, y desviación estándar) de las series temporales de la corriente (capas 28, 14 y 1). La máxima magnitud (1,95 m/s) se registró en la capa superficial (11 m).

Tabla 6.7.2 - 1: Estadística básica de corriente registrada en la estación 1 (ADCP 1).

Estadístico	Capa 1			Capa 14			Capa 28		
	Magnitud m/s	U	V	Magnitud m/s	U	V	Magnitud m/s	U	V
Promedio	0,12	-0,03	-0,10	0,16	-0,05	-0,14	0,19	0,04	-0,03
Máximo	0,51	0,21	0,15	0,61	0,16	0,52	1,95	1,78	1,54
Mínimo	0,00	-0,25	-0,51	0,00	-0,33	-0,60	0,00	-1,13	-1,73
Varianza	0,000	0,000	0,010	0,010	0,000	0,010	0,040	0,040	0,040

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

La distribución de frecuencias de magnitud de la corriente (Tablas 6.7.2 – 2 a 6.7.2 - 4) indica que en general para todos los niveles predominan corrientes de baja magnitud (menores a 0,20 m/s, incluyendo las calmas) abarcando más del 70% de los registros. En los tres niveles analizados se registraron corrientes superiores a 0,20 m/s, representando un 28% de los datos en el nivel intermedio.

Tabla 6.7.2 - 2: Frecuencia de incidencia de la corriente registrada en la estación 1 en superficie (11 m).

Direcciones	Frecuencia de Incidencia de Corrientes						Total	Dirección	Velocidad
	Velocidad (m/s)								(m/s)
	0,10 - 0,20	0,20 - 0,30	0,30 - 0,40	0,40 - 0,50	0,50 - 0,60	>0,60		Media	Media
N	4,4	1,4	0,4	0,2	0,1	0,2	6,7	0,6	0,16
NE	4,7	2,0	0,7	0,3	0,1	1,0	8,8	45,8	0,22
E	5,2	1,8	0,7	0,4	0,5	1,1	9,7	89,2	0,23
SE	4,7	1,7	0,5	0,5	0,2	1,2	8,8	134,9	0,24
S	8,0	3,2	0,6	0,3	0,3	0,6	13,0	181,1	0,19
SW	8,2	3,2	0,5	0,3	0,1	0,2	12,5	222,3	0,16
W	3,2	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	4,1	267,5	0,13
NW	3,2	0,3	0,2	0,1	0,0	0,1	3,9	315,8	0,12
Total efectivo	41,6	13,9	3,8	2,2	1,4	4,6	67,5		
						Calmas	32,5		
						Total	100,0		

Tabla 6.7.2 - 3: Frecuencia de incidencia de la corriente registrada en la estación 1 en nivel intermedio (67 m).

Direcciones	Frecuencia de Incidencia de Corrientes						Total	Dirección	Velocidad
	Velocidad (m/s)								(m/s)
	0,10 - 0,20	0,20 - 0,30	0,30 - 0,40	0,40 - 0,50	0,50 - 0,60	>0,60		Media	Media
N	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	353,3	0,07
NE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	46,9	0,04
E	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	96,9	0,07
SE	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	141,3	0,08
S	24,6	12,1	2,7	1,0	0,2	0,0	40,6	187,0	0,18
SW	14,3	7,5	3,9	0,6	0,0	0,0	26,3	216,1	0,17
W	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	266,5	0,08
NW	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	314,2	0,07
Total efectivo	42,5	19,6	6,6	1,6	0,2	0,0	70,5		
						Calmas	29,5		
						Total	100,0		

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

Tabla 6.7.2 - 4: Frecuencia de incidencia de la corriente registrada en la estación 1 en el nivel profundo (119 m).

Direcciones	Frecuencia de Incidencia de Corrientes						Total	Dirección	Velocidad
	Velocidad (m/s)								(m/s)
	0,10 - 0,20	0,20 - 0,30	0,30 - 0,40	0,40 - 0,50	0,50 - 0,60	>0,60		Media	Media
N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,04
NE	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	46,4	0,06
E	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	91,8	0,06
SE	2,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	140,6	0,08
S	22,7	7,0	1,5	0,2	0,0	0,0	31,4	185,3	0,15
SW	18,4	3,9	0,2	0,0	0,0	0,0	22,5	219,4	0,13
W	2,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	265,6	0,08
NW	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	311,8	0,05
Total efectivo	46,2	11,1	1,7	0,2	0,0	0,0	59,2		
						Calmas	40,8		
						Total	100,0		

La dirección predominante de las corrientes fue la dirección S, abarcando una incidencia de 13,0% a nivel superficial, 40,6% a nivel intermedio y 31,4% a nivel profundo; las direcciones presentan una menor variabilidad a medida que aumenta la profundidad, predominando la dirección S para los tres niveles, lo que se puede apreciar en las rosas de direcciones (Figuras 6.7.2 – 1 a 6.7.2 - 3). En general se puede apreciar una tendencia de las corrientes hacia el segundo-tercer cuadrante en todos los niveles analizados.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

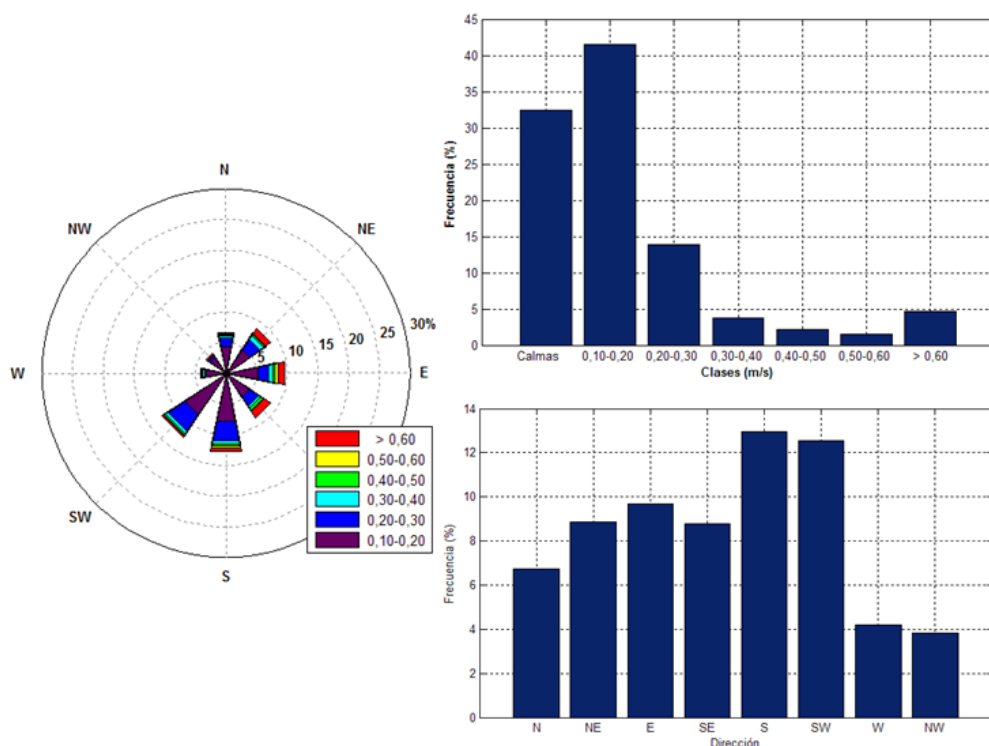


Figura 6.7.2 - 1: Rosa e histograma de frecuencia de corriente en el nivel superficial (11 m).

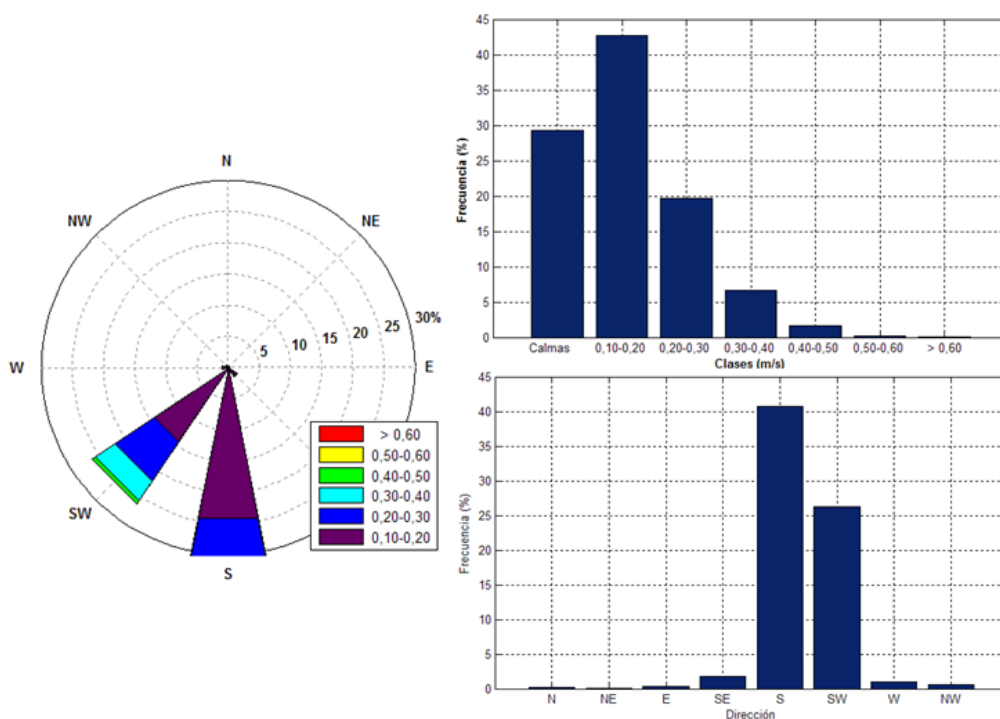


Figura 6.7.2 - 2: Rosa e histograma de frecuencia de corriente en el nivel intermedio (67 m).

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

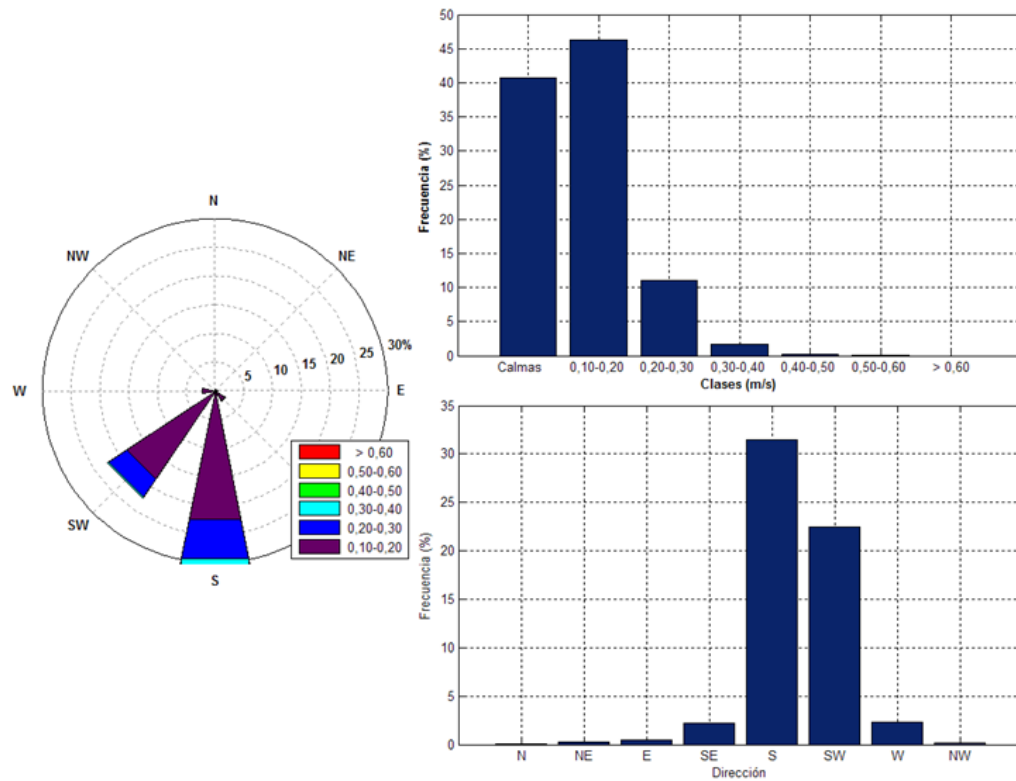


Figura 6.7.2 - 3: Rosa e histograma de frecuencia de corriente en el nivel profundo (119 m).

Los diagramas de vector progresivo (DVP; Figuras 6.7.2 – 4 a 6.7.2 - 6) muestran la tendencia residual de la circulación a diferentes niveles de profundidad durante el período de medición. En el nivel superficial, se evidenció una circulación residual hacia el segundo cuadrante, mientras que en los niveles intermedio y profundo se observa una circulación residual hacia el tercer cuadrante. El mayor desplazamiento se presenta en el nivel intermedio (875 km), mientras que el menor desplazamiento se presenta en el nivel superficial (288 km). La mayor velocidad residual (0,14 m/s) se registró en el nivel intermedio, mientras que en el nivel superficial la velocidad residual es la menor, presentando un valor de 0,05 m/s.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

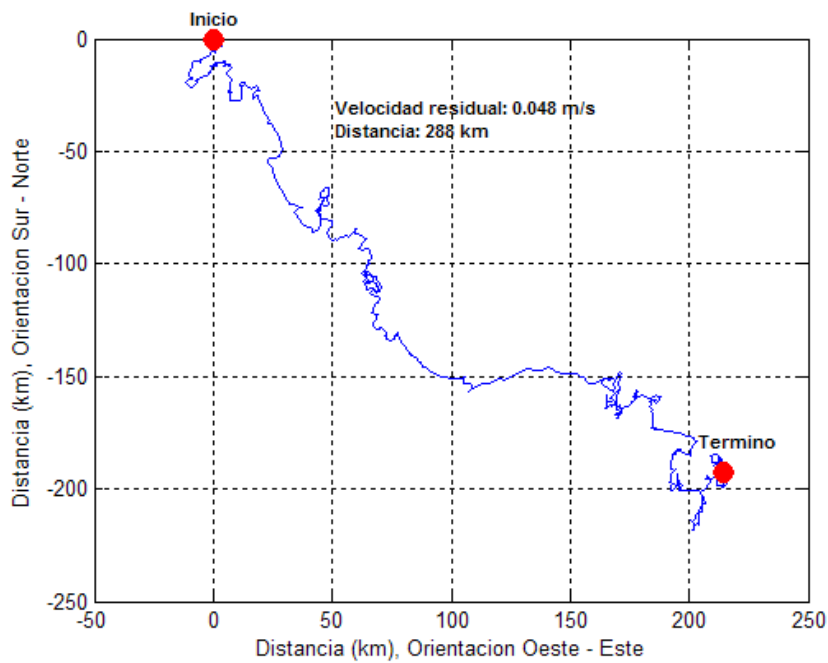


Figura 6.7.2 - 4: Diagrama de vector progresivo para la corriente registrada en el nivel superficial en la estación 1 (11 m).

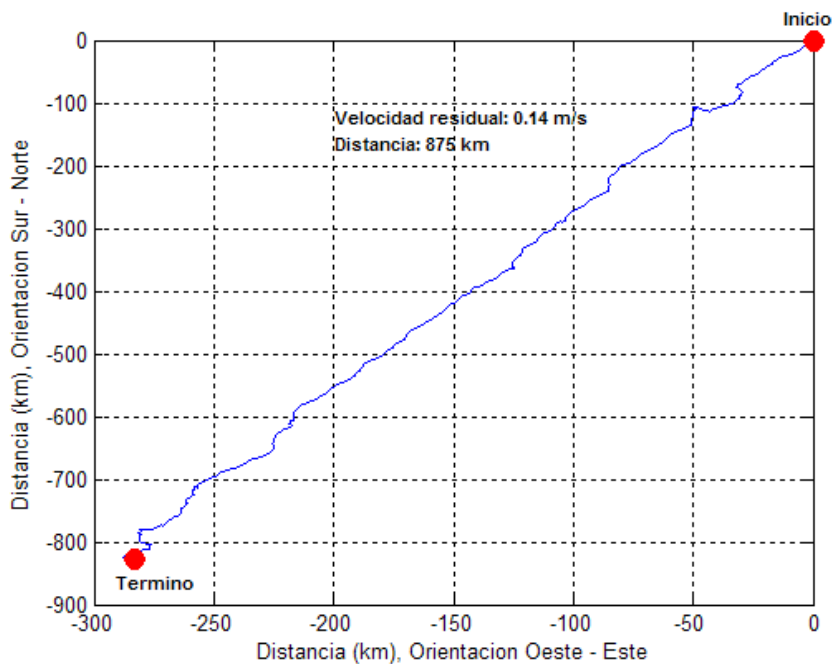


Figura 6.7.2 - 5: Diagrama de vector progresivo para la corriente registrada en el nivel intermedio en la estación 1 (67 m).

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

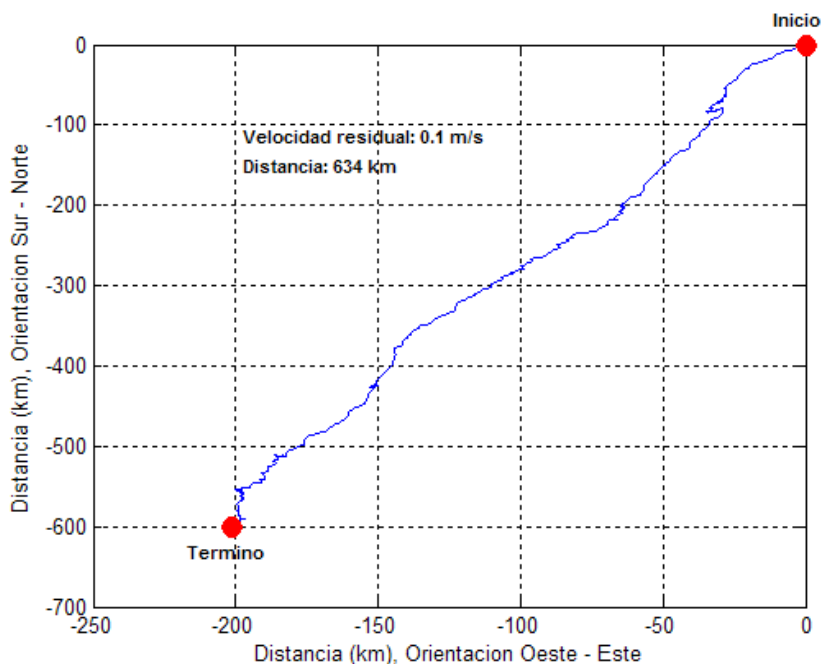


Figura 6.7.2 - 6: Diagrama de vector progresivo para la corriente registrada en el nivel profundo en la estación 1 (119 m).

ESTACIÓN 2 (ADCP 2 - INVIERNO)

La Tabla 6.7.2 - 5 muestra los estadísticos descriptivos (media, máximo, mínimo, varianza y desviación estándar) de las series temporales de la corriente (capas 1, 13 y 26). La máxima magnitud (1,47 m/s) se registró en la capa superficial (9 m).

Tabla 6.7.2 - 5: Estadística básica de corriente registrada en la estación 2 (ADCP 2).

Estadístico	Capa 1			Capa 13			Capa 26		
	Magnitud	U	V	Magnitud	U	V	Magnitud	U	V
	m/s			m/s			m/s		
Promedio	0,06	-0,01	-0,02	0,09	-0,01	-0,06	0,13	0,05	0,01
Máximo	0,26	0,20	0,18	0,52	0,16	0,24	1,47	1,45	0,49
Mínimo	0,00	-0,24	-0,23	0,00	-0,21	-0,51	0,00	-0,38	-0,86
Varianza	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
Desv. Estándar	0,04	0,04	0,05	0,06	0,04	0,08	0,08	0,10	0,10

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

La distribución de frecuencias de la magnitud de la corriente (Tablas 6.7.2 – 6 a 6.7.2 – 8) indica que en general para todos los niveles predominan corrientes de baja intensidad (menores a 0,20 m/s, incluyendo las calmas) abarcando más del 85% de los registros. En los tres niveles considerados se registraron corrientes superiores a 0,20 m/s, siendo mayor la incidencia en superficie (14,9%).

Tabla 6.7.2 - 6: Frecuencia de incidencia de la corriente registrada en la estación 2 (ADCP 2) en superficie (9 m).

Direcciones	Frecuencia de Incidencia de Corrientes						Total	Dirección	Velocidad
	Velocidad (m/s)							Media	(m/s)
	0,10 - 0,20	0,20 - 0,30	0,30 - 0,40	0,40 - 0,50	0,50 - 0,60	>0,60			Media
N	3,6	0,8	0,1	0,0	0,0	0,0	4,5	5,2	0,11
NE	13,5	6,0	1,5	0,3	0,1	0,0	21,4	47,2	0,16
E	8,9	1,9	0,4	0,1	0,0	0,1	11,4	86,8	0,13
SE	3,9	0,5	0,1	0,0	0,0	0,1	4,6	134,7	0,11
S	5,7	1,4	0,2	0,0	0,0	0,0	7,3	180,6	0,12
SW	4,8	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	5,8	222,3	0,12
W	1,4	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	1,6	266,6	0,09
NW	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	315,3	0,08
Total efectivo	42,4	11,7	2,5	0,4	0,1	0,2	57,3		
						Calmas	42,7		
						Total	100,0		

Tabla 6.7.2 - 7: Frecuencia de incidencia de la corriente registrada en la estación 2 (ADCP) en nivel intermedio (61 m).

Direcciones	Frecuencia de Incidencia de Corrientes						Total	Dirección	Velocidad
	Velocidad (m/s)								(m/s)
	0,10 - 0,20	0,20 - 0,30	0,30 - 0,40	0,40 - 0,50	0,50 - 0,60	>0,60		Media	Media
N	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	359,6	0,06
NE	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	44,0	0,05
E	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	91,5	0,05
SE	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	140,3	0,06
S	16,1	3,9	0,4	0,0	0,0	0,0	20,4	182,5	0,12
SW	6,2	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	220,5	0,09
W	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	268,1	0,07
NW	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	313,6	0,06
Total efectivo	27,9	4,5	0,4	0,0	0,0	0,0	32,8		
						Calmas	67,2		
						Total	100,0		

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

Tabla 6.7.2 - 8: Frecuencia de incidencia de la corriente registrada en la estación 2 (ADCP) en nivel profundo (109 m).

Direcciones	Frecuencia de Incidencia de Corrientes						Total	Dirección	Velocidad
	Velocidad (m/s)								(m/s)
	0,10 - 0,20	0,20 - 0,30	0,30 - 0,40	0,40 - 0,50	0,50 - 0,60	>0,60		Media	Media
N	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	359,0	0,05
NE	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	44,6	0,06
E	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	90,6	0,06
SE	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	137,7	0,07
S	5,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	5,2	180,6	0,07
SW	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	222,4	0,06
W	1,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	270,6	0,06
NW	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	314,3	0,06
Total efectivo	13,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	14,0		
						Calmas	86,0		
						Total	100,0		

A nivel superficial, la corriente fluyó predominante hacia el NE abarcando en conjunto un 21,4% de los datos; las direcciones presentan una variación con respecto al aumento de profundidad, predominando la dirección S para los niveles intermedio y profundo, esto se puede apreciar en las rosas de direcciones (Figuras 6.7.2 – 7 a 6.7.2 – 9). En general, se puede apreciar una tendencia de las corrientes hacia el primer cuadrante a nivel superficial, y hacia el tercer cuadrante a nivel intermedio y profundo.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

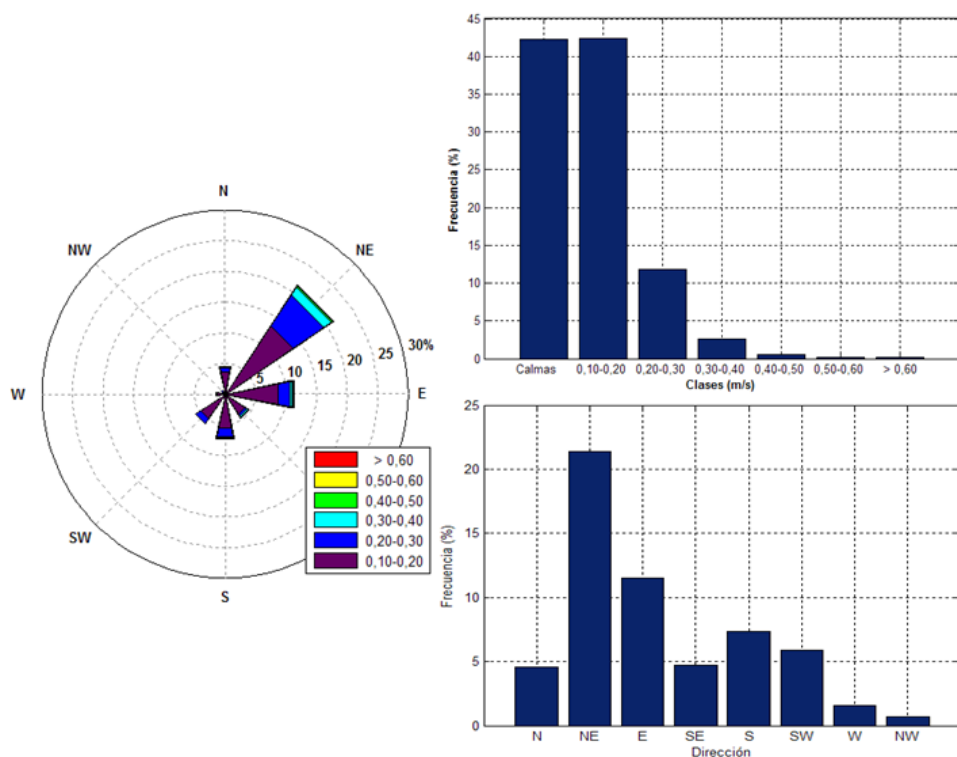


Figura 6.7.2 - 7: Rosa e histograma de frecuencia de corriente en el nivel superficial (9 m).

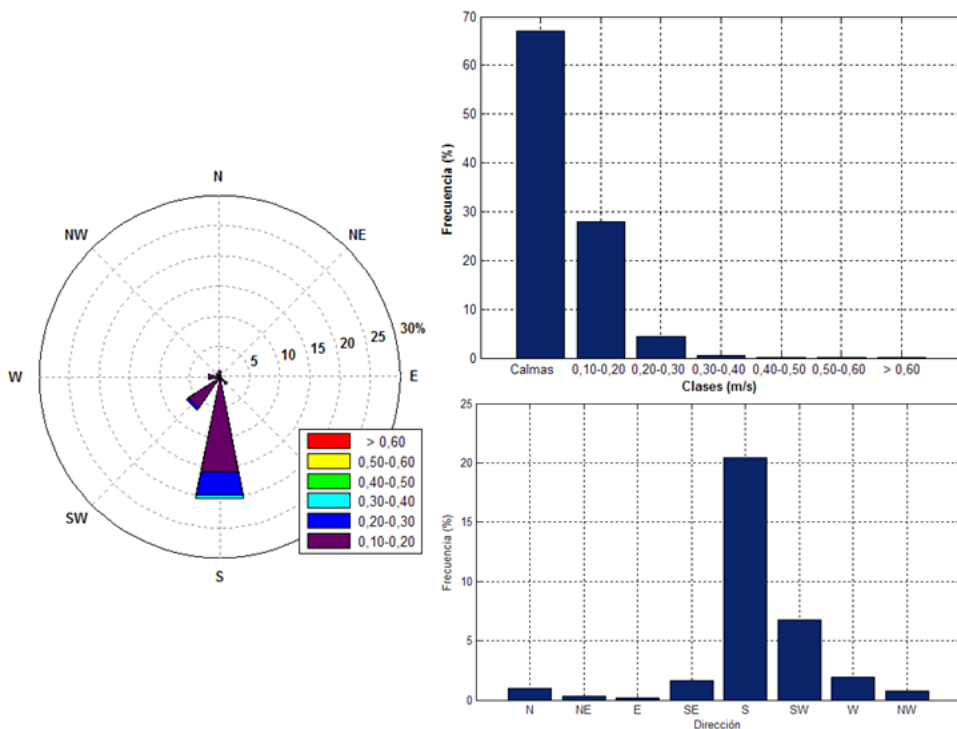


Figura 6.7.2 - 8: Rosa e histograma de frecuencia de corriente en el nivel intermedio (61 m).

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

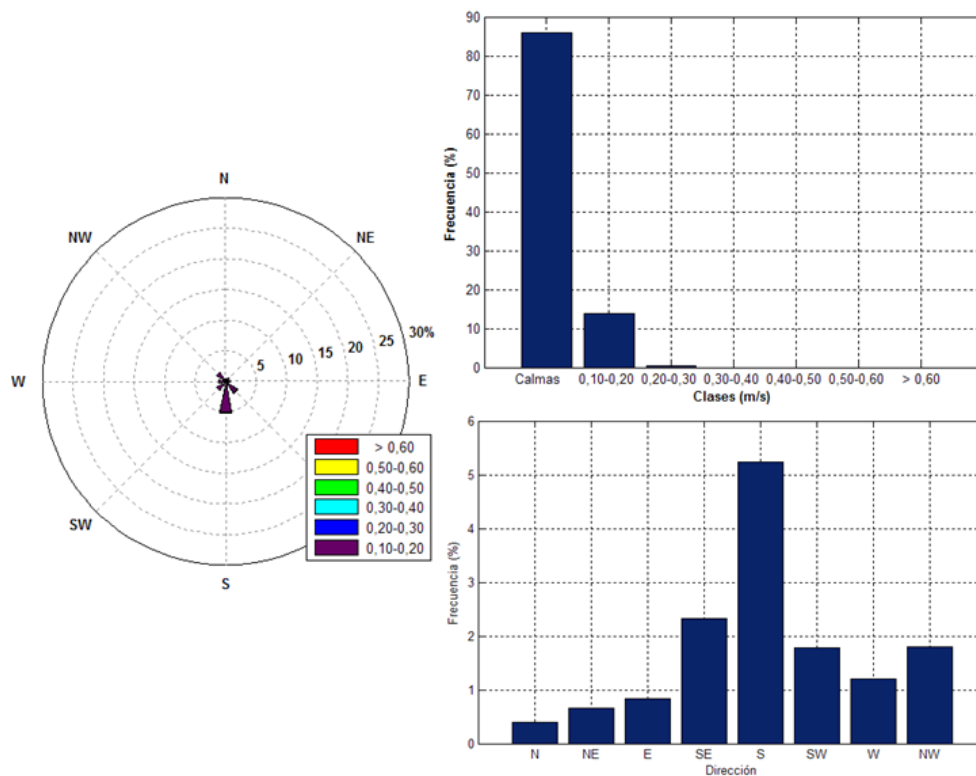


Figura 6.7.2 - 9: Rosa e histograma de frecuencia de corriente en el nivel profundo (109 m).

Los diagramas de vector progresivo (DVP; Figuras 6.7.2 – 10 a 6.7.2 - 12) muestran la tendencia residual de la circulación a diferentes niveles de profundidad durante el período de medición. En el nivel superficial, se evidenció una circulación hacia el primer cuadrante; en cambio, en el nivel intermedio y profundo se evidenció una circulación residual hacia el tercer cuadrante, presentando un mayor desplazamiento (348 km) en el nivel intermedio, hasta llegar a 125 km a nivel profundo. Las mayores velocidades residuales (0,07 m/s) se registraron en nivel intermedio y la menor velocidad se registró a nivel profundo (0,02 m/s).

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

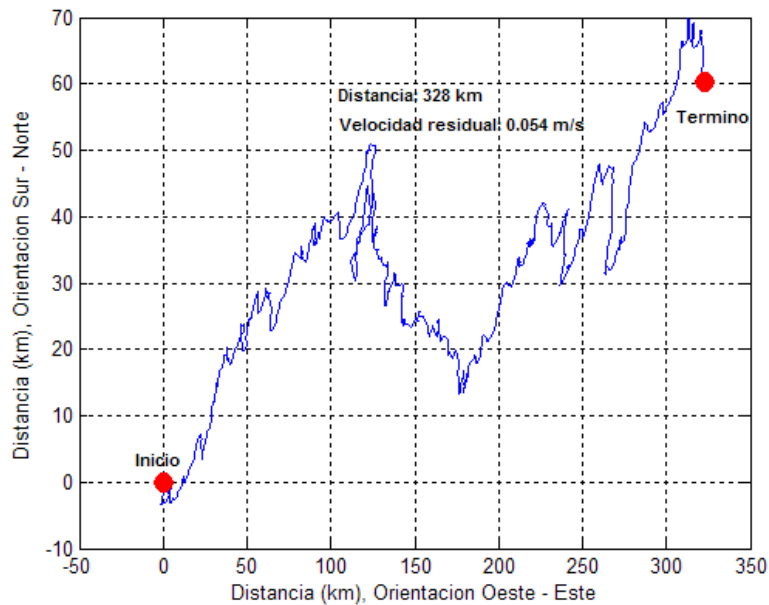


Figura 6.7.2 - 10: Diagrama de vector progresivo para la corriente registrada en el nivel superficial en la estación 2 (ADCP 2) (9 m).

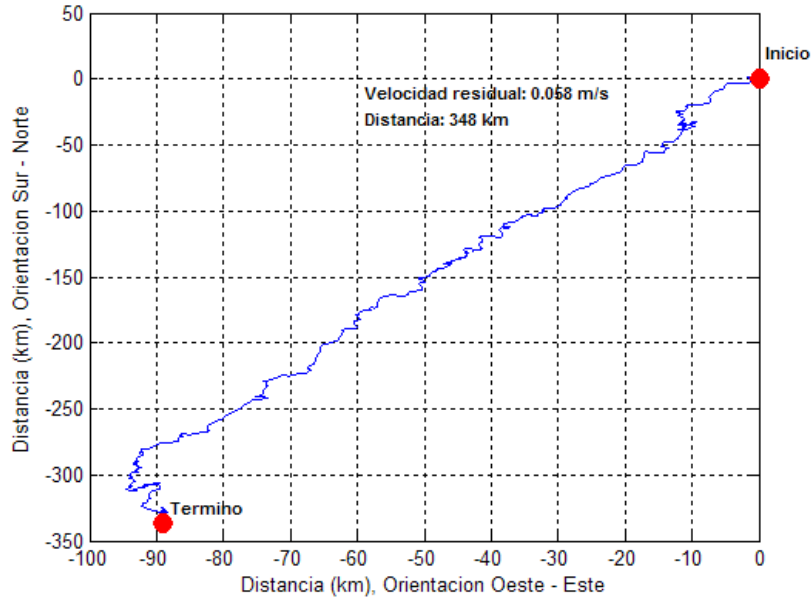


Figura 6.7.2 - 11: Diagrama de vector progresivo para la corriente registrada en el nivel intermedio en la estación 2 (ADCP 2) (61 m).

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

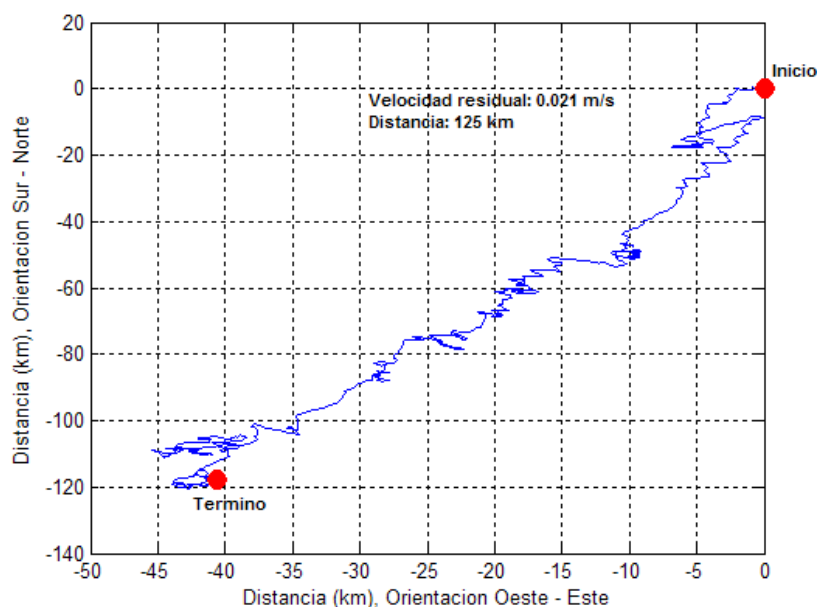


Figura 6.7.2 - 12: Diagrama de vector progresivo para la corriente registrada en el nivel profundo en la estación 2 (ADCP 2) (109 m).

ESTACIÓN 3 (ADCP 3 - INVIERNO)

La Tabla 6.7.2 - 9 muestra los estadísticos descriptivos (media, máximo, mínimo, varianza, y desviación estándar) de las series temporales de la corriente (capas 1, 16 y 32). La máxima magnitud (0,26 m/s) se registró en la capa superficial (4 m).

Tabla 6.7.2 - 9: Estadística básica de corriente registrada en estación 3.

Estadístico	Capa 1			Capa 16			Capa 32		
	Magnitud	U	V	Magnitud	U	V	Magnitud	U	V
	m/s			m/s			m/s		
Promedio	0,05	-0,02	-0,01	0,04	-0,01	-0,01	0,05	-0,03	-0,02
Máximo	0,24	0,14	0,09	0,21	0,09	0,10	0,26	0,17	0,12
Mínimo	0,00	-0,20	-0,18	0,00	-0,19	-0,16	0,00	-0,24	-0,18
Varianza	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Desv. Estándar	0,03	0,05	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

La distribución de frecuencias de la magnitud de la corriente (Tablas 6.7.2 – 10 a 6.7.2 – 12) indica que para todos los niveles predominan corrientes de baja magnitud (menores a 0,20 m/s, incluyendo las calmas) abarcando más del 99% de los registros. Se registraron corrientes superiores a 0,20 m/s, representando un 0,1% de los datos en los niveles superficial y profundo.

Tabla 6.7.2 - 10: Frecuencia de incidencia de corriente registrada en estación 3 (ADCP3) en superficie (4 m).

Direcciones	Frecuencia de Incidencia de Corrientes						Total	Dirección	Velocidad
	Velocidad (m/s)								(m/s)
	0,10 - 0,20	0,20 - 0,30	0,30 - 0,40	0,40 - 0,50	0,50 - 0,60	>0,60		Media	Media
N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,03
NE	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	46,5	0,05
E	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	88,4	0,04
SE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	136,4	0,03
S	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	183,6	0,04
SW	3,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3	228,9	0,06
W	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	264,1	0,05
NW	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	311,0	0,03
Total efectivo	6,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	6,1		
						Calmas	93,9		
						Total	100,0		

Tabla 6.7.2 - 11: Frecuencia de incidencia de corriente registrada en estación 3 (ADCP 3) en nivel intermedio (12 m).

Direcciones	Frecuencia de Incidencia de Corrientes						Total	Dirección	Velocidad
	Velocidad (m/s)								(m/s)
	0,10 - 0,20	0,20 - 0,30	0,30 - 0,40	0,40 - 0,50	0,50 - 0,60	>0,60		Media	
N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,02
NE	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	47,0	0,03
E	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	89,5	0,03
SE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	135,3	0,03
S	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	182,5	0,04
SW	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	225,3	0,05
W	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	265,5	0,04
NW	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	312,4	0,02
Total efectivo	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0		
						Calmas	98,0		
						Total	100,0		

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

Tabla 6.7.2 - 12: Frecuencia de incidencia de corriente registrada en estación 3 en nivel profundo (19 m).

Direcciones	Frecuencia de Incidencia de Corrientes						Total	Dirección	Velocidad
	Velocidad (m/s)								(m/s)
	0,10 - 0,20	0,20 - 0,30	0,30 - 0,40	0,40 - 0,50	0,50 - 0,60	>0,60		Media	Media
N	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,02
NE	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	49,4	0,04
E	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	87,4	0,05
SE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	133,5	0,03
S	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	183,4	0,04
SW	5,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	5,8	229,4	0,07
W	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	264,9	0,06
NW	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	311,3	0,03
Total efectivo	9,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	9,9		
						Calmas	90,1		
						Total	100,0		

La dirección predominante de las corrientes para el sector fue la dirección SW para todos los niveles, lo que se puede apreciar en las rosas de direcciones (Figuras 6.7.2 – 13 a 6.7.2 – 15). En general se puede ver una tendencia en las corrientes a fluir hacia el tercer cuadrante.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

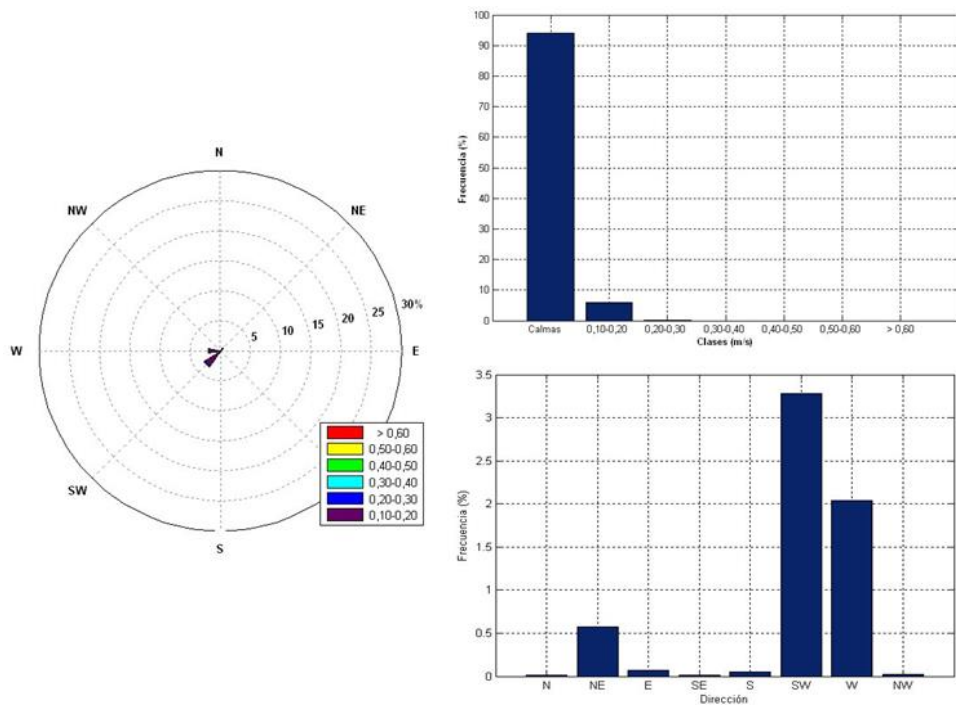


Figura 6.7.2 - 13: Rosa e histograma de frecuencia de corriente en el nivel superficial (4 m).

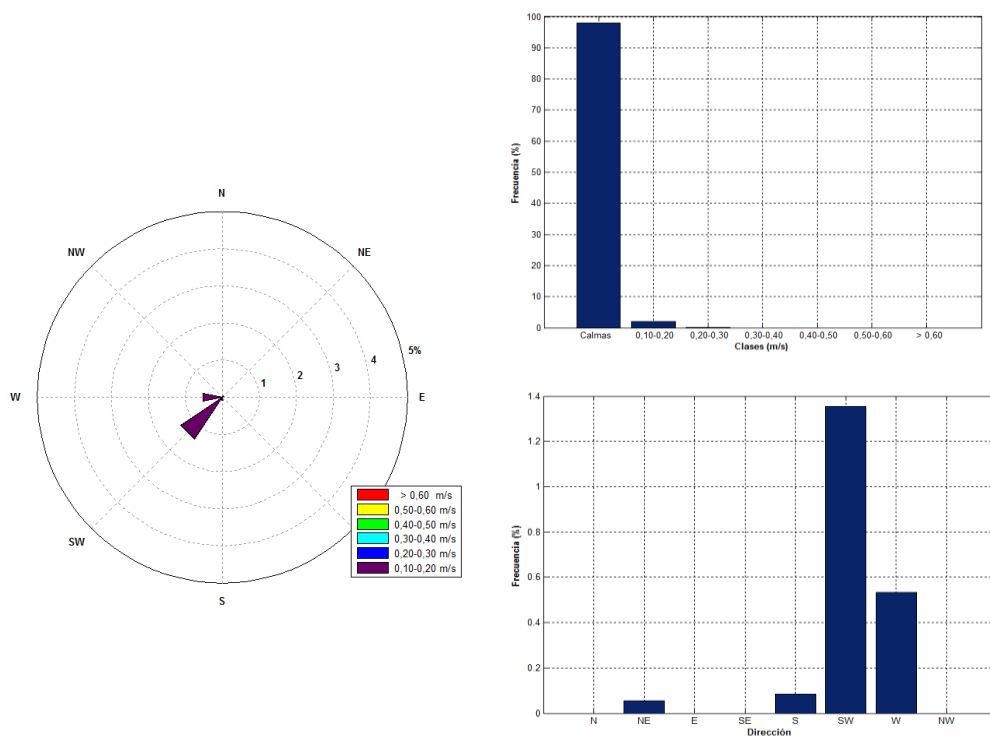


Figura 6.7.2 - 14: Rosa e histograma de frecuencia de corriente en nivel intermedio (12 m).

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

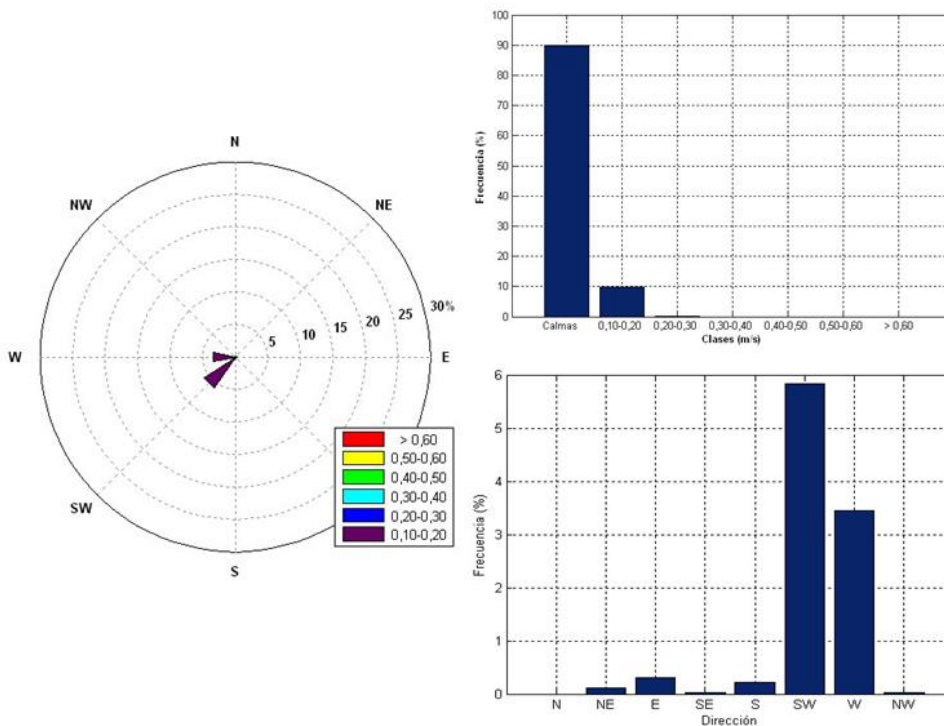


Figura 6.7.2 - 15: Rosa e histograma de frecuencia de corriente en el nivel profundo (19 m).

Los diagramas de vector progresivo (DVP; Figuras 6.7.2 – 16 a 6.7.2 – 18) muestran la tendencia residual de la circulación a diferentes niveles de profundidad durante el período de medición. En todos los niveles (superficial, intermedio y profundo), se evidenció una circulación residual hacia el tercer cuadrante. El mayor desplazamiento (179 km) se observa en el nivel superficial, mientras que el menor desplazamiento (95 km) se registró a nivel intermedio. Las mayores velocidades residuales (0,03 m/s) se registraron en superficie, mientras que el menor registro se dio en el nivel intermedio (0,02 m/s).

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

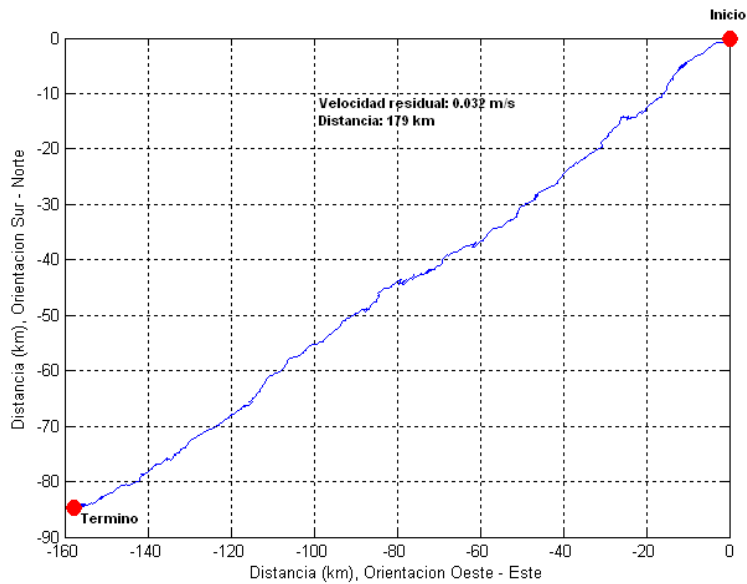


Figura 6.7.2 - 16: Diagrama de vector progresivo para la corriente registrada en el nivel superficial en la estación 3 (ADCP 3) (4 m).

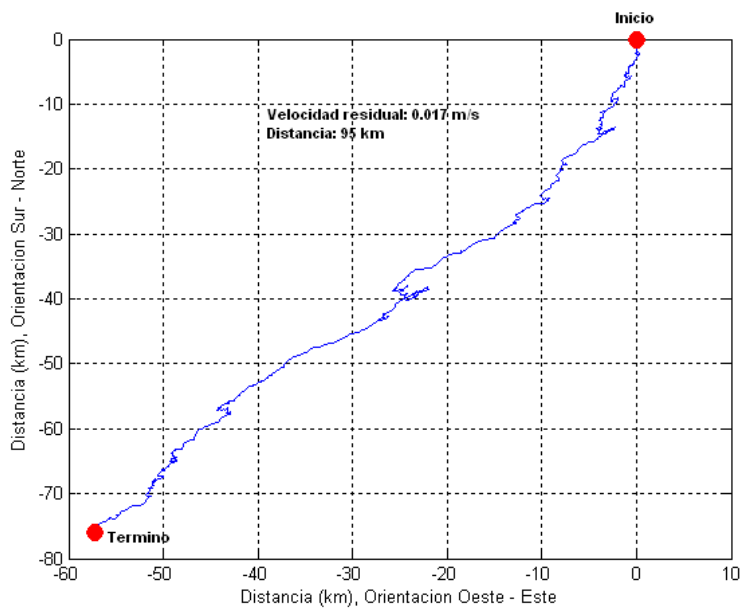


Figura 6.7.2 - 17: Diagrama de vector progresivo para la corriente registrada en el nivel intermedio en la estación 3 (ADCP 3) (12 m).

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

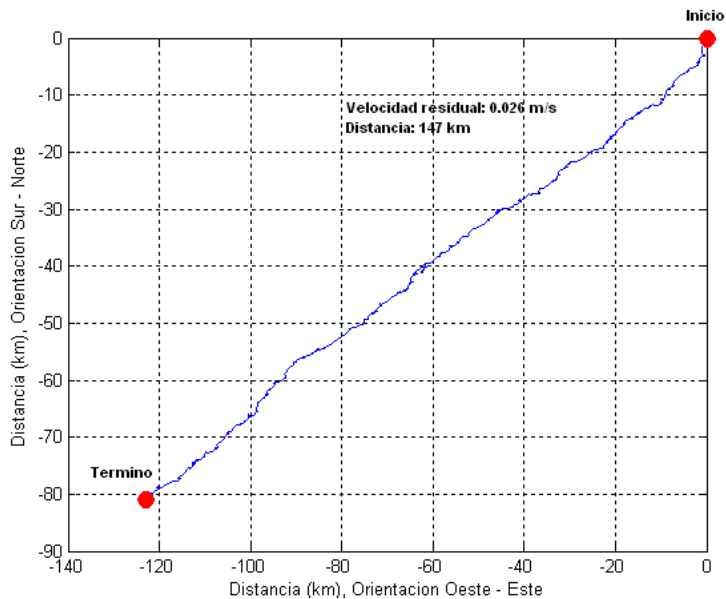
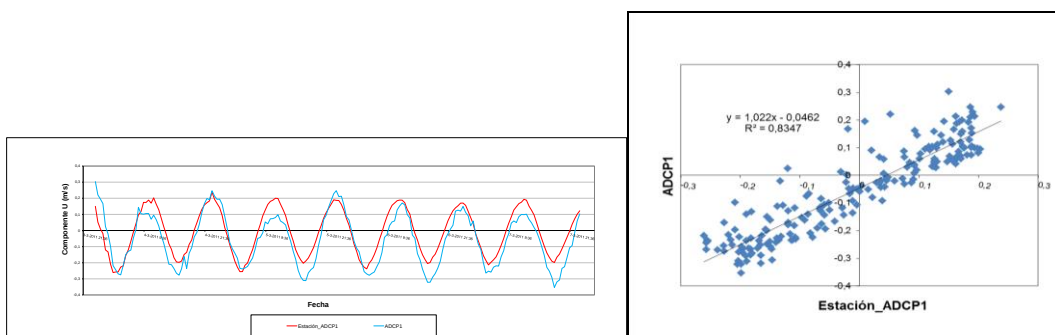


Figura 6.7.2 - 18: Diagrama de vector progresivo para la corriente registrada en el nivel profundo en la estación 3 (ADCP 3) (19 m).

6.8 RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN DE MODELO CORRIENTES

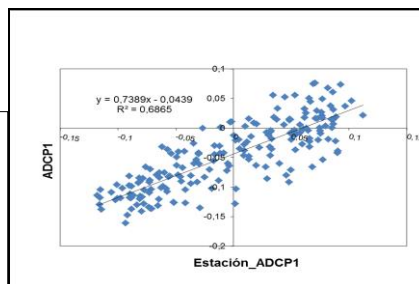
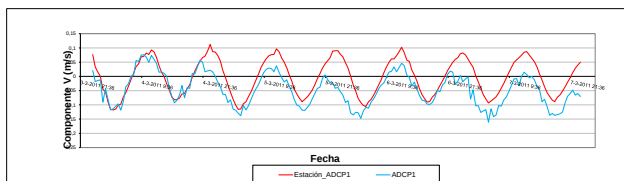
Se presentan los restantes gráficos de aproximación de la salida de ADCIRC con respecto a las mediciones mediante el correntómetro ADCP 1, ADCP 2 y ADCP 3 con sus respectivos gráficos de correlación.

Modelo 03-03-2011 al 08-03-2011:

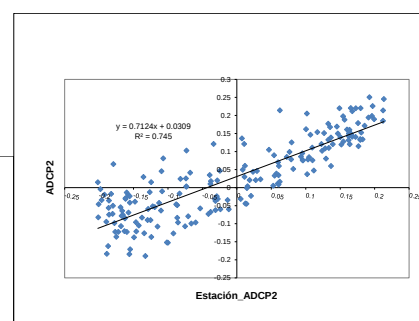
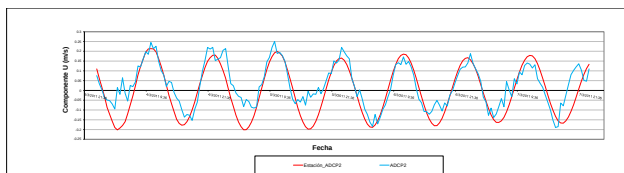


Resultado del ajuste de corrientes para la componente U(m/s), ADCP1.

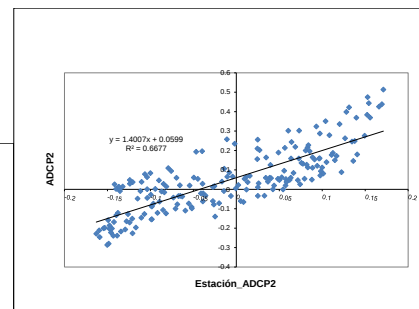
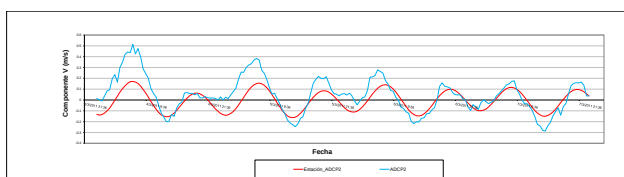
Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.



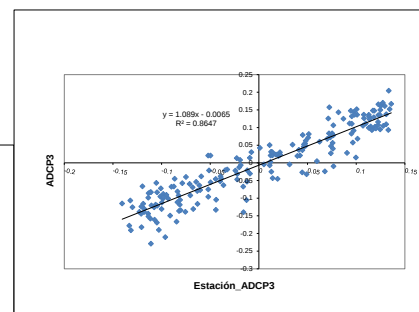
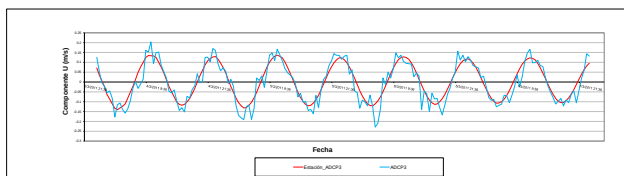
Resultado del ajuste de corrientes para la componente V(m/s) , ADCP1.



Resultado del ajuste de corrientes para la componente U(m/s), ADCP2.

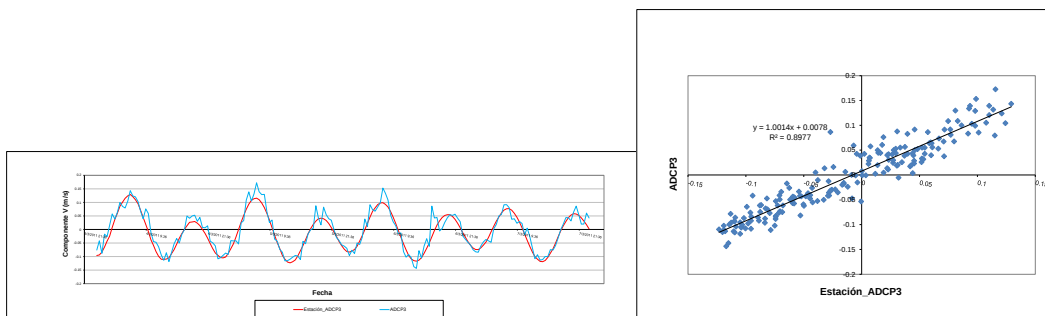


Resultado del ajuste de corrientes para la componente V(m/s) , ADCP2.



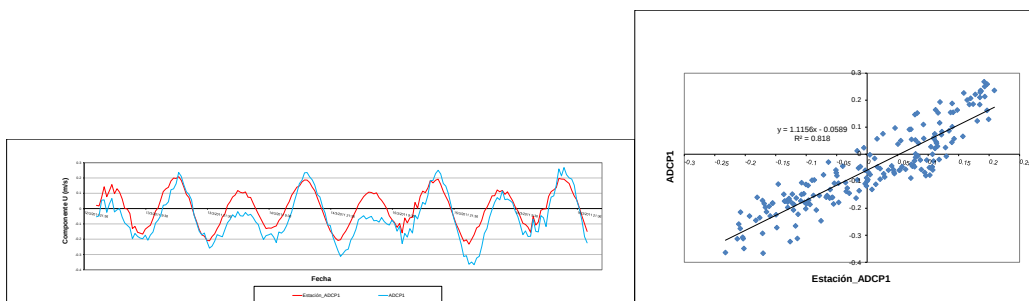
Resultado del ajuste de corrientes para la componente U(m/s) , ADCP3.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

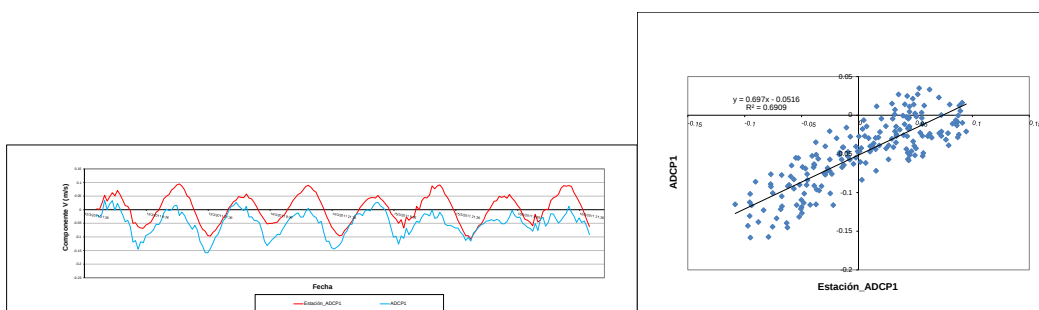


Resultado del ajuste de corrientes para la componente V(m/s) , ADCP3.

Modelo 12-03-2011 al 17-03-2011:

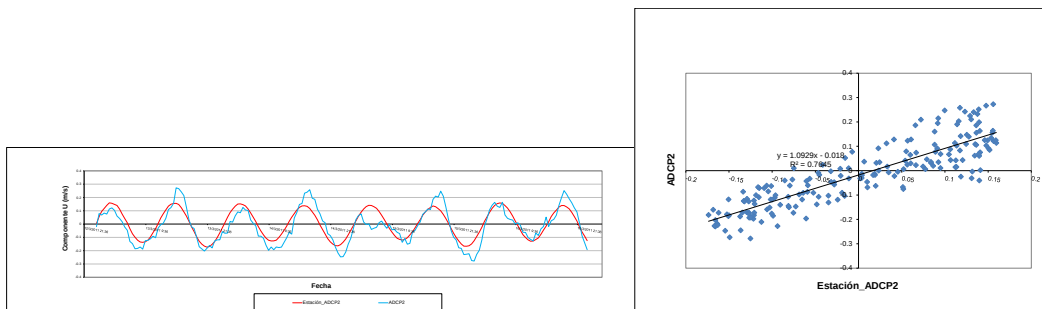


Resultado del ajuste de corrientes para la componente U(m/s) , ADCP1.

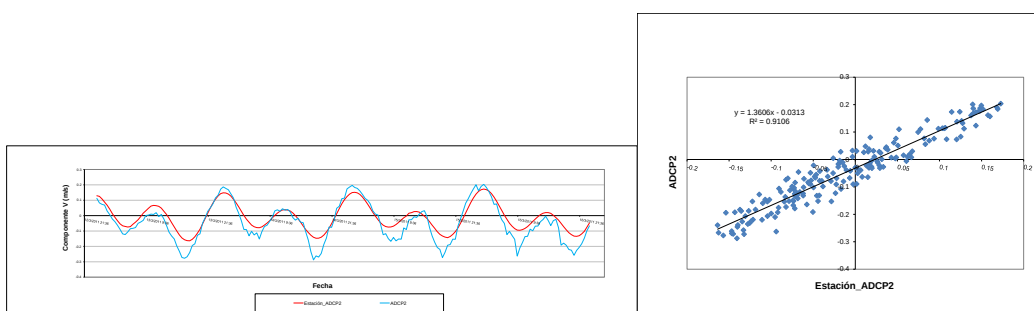


Resultado del ajuste de corrientes para la componente V(m/s) , ADCP1.

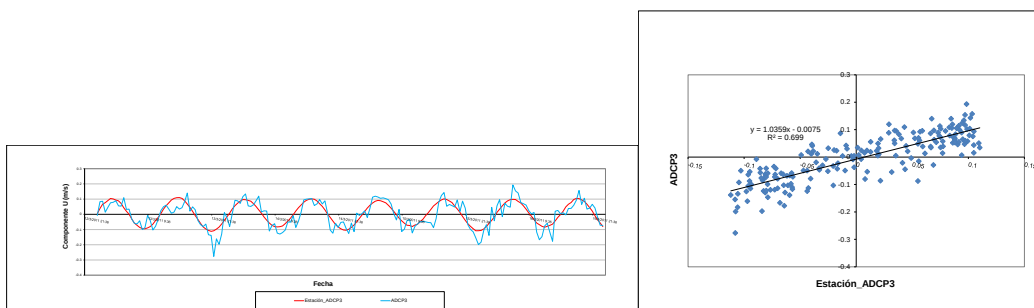
Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.



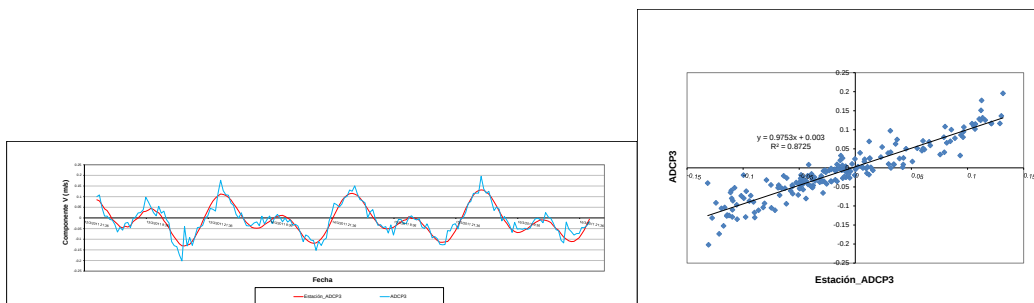
Resultado del ajuste de corrientes para la componente U(m/s) , ADCP2.



Resultado del ajuste de corrientes para la componente V(m/s) , ADCP2.



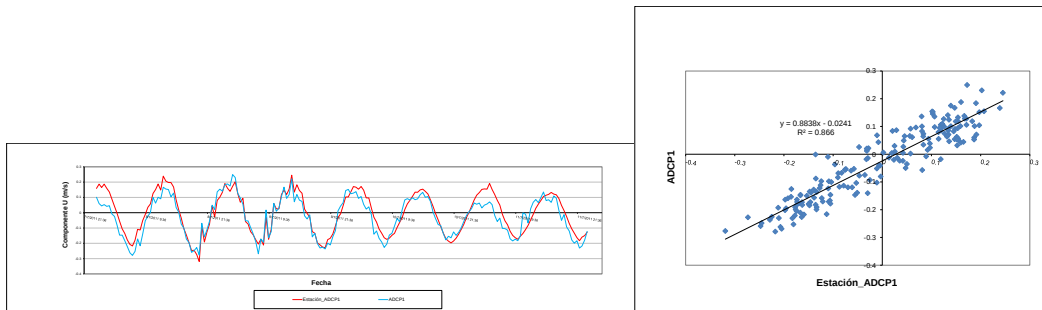
Resultado del ajuste de corrientes para la componente U(m/s) , ADCP3.



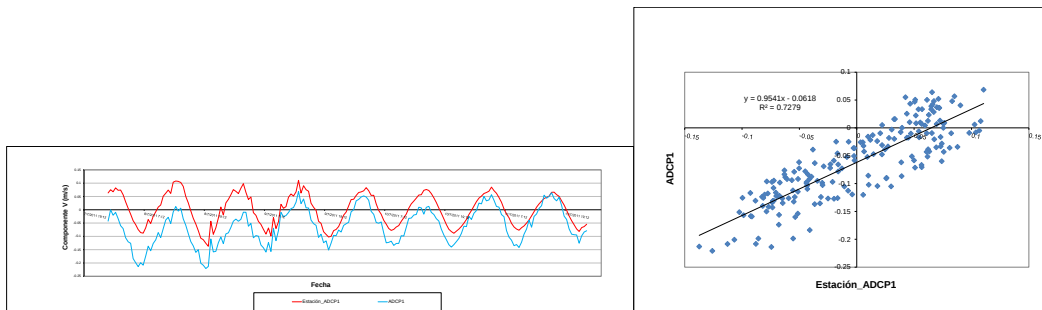
Resultado del ajuste de corrientes para la componente V(m/s) , ADCP3.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

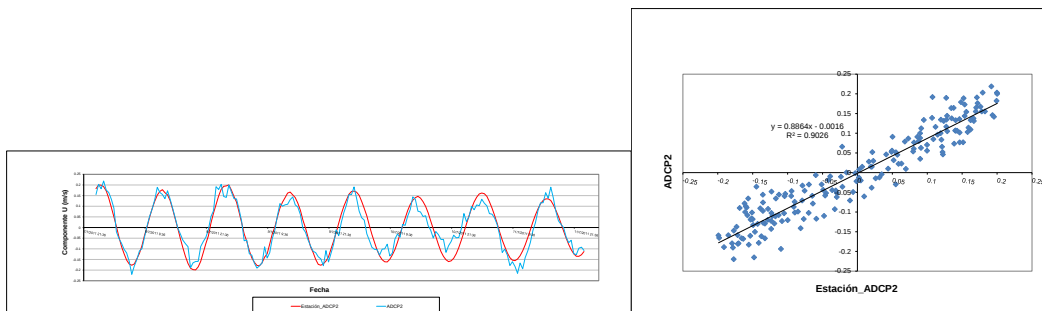
Modelo 07-07-2011 al 12-07-2011:



Resultado del ajuste de corrientes para la componente U(m/s) , ADCP1.

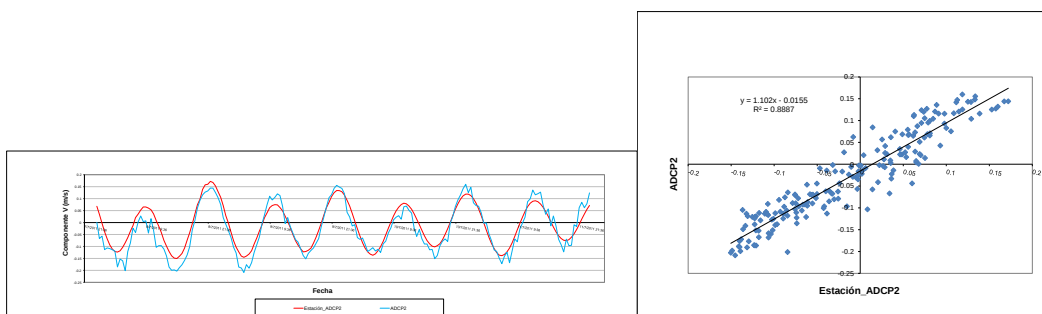


Resultado del ajuste de corrientes para la componente V(m/s) , ADCP1.

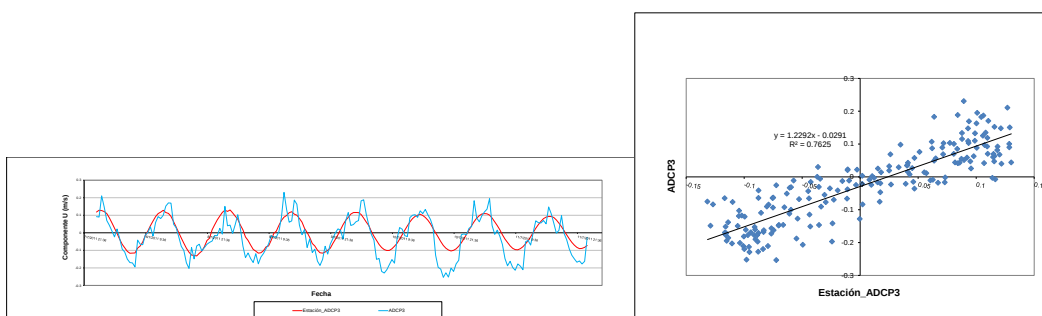


Resultado del ajuste de corrientes para la componente U(m/s) , ADCP2.

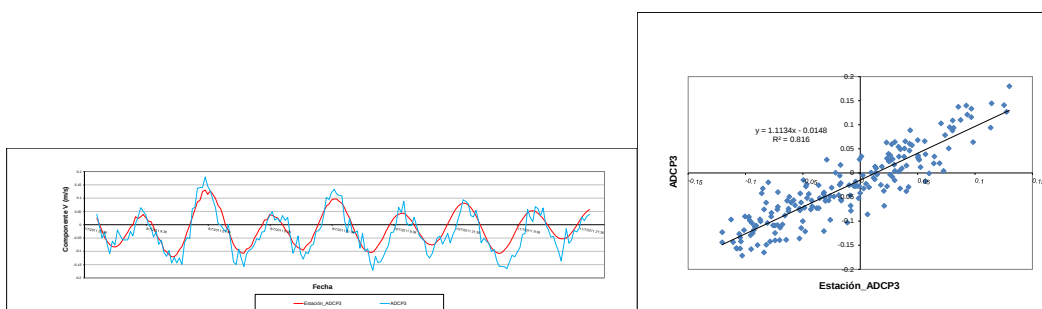
Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.



Resultado del ajuste de corrientes para la componente V(m/s) , ADCP2.



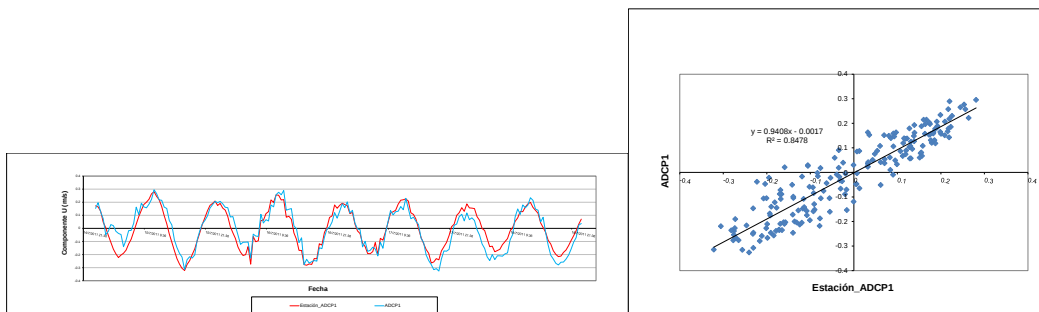
Resultado del ajuste de corrientes para la componente U(m/s) , ADCP3.



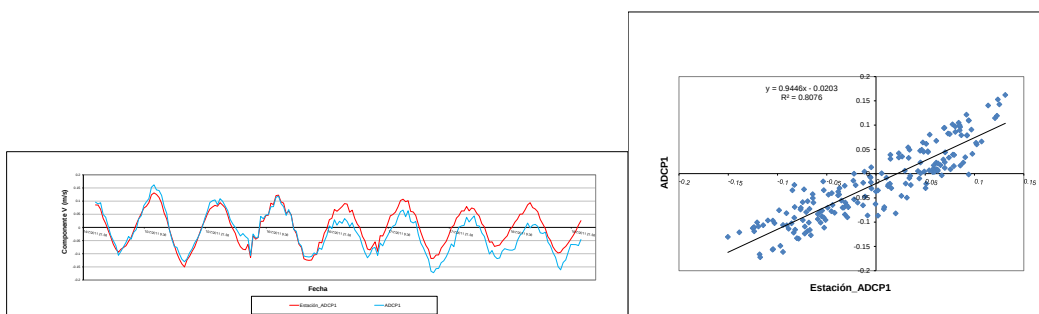
Resultado del ajuste de corrientes para la componente V(m/s) , ADCP3.

Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.

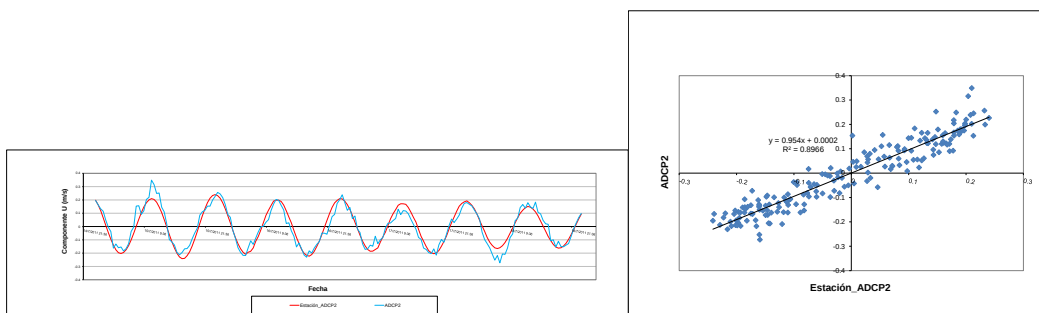
Modelo 14-07-2011 al 19-07-2011:



Resultado del ajuste de corrientes para la componente U(m/s) , ADCP1.

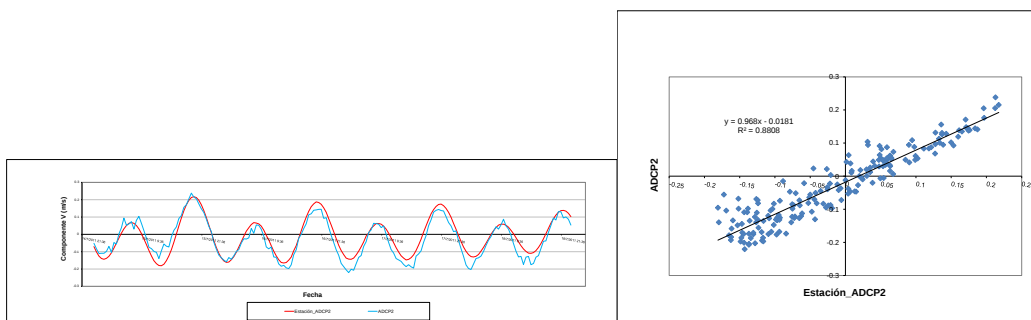


Resultado del ajuste de corrientes para la componente V(m/s) , ADCP1.

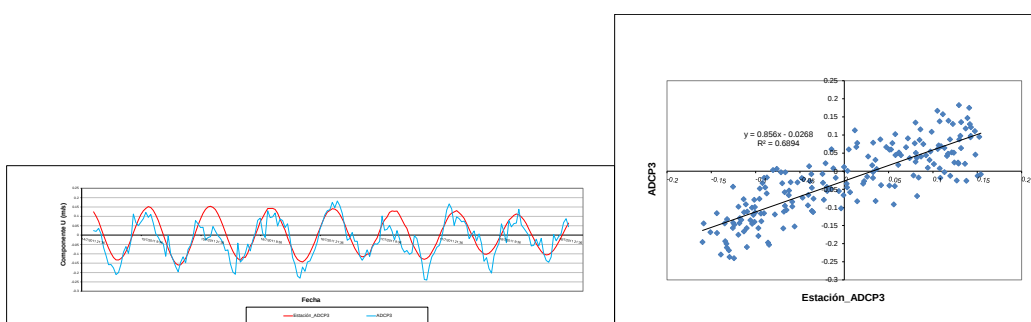


Resultado del ajuste de corrientes para la componente U(m/s) , ADCP2.

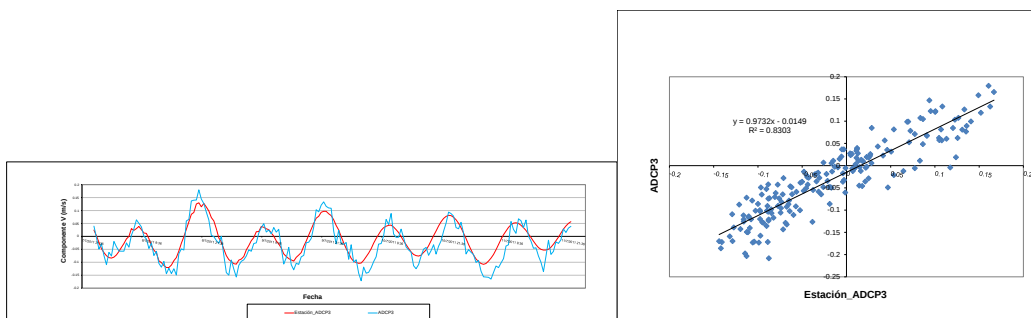
Caracterización y modelado de las condiciones ambientales en Bahía Chapaco, comuna de Huasco, Región de Atacama.



Resultado del ajuste de corrientes para la componente V(m/s) , ADP2.



Resultado del ajuste de corrientes para la componente U(m/s) , ADP3.



Resultado del ajuste de corrientes para la componente V(m/s) , ADP3.