5.6 ESTUDIO DE RÉGIMEN DE VIENTOS LOCALES

5.6.1 Materiales y Métodos

Con la finalidad de definir y precisar la circulación atmosférica local durante la ejecución de los estudios de sitio, se realizaron mediciones de vientos durante un mes en esta campaña de invierno. Para este efecto, se instaló en el área de estudio, una estación meteorológica automática, marca Weather Wizard III (**Fotografía 5.6.1**), de registro en memoria magnética, programado para obtener una observación promedio cada 1 hora, la cual corresponde a un promedio vectorial de 60 minutos de registro continuo alrededor de cada hora.

Fotografía 5.6.1. Estación meteorológica Weather Wizard III.

Los sensores de vientos fueron instalados a una altura de 10 metros sobre el nivel del terreno, en un sitio aledaño al sector de estudio.

Una vez concluido el período de mediciones, los registros fueron vaciados al computador, y analizados en términos de su estadística básica, Además, se determinaron las magnitudes medias y máximas para una rosa de 16 direcciones.

Para estimar variaciones periódicas se calculó el autoespectro del viento con el método propuesto por Jenkins & Watts (1968), a partir de los datos horarios con previa eliminación de la tendencia. Este análisis se hizo para las componentes cartesianas V y U, en el sentido de la orientación norte-sur y este-oeste, respectivamente.

Las mediciones fueron realizadas en el período comprendido entre el 01 y el 31 de agosto de 2008. Un listado de las observaciones horarias registradas se presenta en el Listado de Vientos (**ANEXO VIII**).

5.6.2 Resultados del Estudio de Vientos

- **Estadística Descriptiva**

Los resultados evidencian que el patrón de circulación atmosférica se caracteriza por vientos que soplan mayoritariamente del tercer cuadrante, WSW (23%), SW (13%) y W (9%), con una incidencia conjunta de 46% para estas tres direcciones.

Las situaciones no direccionales (Calmas), tienen una participación baja, con un 4% de los casos. Las otras direcciones de incidencia tienen una participación igual o inferior al 5% cada una, con excepción de las direcciones ENE, E y ESE.

Respecto de las magnitudes del viento, estas se agruparon mayoritariamente en el rango de 1 a 7 nudos, con un 60% de incidencia, aunqezamos ya jajajue también son frecuentes las magnitudes en el rango de 7 a 10 nd (15%) y de 10 a 13 nd (10%). Por su parte, intensidades superiores a 13 nudos se presentan con una frecuencia de 12%.

La intensidad de la circulación es moderada, con una media mensual de 6,6 nudos (**Tabla 5.6.2.1**). Las direcciones más ventosas son WSW y SW, con una media de 11,2 y 8,7 nd, respectivamente, y máximos absolutos de 20 nudos.

Comparativamente los vientos del SSE soplan con menos mayor fuerza respecto de las otras direcciones de incidencia (**Figura 5.6.2.1**), mientras que los vientos del SW y WSW son los que registran magnitudes superiores.

Tabla 5.6.2.1
Incidencia de vientos. Punta Cachos, campaña de invierno.

FRECUENCIA (%) DE INCIDENCIA DE VIENTOS

MAGNITUD (nd)	DIRECCION							
	N	**NNE**	**NE**	**ENE**	**E**	**ESE**	**SE**	**SSE**
Ca								
1 - 4	1,546	1,411	1,378	2,184	2,621	2,251	1,949	1,613
4 - 7	0,773	0,571	0,941	2,386	2,823	3,293	2,218	0,370
7 - 10	0,638	0,370	0,437	1,075	0,101	0,840	0,470	0,000
10 - 13	0,000	0,000	0,504	0,235	0,168	0,034	0,000	0,000
13 - 16	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,034	0,000	0,000
16 - 19	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
19 - 22	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
> 22	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
TOTAL %	**2,957**	**2,352**	**3,259**	**5,880**	**5,712**	**6,452**	**4,637**	**1,983**

MAGNITUD (nd)	DIRECCION								TOTAL (%)
	S	**SSW**	**SW**	**WSW**	**W**	**WNW**	**NW**	**NNW**	
Ca									4,099
1 - 4	2,352	2,453	2,285	1,613	2,083	1,411	1,210	1,109	29,469
4 - 7	0,336	2,789	3,831	2,823	2,621	2,083	0,806	1,815	30,477
7 - 10	0,000	0,067	2,386	4,839	3,091	0,470	0,101	0,067	14,953
10 - 13	0,000	0,000	2,184	5,108	1,210	0,067	0,000	0,000	9,509
13 - 16	0,000	0,000	1,512	5,444	0,000	0,000	0,000	0,000	6,989
16 - 19	0,000	0,000	0,974	2,688	0,000	0,000	0,000	0,000	3,663
19 - 22	0,000	0,000	0,269	0,571	0,000	0,000	0,000	0,000	0,840
> 22	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
TOTAL %	**2,688**	**5,309**	**13,441**	**23,085**	**9,005**	**4,032**	**2,117**	**2,991**	**100,000**

Tabla 5.6.2.2
Excedencia de vientos. Punta Cachos, campaña de invierno.

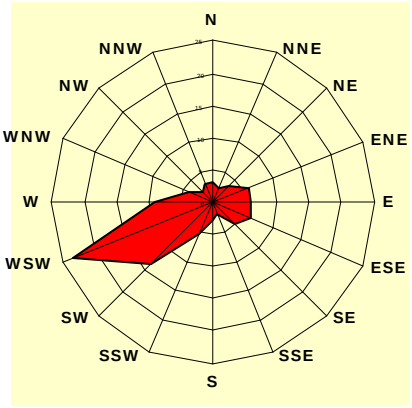
FRECUENCIA (%) DE EXCEDENCIA DE VIENTOS

MAGNITUD (nd)	DIRECCION							
	N	**NNE**	**NE**	**ENE**	**E**	**ESE**	**SE**	**SSE**
> 22	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
> 19	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
> 16	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
> 13	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,034	0,000	0,000
> 10	0,000	0,000	0,504	0,235	0,168	0,067	0,000	0,000
> 7	0,638	0,370	0,941	1,310	0,269	0,907	0,470	0,000
> 4	1,411	0,941	1,882	3,696	3,091	4,200	2,688	0,370
> 1	2,957	2,352	3,259	5,880	5,712	6,452	4,637	1,983

MAGNITUD (nd)	DIRECCION								TOTAL
	S	**SSW**	**SW**	**WSW**	**W**	**WNW**	**NW**	**NNW**	**(%)**
> 22	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	**0,000**
> 19	0,000	0,000	0,269	0,571	0,000	0,000	0,000	0,000	**0,840**
> 16	0,000	0,000	1,243	3,259	0,000	0,000	0,000	0,000	**4,503**
> 13	0,000	0,000	2,755	8,703	0,000	0,000	0,000	0,000	**11,492**
> 10	0,000	0,000	4,940	13,810	1,210	0,067	0,000	0,000	**21,001**
> 7	0,000	0,067	7,325	18,649	4,301	0,538	0,101	0,067	**35,954**
> 4	0,336	2,856	11,156	21,472	6,922	2,621	0,907	1,882	**66,431**
> 1	2,688	5,309	13,441	23,085	9,005	4,032	2,117	2,991	**95,901**

Tabla 5.6.2.3
Valore medios y máximos del viento. Punta Cachos, campaña de invierno.

DIRECCION	MEDIA (cm/s)	MAXIMA (cm/s)
N	4,3	8,2
NNE	4,1	10,0
NE	5,7	12,5
ENE	5,2	12,0
E	4,4	11,4
ESE	5,0	13,3
SE	4,5	9,2
SSE	2,9	6,8
S	2,8	5,9
SSW	4,1	7,3
SW	8,7	20,4
WSW	11,2	21,9
W	6,7	12,4
WNW	4,9	10,1
NW	4,1	7,5
NNW	4,5	7,4
TOTAL	**6,6**	**21,9**



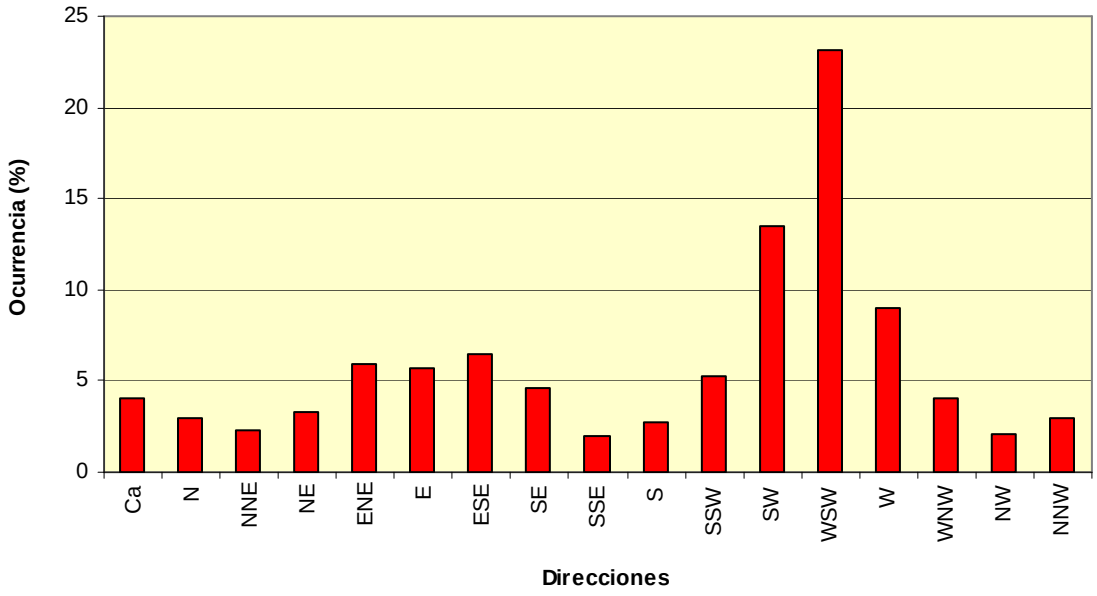


Figura 5.6.2.1. Histograma de direcciones de vientos. Punta Cachos, campaña de invierno.

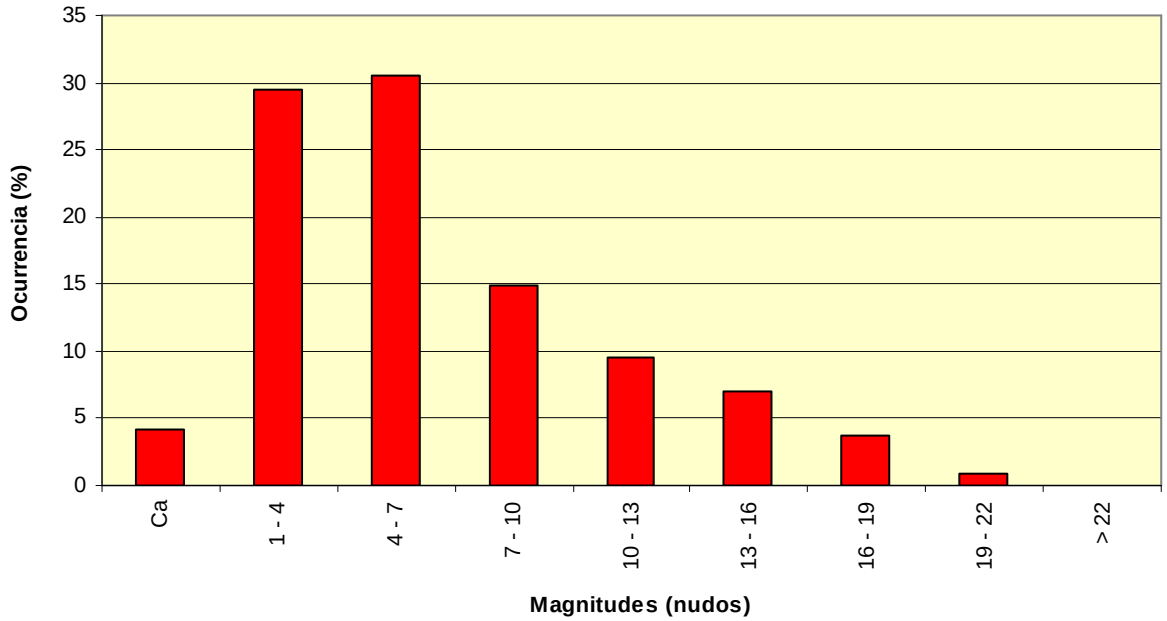


Figura 5.6.2.2. Histograma de magnitudes de vientos. Punta Cachos, campaña de invierno.

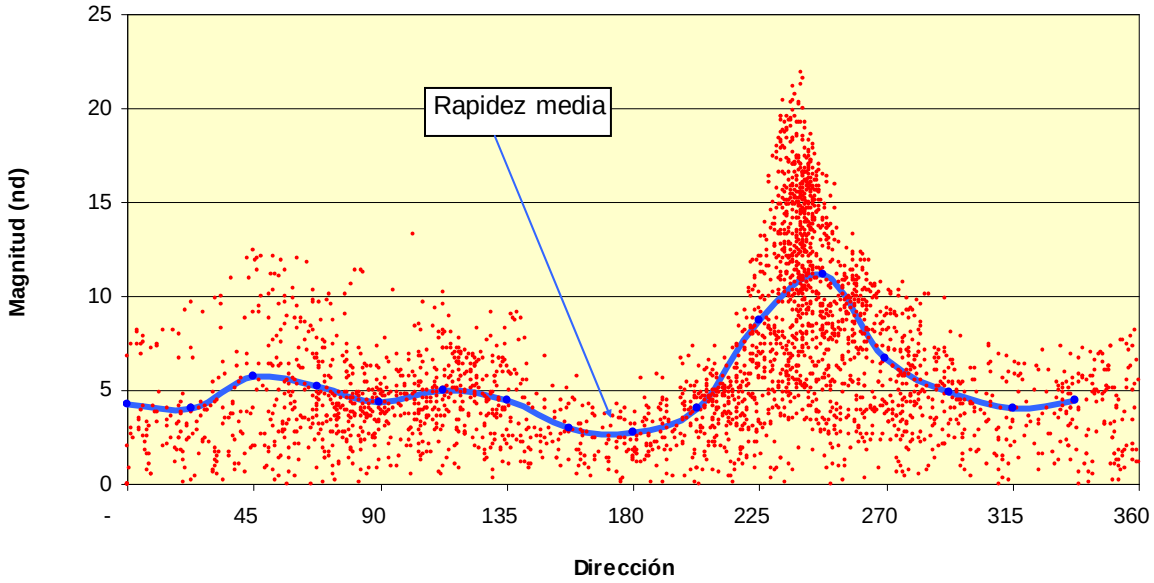


Figura 5.6.2.3. Diagrama de dispersión Magnitud – Dirección de vientos. Punta Cachos, campaña de invierno.

- **Intensidades Máximas**

La **Figura 5.6.2.4** muestra pulsos de vientos del tercer cuadrante con intensidades superiores a 15 nd, que ocurren con una frecuencia variable de 1 a 10 días.

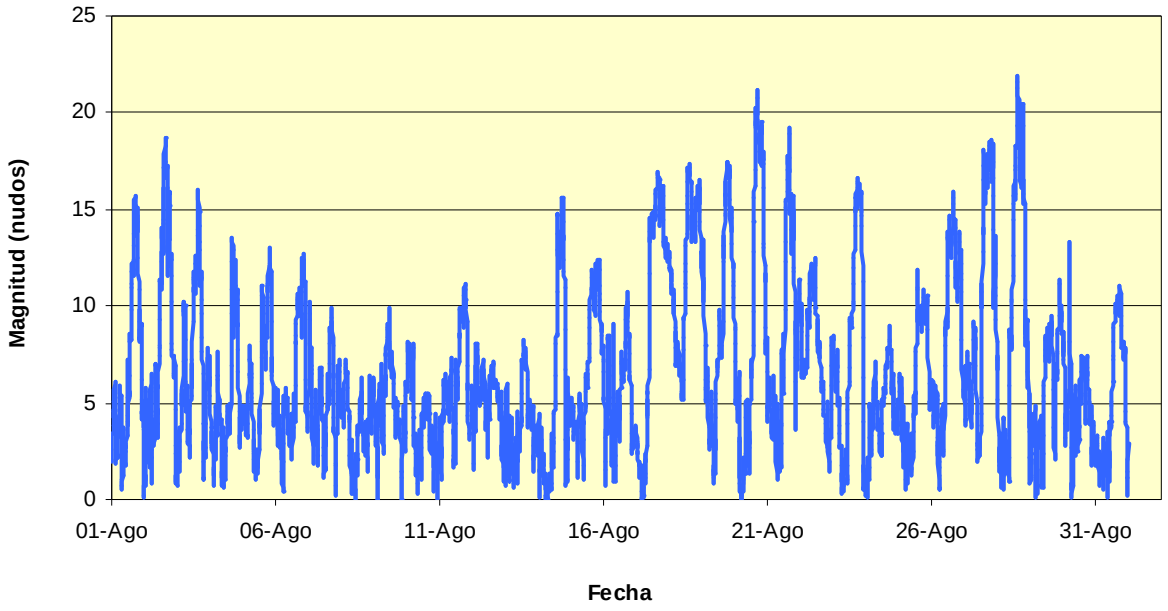


Figura 5.6.2.4. Magnitudes de vientos. Punta Cachos, campaña de invierno.

- **Diagrama de Vector Progresivo**

El diagrama de vector progresivo presentado en la **Figura 5.6.2.5** (sucesión temporal de vectores), evidencia un transporte relativamente homogéneo hacia el ENE. Al respecto, suponiendo que toda la masa de aire presentara un comportamiento espacialmente homogéneo, se podría inferir que una partícula sería arrastrada en el largo plazo, en la dirección del flujo residual, es decir, hacia el ENE con una rapidez media de 3,5 nudos.

En términos generales, el flujo se verifica hacia el ENE, sin embargo, del 6 al 14 de agosto se distingue un transporte neto cero, que se atribuye a un debilitamiento de la circulación atmosférica (**Figura 5.6.2.4**).

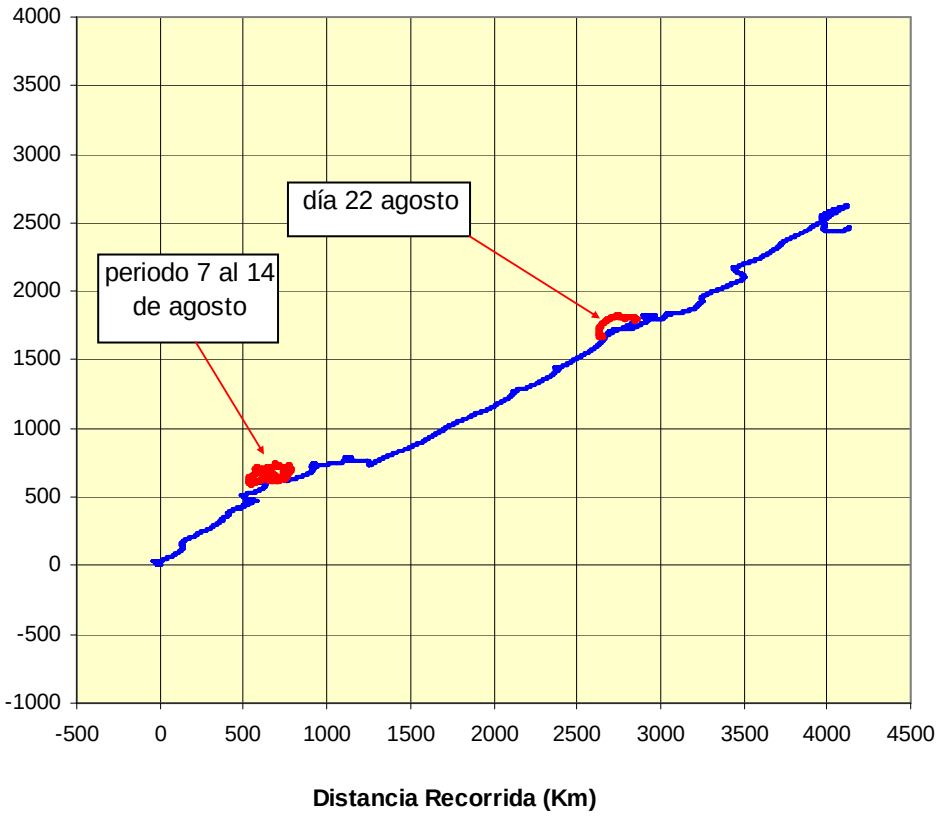


Figura 5.6.2.5. Diagrama de vector progresivo (DVP). Punta Cachos, campaña de invierno.

- **Análisis Espectral**

Los resultados del análisis espectral de las componentes N-S y E-W del viento se presentan en la **Figura 5.6.2.6**.

La componente V del viento (N-S), muestra concentración de energía espectral en bandas de frecuencia bajas e inferiores a 0,01 cph, asociada a fluctuaciones aperiódicas del régimen de vientos a escalas de tiempo de 3 días o superior.

Por su parte, la componente U (E-W) evidencia un aumento de energía espectral, en la banda de frecuencia diurna (0,08 cph), por lo que sugiere que la circulación atmosférica experimenta ciclos con periodicidad diurna.

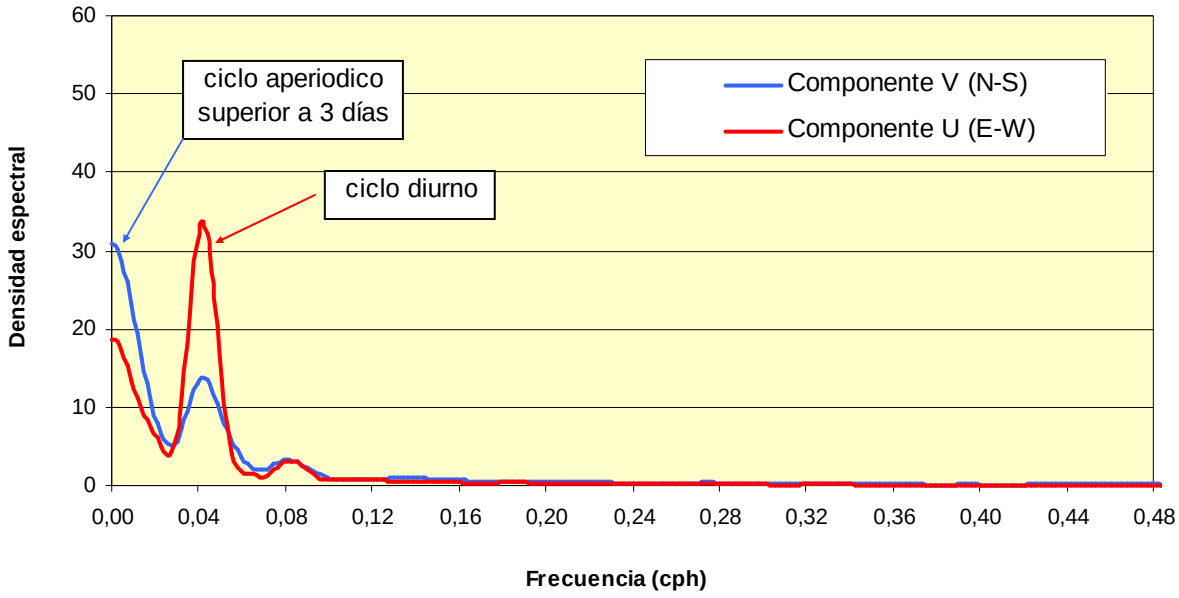


Figura 5.6.2.6. Análisis espectral componentes V y U de las corrientes superficiales. Punta Cachos, campaña de invierno.

- **Ciclo Diurno**

El comportamiento diurno del viento se puede apreciar en la **Figuras 5.6.2.7**.

De acuerdo con este análisis, se concluye que el viento presenta una marcada diferenciación horaria: a partir del mediodía el viento sopla mayoritariamente del tercer cuadrante, mientras que de madrugada predomina la Calma o vientos de tierra de dirección variable.

Comparativamente, por la noche soplan vientos débiles de tierra, mientras que por la tarde el viento sopla del mar.

Respecto de las magnitudes del viento, el viento se intensifica desde el mediodía, alcanzando un máximo a las 19 horas (**Figura 5.6.2.8**), para luego declinar de madrugada.

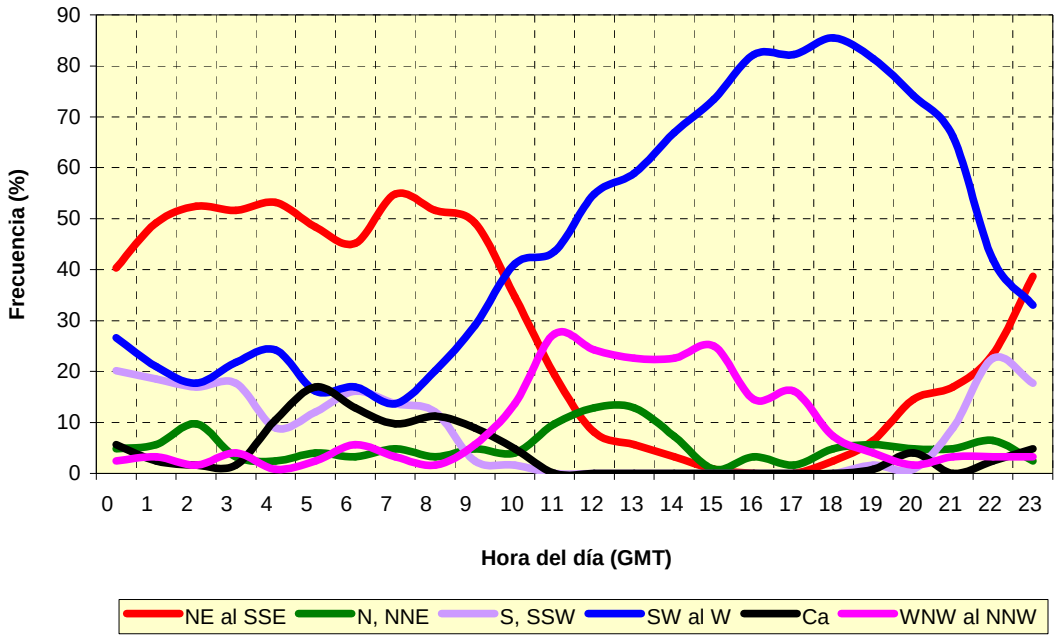


Figura 5.6.2.7. Ciclo diurno – Incidencia de direcciones de vientos. Punta Cachos, campaña de invierno.

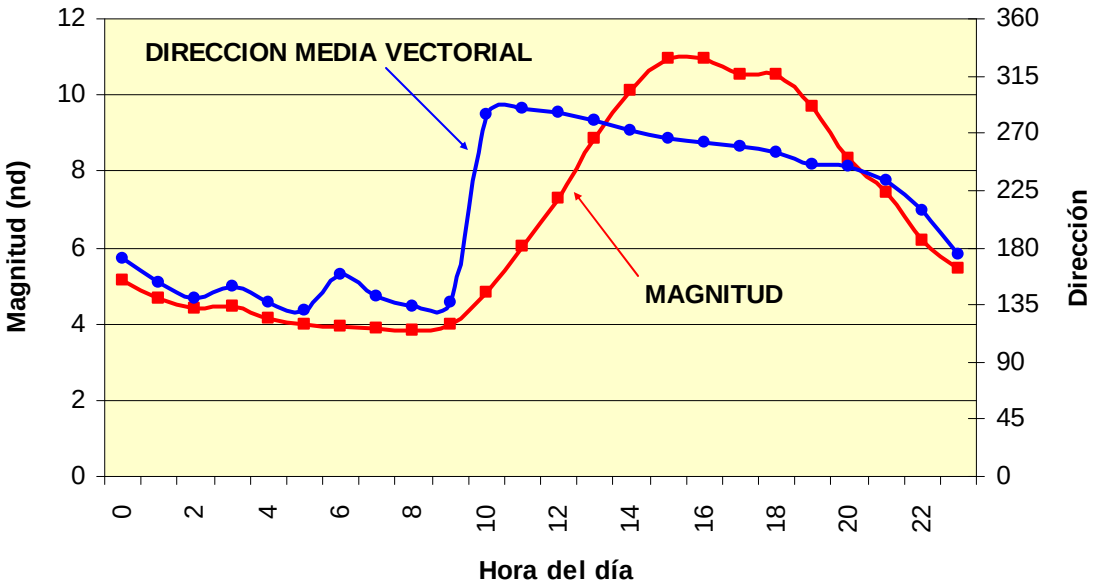


Figura 5.6.2.8. Ciclo diurno de vientos (valores medios). Punta Cachos, campaña de invierno.

5.6.3 Discusión del Estudio de Régimen de Vientos Locales

Como la región se encuentra bajo el predominio del Anticiclón del Pacífico Sur, los vientos reinantes soplan del tercer cuadrante (WSW y SW). El rasgo más característico de este régimen son los pulsos de vientos (*surazos*) que se desarrollan cuando la alta se intensifica, lo que condiciona una circulación sostenida del tercer cuadrante con magnitudes superiores a 15 nudos. Estos pulsos de vientos ocurren con un frecuencia de 1 a 10 días.

Los resultados evidencian, para esta campaña de invierno, que la circulación atmosférica en Punta Cachos rota con periodicidad diurna en sentido anticiclónico, lo cual es una condición típica de sectores costeros. En efecto, el ciclo térmico diario, que origina diferencias de presiones parciales entre el continente y el océano, determina el sentido de flujo atmosférico a través del día: Por la tarde sopla la brisa marina, con una componente oeste, con intensidades medias que van de 10 a 14 nudos, mientras que de noche y madrugada se presentan períodos de calma o vientos débiles de tierra (brisa terrestre).

5.6.4 Conclusiones del Estudio de Régimen de Vientos Locales

El régimen de viento regional es producto del campo de presión resultante de la Alta Subtropical y la depresión continental, y ocasionalmente de ciclones migratorios del frente polar, no obstante el relieve y la topografía juegan un rol importante en los regímenes de vientos locales.

En términos generales, el patrón de viento reinante en Punta Cachos, en esta campaña de invierno, estuvo determinado por las direcciones WSW y SW, por lo cual se sugiere que la actividad anticiclónica del sur fue más significativa que la circulación ciclónica.

Respecto de los vientos dominantes, estos soplaron del tercer cuadrante, asociados a condiciones de buen tiempo (surazos), y con magnitudes típicas entre 15 y 21 nudos.

Este régimen se complementa con ciclos diurnos costeros, lo cuales están controlados por la radiación solar y geometría de línea de costa. Desde el mediodía es común una circulación mar a tierra (brisa marina con una componente oeste), con magnitudes medias de 10 a 12 nudos, pero que se extingue con la puesta del sol. De noche y madrugada predomina la circulación débil tierra-mar con magnitudes típicas de 4 nudos (brisa terrestre con una componente E).

En resumen, la variación diaria en el sector de Punta Cachos, para el período de invierno, es la siguiente: períodos de calma o viento débil en la mañana y noche, intensidad máxima en la tarde, para declinar al ocaso.

5.7 ESTUDIO DE RÉGIMEN DE MAREAS

5.7.1 Materiales y Métodos

Para definir el régimen de marea en el área de emplazamiento de las obras proyectadas, se realizaron mediciones continuas de la variación del nivel del mar por un período de 1 mes, del 02 de agosto al 01 de septiembre en el sector de **E. San Pedro, Bahía Chascos**.

Las mediciones se realizaron con los perfiladores ADCP detallados en el capítulo de corrientes eulerianas, equipados con un sensor de presión digital (el mismo utilizado en el estudio de corrientes eulerianas). El equipo fue programado para registrar la variación del nivel del mar en intervalos cada 10 minutos.

Una vez concluido el período de mediciones, se realizó la conversión de datos crudos medidos por el instrumento ADCP a unidades métricas, con la siguiente ecuación:

$$H = \frac{P}{g * \rho}$$

Donde,

H: Altura de la marea, metros
P: Lectura instrumental (unidades de presión)
ρ : Densidad del agua de mar, 1.025 g/m^3
g: aceleración de gravedad

Se debe consignar que la presión registrada por el equipo de medición, corresponde a la presión total, es decir, al efecto combinado de la presión hidrostática más la atmosférica. En razón de lo anterior, los datos de marea incluyen perturbaciones pequeñas, atribuibles a la variación de la presión atmosférica.

En el **ANEXO IX** se entrega el Listado de Mareas en formato magnético con los registros de marea cada 10 minutos. Al respecto, estos registros están vinculados al cero instrumental, el cual corresponde a un nivel de referencia equivalente a la profundidad de instalación del sensor de presión.

- **Procesamiento**

Los datos fueron sometidos a análisis no armónico y armónico de marea.

- *Análisis no armónico*

La determinación de los planos de referencia del nivel del mar se efectúo de acuerdo con la metodología oficial de cálculo indicada por SHOA.

Previamente, y en función de los registros cada 10 minutos, se identificaron las pleamares y bajamares de cada día lunar de todo el período de medición. Luego, se realizó un análisis estadístico de estos datos, determinándose los principales valores no armónicos de marea.

- *Régimen de marea*

El régimen de marea fue determinado en función del coeficiente Courtier (K), de acuerdo con la siguiente expresión:

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

M_2: Semiamplitud constituyente lunar principal semidiurno
S_2: Semiamplitud constituyente solar principal semidiurno
K_1: Semiamplitud constituyente lunisolar declinacional diurno
O_1: Semiamplitud constituyente lunar declinacional diurno

5.7.2 Resultados del Estudio de Régimen de Mareas Locales

La **Tabla 5.7.2.1** indica las alturas de las pleamares y bajamares de cada día lunar, y la **Tabla 5.7.2.2** presenta el análisis estadístico de estos datos para el sector de E. San Pedro.

La **Figura 5.7.2.1** presenta la variación del nivel del mar, mientras la **Figura 5.7.2.2** muestra la fluctuación mensual del rango de la marea.

Se evidencia que la onda de marea experimentó una fluctuación relacionada con el ciclo lunar mensual, así por ejemplo, el rango de marea fue más pequeño en época de cuadratura lunar (8 y 23 ago), y mayor en sicigia (1 y 16 ago).

La marea para los días de estudio, presentó un rango máximo de 1,6 m, y amplitud mínima entre 0,2 m y 0,6 m, con dos pleamares y dos bajamares en un día lunar, existiendo una desigualdad “diurna” entre las alturas de las dos pleamares o dos bajamares de cada día lunar. Esta desigualdad diurna fue mayor para la pleamar que para la bajamar, con una media mensual de 0,33 m y 0,09 m, respectivamente (**Tabla 5.7.2.2**).

Tabla 5.7.2.1

Listado de pleamares y bajamares. E. San Pedro, Bahía Chascos. Campaña de invierno.

Fecha/Hora	Altura (m)	Fecha/Hora	Altura (m)	Fecha/Hora	Altura (m)
02-08-08 12:00	20,600	10-08-08 22:50	19,750	19-08-08 11:20	20,640
02-08-08 17:20	19,250	11-08-08 05:50	20,370	19-08-08 17:40	19,400
02-08-08 22:40	20,350	11-08-08 13:10	19,740	19-08-08 23:40	20,430
03-08-08 04:30	19,350	11-08-08 18:50	20,000	20-08-08 05:50	19,490
03-08-08 11:00	20,820	12-08-08 00:20	19,780	20-08-08 11:50	20,560
03-08-08 17:40	19,260	12-08-08 07:10	20,450	20-08-08 18:20	19,410
03-08-08 23:20	20,380	12-08-08 14:20	19,660	21-08-08 00:30	20,430
04-08-08 05:10	19,380	12-08-08 19:50	20,050	21-08-08 06:30	19,510
04-08-08 11:50	20,740	13-08-08 01:00	19,730	21-08-08 12:10	20,430
04-08-08 18:30	19,350	13-08-08 07:50	20,540	21-08-08 19:00	19,430
05-08-08 00:20	20,430	13-08-08 15:00	19,630	22-08-08 01:20	20,430
05-08-08 06:20	19,470	13-08-08 20:10	20,120	22-08-08 07:00	19,580
05-08-08 12:40	20,600	14-08-08 02:00	19,660	22-08-08 13:10	20,300
05-08-08 19:00	19,400	14-08-08 08:10	20,590	22-08-08 19:40	19,500
06-08-08 00:50	20,400	14-08-08 15:20	19,530	23-08-08 01:50	20,460
06-08-08 07:20	19,560	14-08-08 20:50	20,150	23-08-08 08:40	19,660
06-08-08 13:10	20,440	15-08-08 02:40	19,600	23-08-08 14:20	20,160
06-08-08 19:30	19,460	15-08-08 09:00	20,630	23-08-08 19:50	19,570
07-08-08 01:40	20,370	15-08-08 15:40	19,470	24-08-08 03:00	20,470
07-08-08 08:10	19,660	15-08-08 21:30	20,200	24-08-08 10:00	19,730
07-08-08 13:40	20,270	16-08-08 03:10	19,540	24-08-08 15:30	20,060
07-08-08 19:50	19,510	16-08-08 09:40	20,680	24-08-08 21:10	19,670
08-08-08 02:50	20,320	16-08-08 16:30	19,450	25-08-08 04:30	20,480
08-08-08 09:10	19,710	16-08-08 22:00	20,250	25-08-08 11:50	19,690
08-08-08 14:10	20,130	17-08-08 03:40	19,490	25-08-08 17:40	20,020
08-08-08 21:00	19,620	17-08-08 10:00	20,720	25-08-08 22:30	19,710
09-08-08 03:40	20,320	17-08-08 17:00	19,420	26-08-08 05:50	20,540
09-08-08 10:50	19,800	17-08-08 22:30	20,320	26-08-08 13:20	19,640
09-08-08 15:10	20,010	18-08-08 04:20	19,470	26-08-08 19:10	20,100
09-08-08 21:10	19,680	18-08-08 10:50	20,700	27-08-08 00:00	19,710
10-08-08 04:30	20,320	18-08-08 16:50	19,410	27-08-08 07:00	20,640
10-08-08 11:50	19,780	18-08-08 23:30	20,380	27-08-08 13:50	19,510
10-08-08 17:10	19,960	19-08-08 04:50	19,460	27-08-08 19:30	20,150

Tabla 5.7.2.1 (continuación).
Listado de pleamares y bajamares. E. San Pedro, Bahía Chascos. Campaña de invierno.

Fecha	Altura (m)	Fecha	Altura (m)	Fecha	Altura (m)
28-08-08 01:20	19,570	29-08-08 15:40	19,310	31-08-08 03:30	19,400
28-08-08 07:40	20,670	29-08-08 21:10	20,310	31-08-08 10:10	20,790
28-08-08 14:40	19,390	30-08-08 02:40	19,400	31-08-08 16:40	19,350
28-08-08 20:30	20,210	30-08-08 09:40	20,760	31-08-08 22:20	20,510
29-08-08 02:10	19,440	30-08-08 16:00	19,320	01-09-08 04:10	19,390
29-08-08 08:40	20,710	30-08-08 21:40	20,440		

Tabla 5.7.2.2
Análisis no armónico de mareas. E. San Pedro, Bahía Chascos. Campaña de invierno.

PLANOS DE MAREA	ALTURA SOBRE EL CERO INSTRUMENTAL (m)	ALTURA RESPECTO DEL NIVEL MEDIO MAR (m)
NIVEL MEDIO DEL MAR	-	19,97
ALTURA MEDIA DE LA BAJAMAR	-0,44	19,53
ALTURA MEDIA DE LA BAJAMAR INFERIOR	-0,49	19,48
BAJAMAR MAXIMA	-0,72	19,25
ALTURA MEDIA DE LA PLEAMAR	0,43	20,40
ALTURA MEDIA DE LA PLEAMAR SUPERIOR	0,60	20,57
PLEAMAR MAXIMA	0,85	20,82
AMPLITUD MAXIMA (CONSECUTIVA)	1,56	
AMPLITUD MEDIA DE LA MAREA	0,87	
DESIGUALDAD DIURNA DE LA BAJAMAR	0,09	
DESIGUALDAD DIURNA DE LA PLEAMAR	0,33	

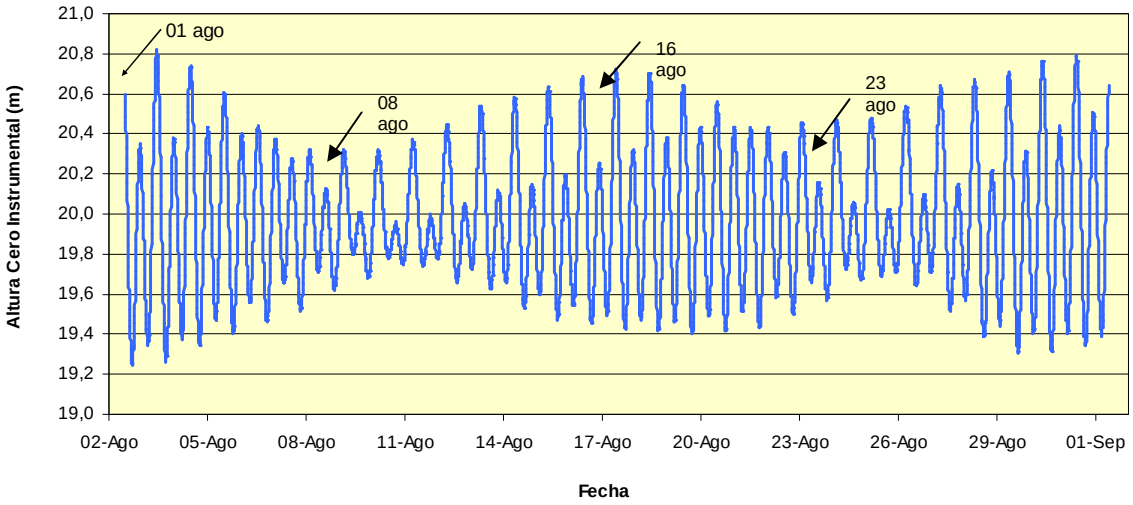


Figura 5.7.2.1. Alturas del nivel del mar. E. San Pedro, Bahía Chascos. Campaña de invierno.

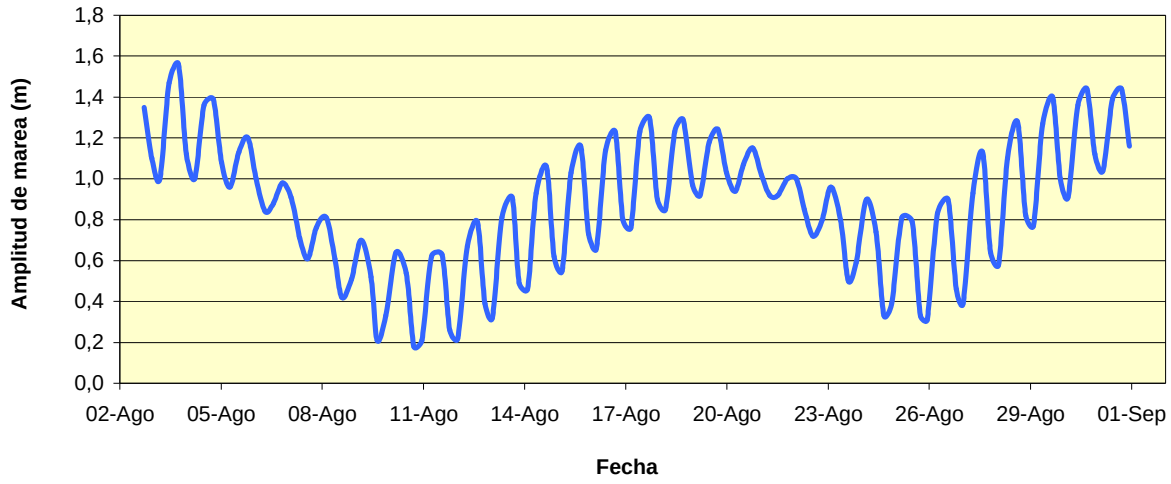


Figura 5.7.2.2. Rango de mareas. E. San Pedro, Bahía Chascos. Campaña de invierno.

- **Resumen Régimen de Mareas Sector Ensenada San Pedro**

Punta Cachos, en el sector de Ensenada San Pedro, Bahía Chascos, presenta un régimen de marea mixto con un componente semidiurno, es decir, con dos pleamares y dos bajamares en un día lunar.

La marea presentó una amplitud media mensual de 0,9 m, lo que representa un valor moderado, y rango máximo de sicigia de 1,6 m.

No se visualizan anomalías significativas de carácter local, en este sentido, la marea de Punta Cachos en el sector de Ensenada San Pedro (Bahía Chascos) es predecible y responde principalmente a la onda astronómica que se origina como compensación del nivel medio del mar, peraltado por acción de los astros, y alterado por factores locales típicos, como son la profundidad y la forma de la costa.

5.7.3 Conclusiones del Estudio de Régimen de Mareas Locales

Punta Cachos, en el sector de Ensenada San Pedro, presenta un régimen de marea mixto con un componente semidiurno, es decir, con dos pleamares y dos bajamares en un día lunar.

La marea presentó una amplitud media mensual de 0,9 m, lo que representa un valor moderado, y rango máximo de sicigia de 1,6 m en Isla Cima Cuadrada.

Asimismo, en el sector de Ensenada San Pedro (Bahía Chascos), no se visualizan anomalías significativas de carácter local, en este sentido, la marea de Punta Cachos es predecible y responde principalmente a la onda astronómica que se origina como compensación del nivel medio del mar, peraltado por acción de los astros, y alterado por factores locales típicos, como son la profundidad y la forma de la costa.

5.8 BIBLIOGRAFÍA DE LOS ESTUDIOS OCEANOGRÁFICOS

Jenkins, G. M. & D.G. Watts. 1968. *Spectral Analysis and its Application.* Holden-Day, 525 pp.

Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA). 2007. “Tablas de Marea de la Costa de Chile, 2007”, Pub. SHOA 3009.