

## CONTENIDO LÍNEA BASE MEDIO FÍSICO

5.3	MEDIO FÍSICO.....	5.3-5
5.3.1	Clima y Meteorología.....	5.3-5
5.3.1.1	Introducción.....	5.3-5
5.3.1.2	Objetivo.....	5.3-5
5.3.1.3	Metodología.....	5.3-5
5.3.1.4	Resultados.....	5.3-5
5.3.1.5	Conclusiones.....	5.3-14
5.3.2	Calidad del Aire.....	5.3-15
5.3.2.1	Introducción.....	5.3-15
5.3.2.2	Objetivo.....	5.3-15
5.3.2.3	Metodología.....	5.3-15
5.3.2.4	Resultados.....	5.3-15
5.3.2.5	Conclusiones.....	5.3-16
5.3.3	Hidrogeología.....	5.3-17
5.3.3.1	Introducción.....	5.3-17
5.3.3.2	Objetivo.....	5.3-17
5.3.3.3	Metodología.....	5.3-17
5.3.3.4	Resultados.....	5.3-17
5.3.3.5	Conclusiones.....	5.3-18
5.3.4	Geología.....	5.3-19
5.3.4.1	Introducción.....	5.3-19
5.3.4.2	Objetivo.....	5.3-19
5.3.4.3	Metodología.....	5.3-19
5.3.4.4	Resultados.....	5.3-19
5.3.4.5	Conclusión.....	5.3-29
5.3.5	Geomorfología.....	5.3-29
5.3.5.1	Introducción.....	5.3-29
5.3.5.2	Objetivo.....	5.3-29
5.3.5.3	Metodología.....	5.3-29
5.3.5.4	Resultados.....	5.3-29
5.3.5.5	Conclusiones.....	5.3-40
5.3.6	Edafología.....	5.3-41
5.3.6.1	Introducción.....	5.3-41
5.3.6.2	Objetivo.....	5.3-41
5.3.6.3	Metodología.....	5.3-41
5.3.6.4	Resultados.....	5.3-41
5.3.6.5	Conclusiones.....	5.3-46
5.3.7	Ruido.....	5.3-46
5.3.7.1	Introducción.....	5.3-46
5.3.7.2	Objetivos.....	5.3-46
5.3.7.3	Metodología.....	5.3-46
5.3.7.4	Resultados.....	5.3-50
5.3.7.5	Conclusiones.....	5.3-52

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 5.3.1-1	Localización Estaciones Meteorológicas .....	5.3-8
Tabla 5.3.2-1	Línea de Base de Calidad del Aire Presente en el Entorno del Proyecto, Registrada Durante el Período Octubre 2007 - Septiembre 2008 .....	5.3-15
Tabla 5.3.2-2	Localización Estación de Monitoreo de Calidad del Aire (EMCA)	5.3-16
Tabla 5.3.7-1	Descripción y Ubicación de los Puntos de Medición Elegidos ....	5.3-47
Tabla 5.3.7-2	Valores de Nivel de Presión Sonora, en dB(A)-Lento, Registrados Durante las Mediciones .....	5.3-50
Tabla 5.3.7-3	Línea Basal de Ruido Diurno y Nocturno y NPS Máximos Permitidos según el DS 146/97 MISEGPRES .....	5.3-52

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 5.3.1-1	Ubicación Estaciones Meteorológicas .....	5.3-8
Figura 5.3.2-1	Ubicación Estaciones de Monitoreo de Calidad del Aire (EMCA)	5.3-16
Figura 5.3.3-1	Antecedentes hidrogeológicos para el área del Proyecto (en rectángulo) de acuerdo al Mapa Hidrogeológico de Chile.....	5.3-18
Figura 5.3.4-1	Unidades Geológicas del Área del Proyecto.....	5.3-21
Figura 5.3.5-1	Geomorfología del Área del Proyecto.....	5.3-31
Figura 5.3.5-2	Aspecto General de la Costa Punta Cachos – Bahía Salado.....	5.3-33
Figura 5.3.6-1	Ubicación de los sondajes T-8 y T-14.....	5.3-43
Figura 5.3.6-2	Resultado de sondajes T-8 y T-14.....	5.3-45
Figura 5.3.7-1	Croquis con la Ubicación de los Puntos de Medición. Puntos 1 a 35.	3-48

## LISTADO DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 5.3.1-1	Clima Desierto costero con nubosidad abundante (BWn) como se aprecia en la foto del área de influencia indirecta. ....	5.3-6
Fotografía 5.3.4-1	Diorita Los Cachos. ....	5.3-23
Fotografía 5.3.4.2	Dique máfico en diorita.....	5.3-23
Fotografía 5.3.4-3	(a) y (b) Ejemplos de Diques graníticos.....	5.3-24
Fotografía 5.3.4-4	Xenolitos máficos en dique granítico. ....	5.3-24
Fotografía 5.3.4-5	Vista representativa del sector del futuro puerto.....	5.3-26
Fotografía 5.3.4-6	Vista representativa del sector del futuro puerto.....	5.3-26
Fotografía 5.3.4-7	Estratos de la Formación Bahía Inglesa en Quebrada Tiburón). Corresponden a depósitos marinos con fósiles correspondientes a aguas relativamente frías. Se aprecia el efecto erosivo asociado a la diferencia en la cementación de los estratos superiores con respecto a los inferiores, donde se aprecian areniscas amarillentas y verdosas conformando el perfil. ....	5.3-27
Fotografía 5.3.4-8	Vista hacia el norte en Quebrada Tiburón. Disecciones que se han producido sobre los estratos de la Formación Bahía Inglesa.....	5.3-28
Fotografía 5.3.5-1	Vista hacia el norte desde Punta Cachos. En primer plano se aprecia	

	el nivel más plano de la terraza y el dominio superficial de una cobertura de arenas eólicas así como también de estructuras rocosas producto de la desagregación de la roca basal.....	5.3-34
Fotografía 5.3.5-2	Vista desde el extremo norte de Punta Cachos hacia el sur. Al fondo cordón de cerros Los Cachos. Se aprecia la fisonomía general del área compuesta por un nivel aterrazado de aproximadamente 2 km de ancho promedio y un sistema de relieves de rocas dioríticas. A nivel de procesos morfogenéticos sobre las superficies se aprecia la acción de arenas eólicas generando una cobertura regular sobre la terraza. Parte de estas arenas han dado forma a dunas trepadoras (flechas) que se encuentran migrando en una dirección general hacia el NE por sobre el cordón Cerro Los Cachos.....	5.3-35
Fotografía 5.3.5-3	Sector de Punta Cachos. En primer plano microdunas activas localizadas al oriente del cordón de Cerros Los Cachos. Se aprecia claramente el proceso acrecional de la arena asociada a obstáculos, en este caso arbustos. Las vertientes de barlovento de la microdunas se encuentran más elongadas en el sentido del viento. La dirección del movimiento es SO-NE. ....	5.3-35
Fotografía 5.3.5-4	Vista hacia el oeste en sector Punta Cachos. Al fondo Cordón de Cerros Los Cachos. En primer plano microdunas de menor altura y actividad que las registradas en la Foto 2.....	5.3-36
Fotografía 5.3.5-5(a)	Vista de rocas alveolares con <i>taffonies</i> (b) Proceso de meteorización por exfoliación de los materiales rocosos en Punta Cachos.....	5.3-36
Fotografía 5.3.5-6	Vista del corte por erosión del depósito marino existente al este de Punta Cachos.....	5.3-38
Fotografía 5.3.5-7	Vista hacia el SE en Quebrada Leones. Al Fondo sistema de cerros de Sierra Colorada. Se aprecian algunas dunas trepadoras migrando hacia el SE, hacia Quebrada Totoral .....	5.3-38
Fotografía 5.3.5-8	Vista hacia el O. Se aprecia la morfología general dominante en la Cordillera de la Costa. Relieves de baja altura y acolinados, laderas suavizadas, concavidades basales.....	5.3-39
Fotografía 5.3.6-1	Vista del Suelo del Sector de Emplazamiento del Proyecto.....	5.3-42
Fotografía 5.3.6-2	Sondaje T-8.....	5.3-44
Fotografía 5.3.6-3	Sondaje T-14.....	5.3-44
Fotografía 5.3.7-1	A y B Punto 1 de medición. C y D Punto 2 de medición. E y F Punto 3 de medición.....	5.3-49

---

## LISTADO DE GRÁFICOS

Gráfico 5.3.1-1	Rosa de Viento por Período, Estación Meteorológica Completa...5.3-9
Gráfico 5.3.1-2	Rosa de Viento Según Período del Día, Estación Meteorológica Completa.....5.3-10
Gráfico 5.3.1-3	Ciclo Diario de Velocidad del Viento.....5.3-11
Gráfico 5.3.1-4	Ciclo Diario de Temperatura.....5.3-12
Gráfico 5.3.1-5	Ciclo Diario Radiación Solar.....5.3-13
Gráfico 5.3.1-6	Ciclo Diario Humedad Relativa.....5.3-14
Gráfico 5.3.7-1	Resumen de los Niveles de Presión Sonora Registrados en los Puntos de Medición. Periodo Diurno .....5.3-50
Gráfico 5.3.7-2	Resumen de los Niveles de Presión Sonora Registrados en los Puntos de Medición. Periodo Nocturno.....5.3-51

## CAPITULO 5 LINEA DE BASE

### 5.3 MEDIO FÍSICO

#### 5.3.1 Clima y Meteorología

##### 5.3.1.1 Introducción

En base a análisis bibliográfico y a datos obtenidos desde estaciones meteorológicas de monitoreo, será posible realizar una caracterización ambiental del componente Clima y Meteorología, tanto a nivel local como regional, para el área de emplazamiento del Proyecto Puerto Castilla.

##### 5.3.1.2 Objetivo

Analizar y caracterizar las variables clima y la meteorología del área de emplazamiento del Proyecto Puerto Castilla, tanto a nivel regional como local.

##### 5.3.1.3 Metodología

Para la caracterización del clima de la zona se realizó un análisis a nivel regional, extraída de la clasificación general y universal<sup>1</sup> y, luego, un análisis a nivel local, basándose en los distritos agroclimáticos definidos por Novoa y Villaseca, donde se caracterizaron las principales variables meteorológicas, como precipitaciones, temperatura, velocidad y dirección del viento, en base a los registros históricos de estación existente más próxima al área de emplazamiento del Proyecto.

Por su parte las variables meteorológicas se obtuvieron a partir de estaciones instaladas en el área de Punta Cachos, con registro del periodo octubre 2007 a septiembre 2008.

##### 5.3.1.4 Resultados

###### A. Caracterización climática general del área del Proyecto

De acuerdo a la clasificación de Köppen, el área del Proyecto se enmarca dentro de un **Clima desértico con nublados abundantes (BWn)**. Este tipo de clima se caracteriza (*Fuenzalida, 1971*) por desarrollar estratocúmulos con un espesor de algunos cientos de metros, que cubren la zona litoral durante la noche y se repliegan durante el día. Esta secuencia de nubosidad y niebla tiene gran continuidad en el transcurso del año, según antecedentes meteorológicos de Caldera señala un promedio 102 días nublados y 44 días despejados (los restantes días corresponden a parcialmente nublados). Ver **Fotografía**

<sup>1</sup> Clasificación de climas de Chile, según Köppen

### 5.3.1-1 siguiente.



**Fotografía 5.3.1-1 Clima Desierto costero con nubosidad abundante (BWn) como se aprecia en la foto del área de influencia indirecta.**

La influencia oceánica produce un régimen térmico moderado con poca amplitud térmica tanto diaria como anual. Las precipitaciones son mayormente de tipo frontal y aumentan de norte a sur. Dicho clima es responsable en gran medida del aspecto general de la vegetación representada por un matorral costero bajo, abierto y con cactáceas.

Como factores determinantes en el comportamiento climático de la zona, corresponden al Anticiclón del Pacífico y la corriente de Humboldt, y en los factores locales se identifican los cordones montañosos de la Cordillera de la Costa y el Valle del Huasco como corredor de la humedad marina hacia el interior.

#### **B. Distritos agroclimáticos**

Según el mapa agroclimático de Chile, el área del Proyecto corresponde a Clima Desierto Subtropical Marino, el cual se extiende hacia el interior del precedente en los valles bajos, desde la frontera con Perú hasta el norte de Coquimbo, y en la costa desde un poco al sur de Antofagasta hasta un poco al sur de La Serena. Ocasionalmente se presentan heladas pero muy ligeras. En invierno el promedio de las temperaturas mínimas absolutas del mes más frío se encuentran entre  $-2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El promedio de las máximas diarias del mes más frío está entre  $10$  y  $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ . En verano, el promedio de las máximas medias de los seis meses más calidos es superior a  $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El régimen hídrico se caracteriza por mantener todo el año seco.

En el sitio del Proyecto, se identificó el siguiente distrito agroclimático:

- **Distrito Agroclimático Caldera (3.441)**

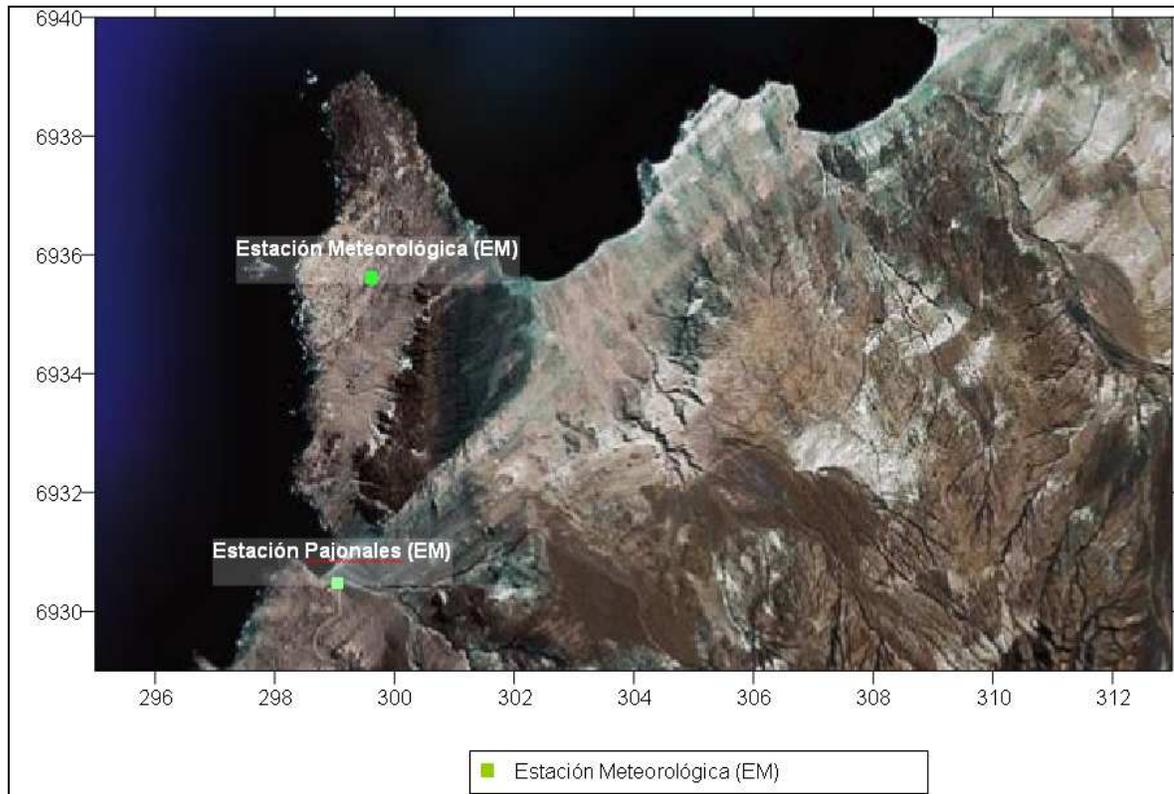
Este distrito se encuentra entre los 24° S (al sur de Antofagasta) y el paralelo 30° S (al sur de La Serena).

El régimen térmico se caracteriza por una temperatura media anual de 16,5 °C, con una máxima media del mes más calido (febrero) de 23,9 °C y una mínima media del mes más frío (julio) de 9,9 °C. El período heladas es de 12 meses, aún cuando pueden haber heladas excepcionales. La suma de temperaturas anuales, base 5 °C, es de 4.180 grados-días, con base 10 °C, es de 2.350 grados-días. Existe sólo un mes (julio), en que la temperatura es inferior a 10 °C; el resto de los meses no presenta limitaciones para el crecimiento de las plantas.

Las lluvias alcanzan los 26,9 mm, distribuidas principalmente entre los meses de mayo a agosto. Como la estación seca es de 12 meses, no es posible cultivar sin riegos. Con riego y en razón a que la costa (litoral) tiene un clima nuboso, las heladas casi no se producen y el verano es más fresco. Esta zona agroclimática presenta una aptitud para la producción de hortalizas muy tempranas y muy tardías, tales como tomate, ají, pimentón, cucurbitáceas en general, porotos verdes y otras. También es apta para frutas subtropicales, como papayo chirimoyos, lúcumos, cítricos, etc., pero no apto para frutales con requerimientos de frío. Es apta, además, para los cultivos tradicionales extensivos.

### **C. Meteorología**

Las variables meteorológicas obtenidas corresponden a las medidas en las estaciones meteorológicas de San Pedro y Meteorológica Completa, en el periodo octubre de 2007 a junio de 2008. La localización de las estaciones meteorológicas se presenta en la siguiente **Figura 5.3.1-1** y **Tabla 5.3.1-1**.



**Figura 5.3.1-1 Ubicación Estaciones Meteorológicas**

**Tabla 5.3.1-1 Localización Estaciones Meteorológicas**

Estación de monitoreo	Coordenadas UTM	
	Este (km)	Norte (km)
Meteorológica Completa	299.615	6.935.613
Meteorológica Pajonales	299.058	6.930.477

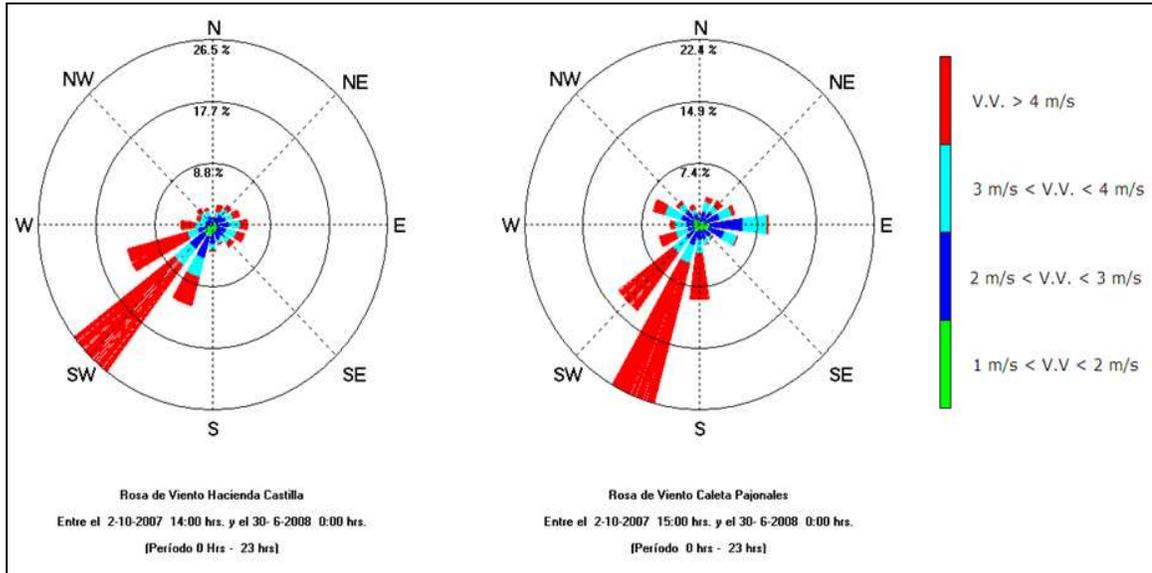
Las variables meteorológicas analizadas corresponden, en las estaciones antes detalladas, corresponden a:

- Velocidad y dirección del viento.
- Temperatura ambiental
- Radiación Solar

Los resultados en forma gráfica y resumida, para el periodo octubre de 2007 a junio de 2008, se presentan a continuación:

- **Campos de Viento**

El **Gráfico 5.3.1-1** presenta los campos de viento representativos del período octubre 2007 - junio de 2008, monitoreados en la Estación Meteorológica Completa.

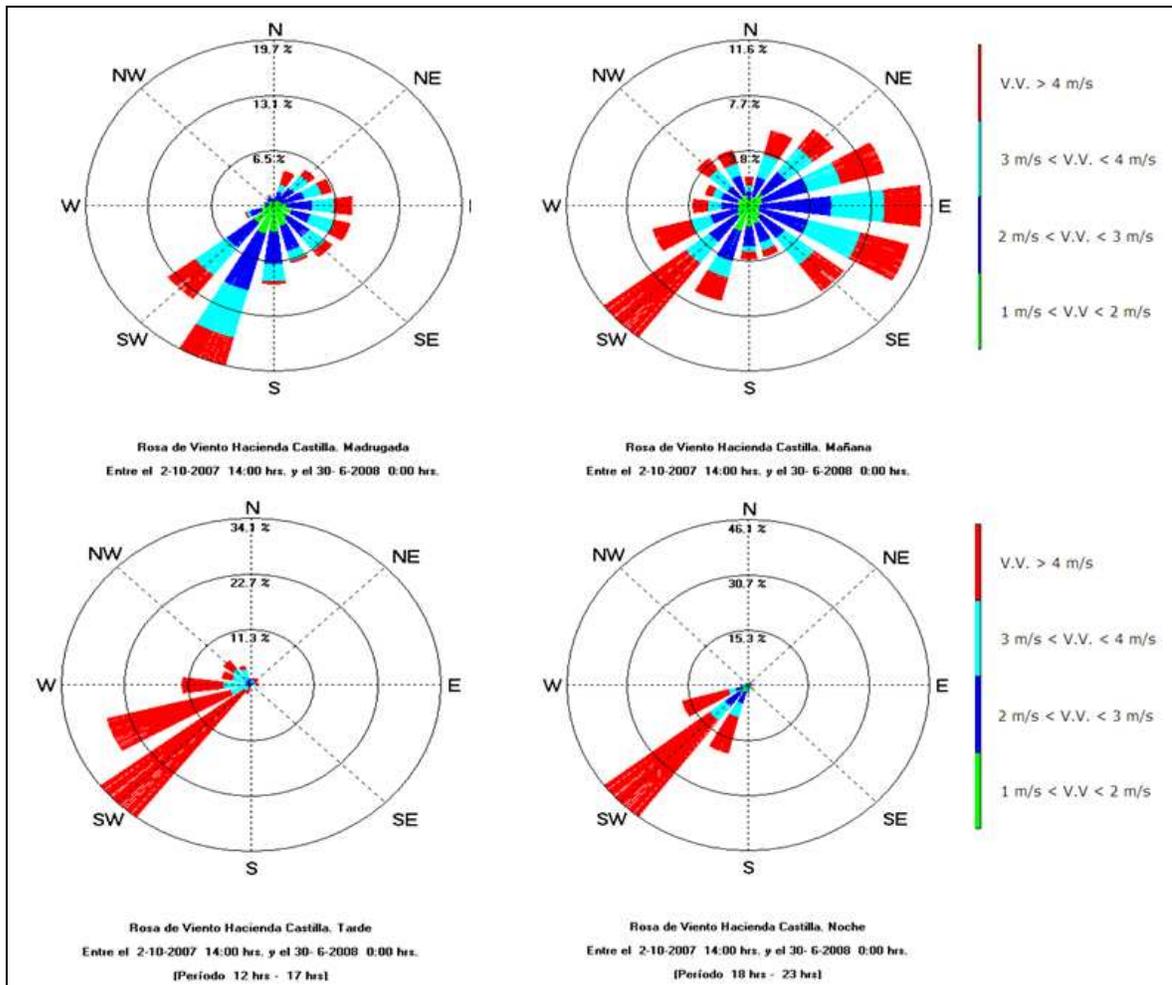


**Gráfico 5.3.1-1 Rosa de Viento por Período, Estación Meteorológica Completa**

Del **Gráfico 5.3.1-1** se desprende que entre la 01:00 y las 00:00 horas, la componente de viento predominante en el período tiene dirección suroeste (SW) con intensidad de moderada a intensa.

Por otra parte, en la zona de Pajonales, se presenta una leve desviación de los vientos hacia el sur sur oeste (SSW), producto de la influencia topográfica de la península.

Finalmente, el **Gráfico 5.3.1-2** presenta los campos de viento representativos de cada período del día, monitoreados en la Estación Meteorológica Completa.

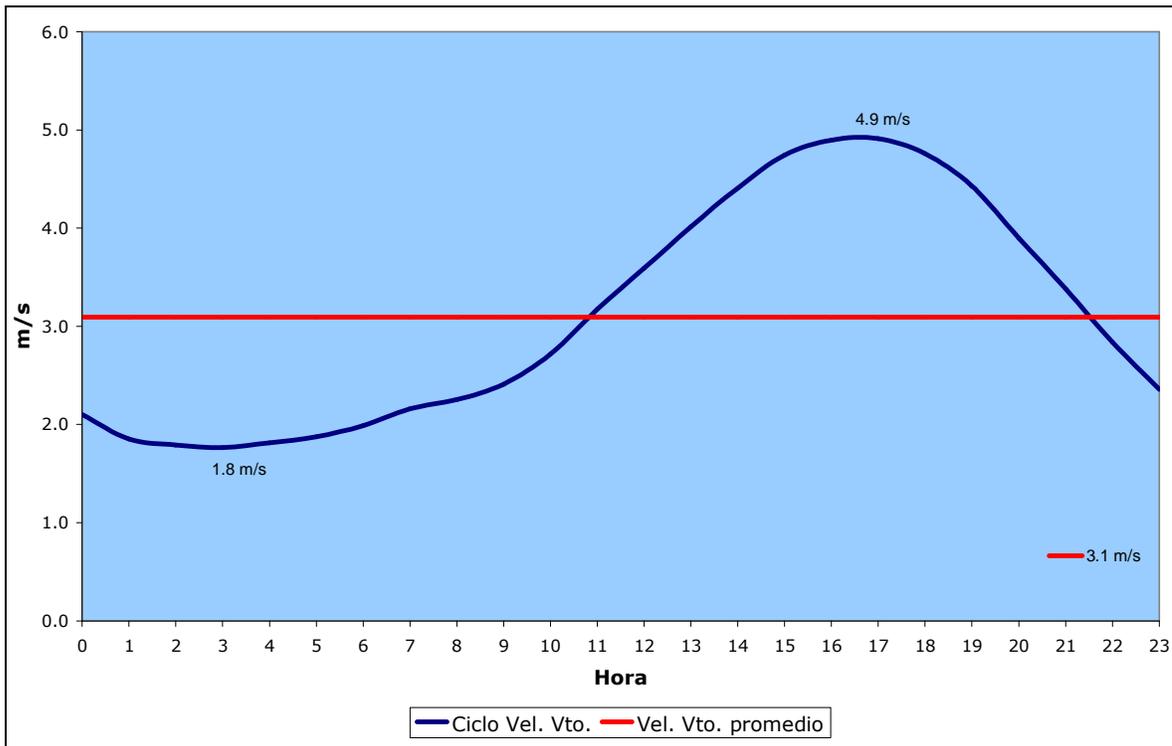


### Gráfico 5.3.1-2 Rosa de Viento Según Período del Día, Estación Meteorológica Completa

De lo expuesto en la figura anterior se desprende que entre las 00:00 y las 05:00 horas, la componente de viento predominante en la zona tiene dirección sur suroeste (SSW) con intensidad de leve a moderada. Entre las 06:00 y las 11:00 horas los campos de viento provienen predominantemente desde el suroeste (SW) con intensidad de moderada a intensa y en menor medida desde el norte noreste (E) con intensidades que varían de leve a moderada.

A partir de las 12:00 horas los campos de viento predominante tienen una componente suroeste (SW) con intensidad alta, situación que se mantiene hasta las 23:00 horas.

En el **Gráfico 5.3.1-3** se presenta el ciclo diario de velocidad de viento medida en la zona durante el período considerado en el estudio.



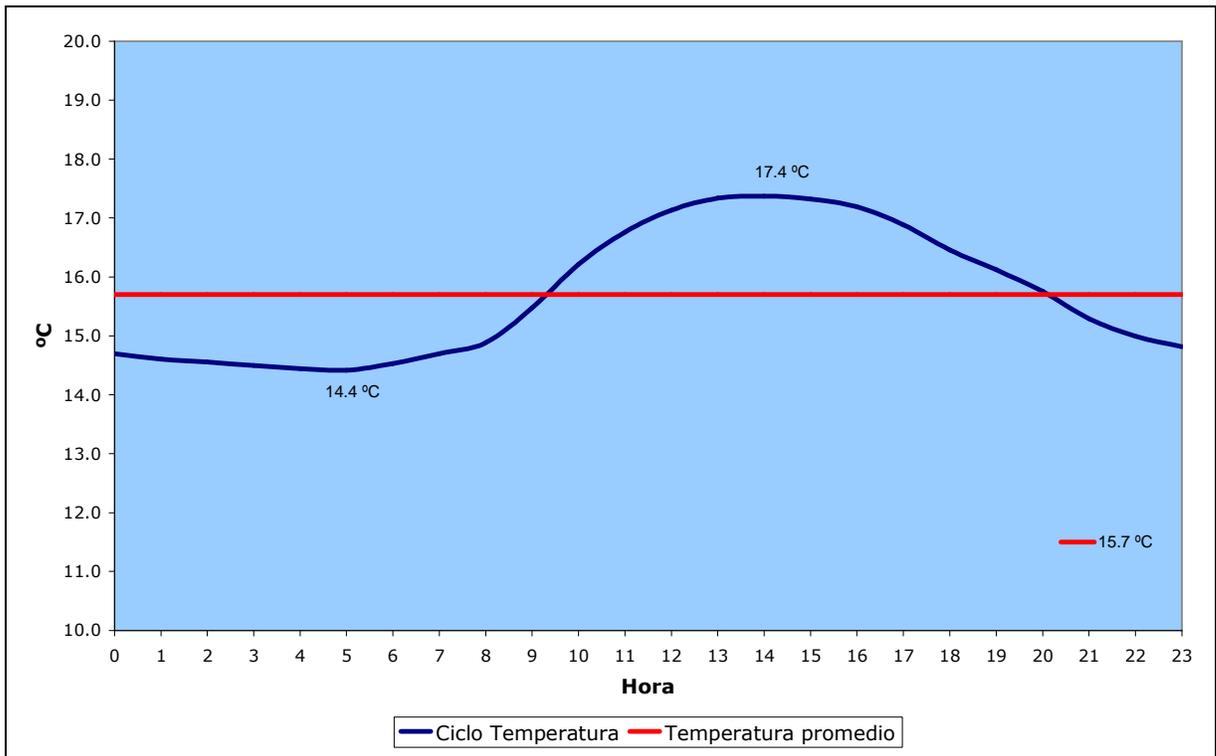
**Gráfico 5.3.1-3 Ciclo Diario de Velocidad del Viento**

De lo expuesto en la figura anterior, se desprende que la velocidad de viento promedio medida en la zona durante el período considerado en el análisis alcanzó a 3,1 m/s; observándose además que los mayores vientos se registran a las 17:00 horas, los que alcanzan en promedio a 4,9 m/s. Por otra parte, en el período del amanecer se registran los vientos más débiles, los que en promedio alcanzan a 1,8 m/s.

- Temperatura

En el Gráfico **Figura 5.3.1-4** se muestra el ciclo diario de la temperatura ambiental imperante en la zona para el período de estudio, en la cual se observa que durante las horas del día las temperaturas aumentan presentándose el máximo de éstas a las 14:00 horas y alcanzando a 17,4 °C; mientras que las temperaturas mínimas se presentan a las 05:00 y las 07:00 de la mañana, hora en la cual el promedio alcanza a 14,4 °C.

Esta fluctuación de la temperatura durante el día es considerada más bien leve y está influenciada claramente por el efecto regulador del mar, lo que se traduce en que la temperatura promedio alcanzó a 15,7 °C y la amplitud térmica fue de sólo tres grados.

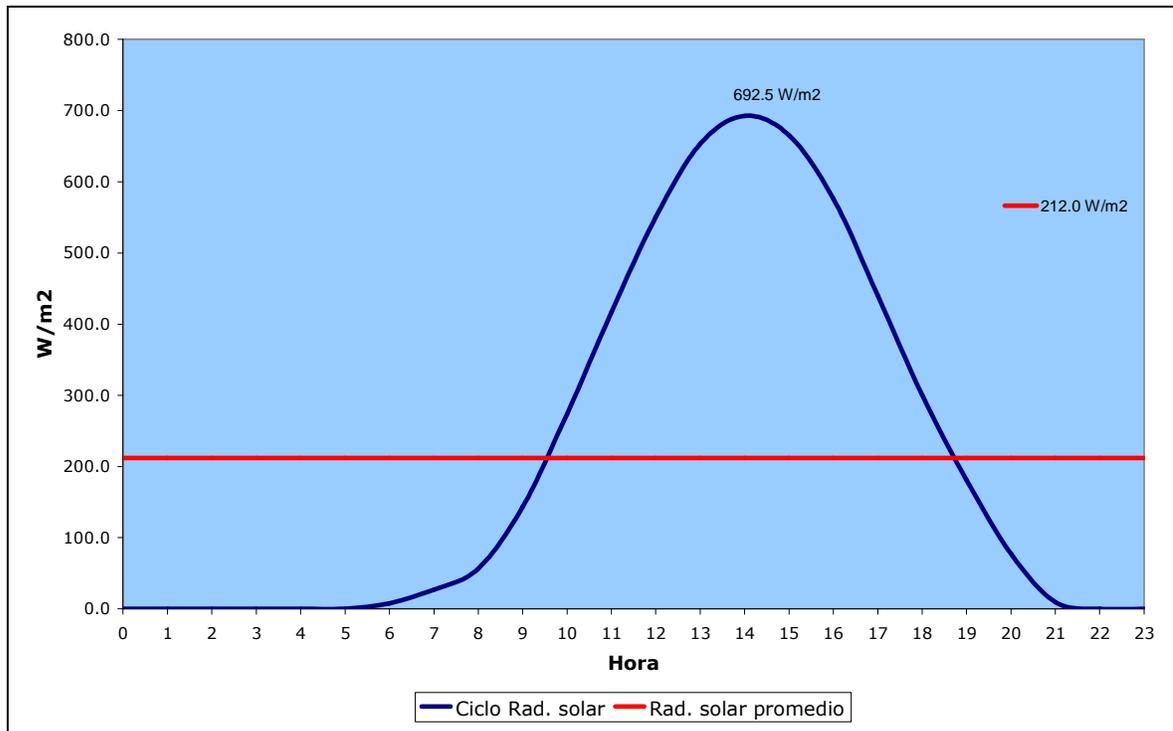


**Gráfico 5.3.1-4 Ciclo Diario de Temperatura**

- Radiación Solar

En el **Gráfico 5.3.1-5** se muestra el comportamiento horario de la radiación solar medida en el periodo considerado en el análisis, en la cual se observa que la hora en la cual se produce la mayor radiación solar incidente corresponde a las 14:00 horas y alcanza a 698 W/m<sup>2</sup>, mientras que la radiación solar promedio en el período alcanzó a 212 W/m<sup>2</sup>.

Por otra parte, según se observa en el **Gráfico 5.3.1-5**, en la zona de Punta Cachos el amanecer se produce a las 5:00 de la mañana, mientras que el ocaso se produce a las 21:00 horas. Lo anterior se debe a que la zona corresponde a un sector costero sin interferencias naturales que adelanten el ocaso.



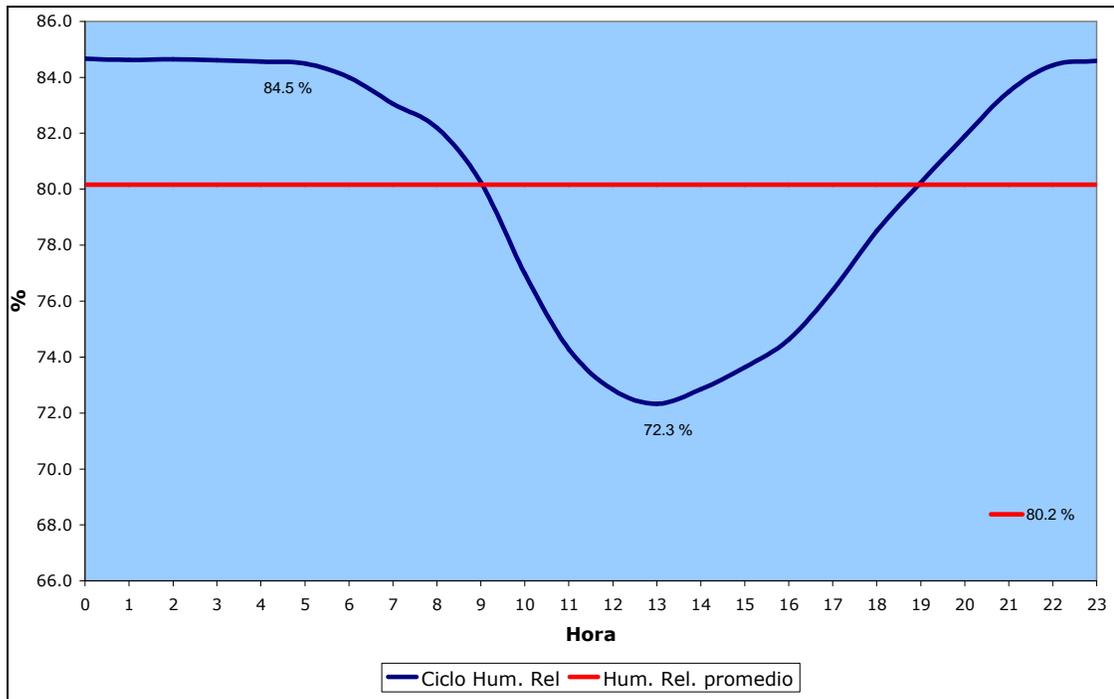
**Gráfico 5.3.1-5 Ciclo Diario Radiación Solar**

- Humedad Relativa

En el **Gráfico 5.3.1-6** se observa el ciclo diario de la humedad relativa en la zona, el cual presenta un comportamiento inverso al comportamiento de la temperatura. Es decir, los valores aumentan en las primeras horas del día y en horas de la noche, mientras que los valores de humedad disminuyen durante el día.

El valor promedio de humedad relativa del aire en la zona alcanza a un 80,2%, registrándose los valores mínimos aproximadamente a las 13:00 horas, hora en la cual el promedio de humedad relativa alcanzó a 72,3%.

Por otra parte, los valores máximos de humedad relativa se registran aproximadamente a las 6:00 de la mañana y en promedio alcanzan a 84,5%.



**Gráfico 5.3.1-6 Ciclo Diario Humedad Relativa**

- **Precipitaciones**

Las precipitaciones son extremadamente variables, estas se presentan en los meses de junio, julio y agosto, con una suma media anual de 24 mm en Caldera, concentrando entre un 80% y 90 % de precipitaciones en los meses mencionados. Sin embargo, seis de cada diez años presentan una suma total de precipitaciones inferiores al promedio; dos de cada diez años una suma anual entre los valores comprendidos entre el promedio y el doble del promedio (Antonioletti, 1972.)

### 5.3.1.5 Conclusiones

El Proyecto se ubica en una zona que posee clima de tipo desértico subtropical marino, específicamente en Distrito Agroclimático Caldera.

En cuanto a los resultados obtenidos de variables meteorológicas se desprende que la velocidad de viento promedio medida durante el período analizado alcanzó a 3,1 m/s en dirección SW. Por su parte la fluctuación de la temperatura durante el día es considerada más bien leve y está influenciada claramente por el efecto regulador del mar, lo que se traduce en que la temperatura promedio alcanzó a 15,7°C y la amplitud térmica fue de sólo de tres grados. La radiación solar muestra un comportamiento horario, alcanzando a las 14:00 su mayor. Finalmente, el valor promedio de humedad relativa del aire en la zona alcanza un 80,2% y el promedio de precipitaciones es de 24 mm en Caldera.

## 5.3.2 Calidad del Aire

### 5.3.2.1 Introducción

En la siguiente sección, se describe y caracteriza la calidad del aire referida principalmente a los niveles y cumplimiento normativo de las partículas y gases contaminantes (MP10, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y CO) presentes en el sector de Punta Cachos y representativas del área de emplazamiento del Proyecto Puerto Castilla.

### 5.3.2.2 Objetivo

La caracterización ambiental de este componente permitirá conocer la calidad del aire actual del área del Proyecto.

### 5.3.2.3 Metodología

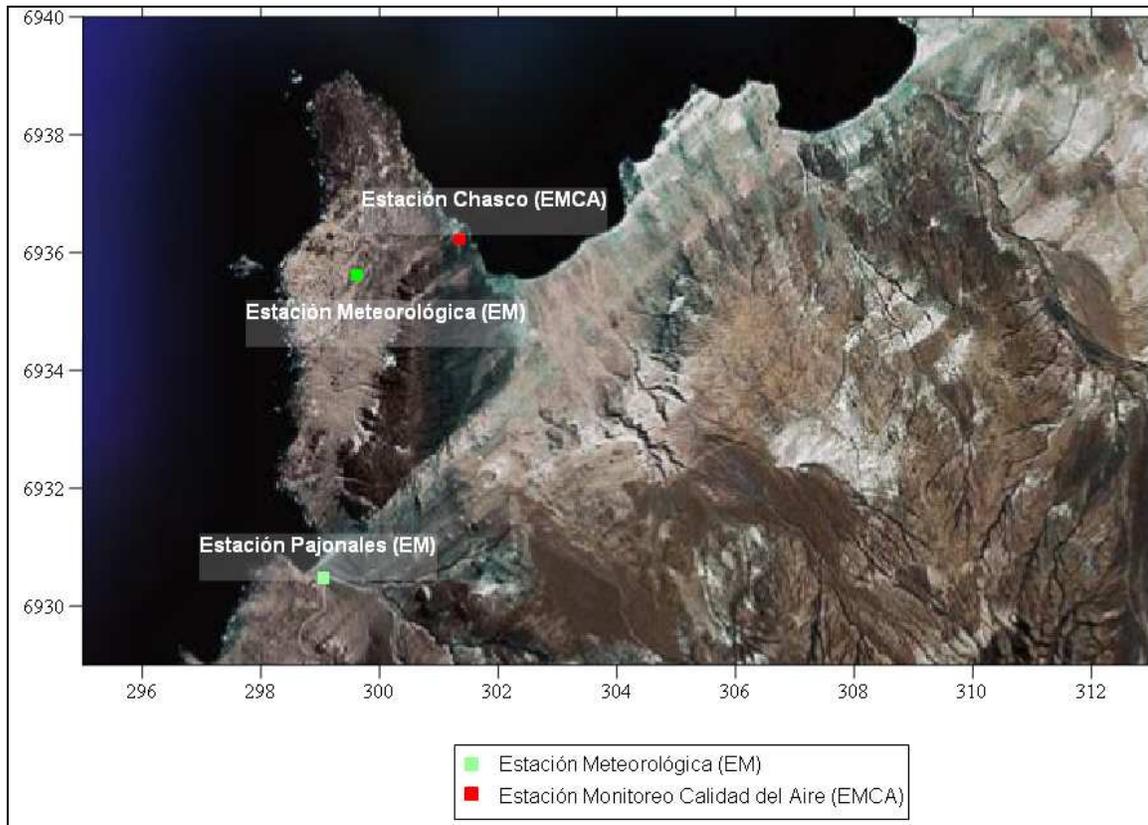
Debido a la inexistencia de datos de calidad del aire, se procedió a instalar una estación de monitoreo, para obtener registros entre los meses de Octubre 2007 a Septiembre 2008.

### 5.3.2.4 Resultados

Para elaborar la Línea de Base de Calidad del Aire imperante en el área de influencia del Proyecto se consideró las mediciones MP10, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y CO monitoreadas durante el respectivo período, el cual se muestra en la **Tabla 5.3.2-1**. La localización y ubicación de las estaciones monitoreo se muestra en la **Figura 5.3.2-1** y en la **Tabla 5.3.2-2**.

**Tabla 5.3.2-1 Línea de Base de Calidad del Aire Presente en el Entorno del Proyecto, Registrada Durante el Período Octubre 2007 - Septiembre 2008**

Parámetro	Estadística	Valor medido	Norma
Período Mediciones		Oct '07 – Jun '08-	
SO <sub>2</sub>	Promedio del período	1,7	80
	Percentil 99 de promedios diarios	2,9	250
	Máximo promedio diario	3,6	365
	Máximo promedio horario	16,8	1.000
MP10	Promedio del período	24	50
	Percentil 98 de promedios diarios	35	150
NO <sub>2</sub>	Promedio del período	0,1	100
	Percentil 99 valores máximos horarios	2,7	400
CO	Percentil 99 valores máximos horarios	1.737	10.000
	Percentil 99 valores máximos 8 horas	828	40.000



**Figura 5.3.2-1 Ubicación Estaciones de Monitoreo de Calidad del Aire (EMCA)**

**Tabla 5.3.2-2 Localización Estación de Monitoreo de Calidad del Aire (EMCA)**

Estación de Monitoreo	Coordenadas UTM	
	Este (km)	Norte (km)
Calidad del Aire Caleta Auxiliar Chascos	301.591	6.936.374

### 5.3.2.5 Conclusiones

Los niveles de línea base observados en la zona, establece que no excederían los valores determinados por las Normas Primarias de Calidad de Aire (D.S. N° 113/02, D.S. N° 114/02, D.S. N° 115/02 todos del MINSEGPRES) y Norma Secundaria de Calidad del Aire (D.S. N° 185/92 del MINSEGPRES).

### **5.3.3 Hidrogeología**

#### **5.3.3.1 Introducción**

A continuación se describen las principales características hidrogeológicas del área de estudio.

#### **5.3.3.2 Objetivo**

Identificar y caracterizar el marco hidrogeológico en que se encuentra inserta el área de influencia del proyecto.

#### **5.3.3.3 Metodología**

La caracterización de la hidrogeología del área del proyecto se basó fundamentalmente en el nivel de detalle entregado por el Mapa Hidrogeológico de Chile.

#### **5.3.3.4 Resultados**

##### **A. Ambiente Climático**

De acuerdo a lo indicado en la **sección 5.3.1** las precipitaciones son extremadamente variables en el área del proyecto, presentándose éstas en los meses de junio, julio y agosto, con una suma media anual de 24 mm en Caldera. La variabilidad interanual se expresa en que seis de cada diez años presentan una suma total de precipitaciones inferiores al promedio así como también; dos de cada diez años presentan una suma anual con valores superiores al promedio.

De acuerdo a estos antecedentes, las recargas de los acuíferos para la zona costera y llanos interiores proviene principalmente del aporte pluvial siendo este escaso y altamente variable. Los acuíferos con mayor desarrollo son los correspondientes con los fondos de valle de cuencas preandinas con cabeceras en ambientes climáticos más húmedos desde donde se alimentan las napas.

##### **B. Antecedentes Hidrogeológicos**

De acuerdo al Mapa Hidrogeológico de Chile en el área del Proyecto se desarrollan 2 tipos de permeabilidades:

- **Áreas con permeabilidad primaria, en formaciones porosas. Corresponde a** suelos de depósitos no consolidados y rellenos correspondientes a sedimentos marinos, aluviales y eólicos. Se localizan a nivel de terrazas marinas y llanos aluvionales interiores.

- **Áreas con muy baja a nula permeabilidad a nivel de unidades geológicas** compuestas de rocas ígneas, metamórficas ambas existentes en el cordón de cerros denominado Sierra Colorada.



**Figura 5.3.3-1 Antecedentes hidrogeológicos para el área del Proyecto (en rectángulo) de acuerdo al Mapa Hidrogeológico de Chile**

Antecedentes existentes para la Quebrada Algarrobal<sup>2</sup> aproximadamente 10 km al este de la intersección con la Ruta 5 norte indican la presencia de agua subterránea a una profundidad de 20 a 30 m consistente en un estrato de gravas con porcentajes variables de limos y arcillas. Esta capa tiene como límite inferior estratos de limos arenosos y arcillas arenosas con valores bajos de resistividad.

De acuerdo a las características generales de la pendiente y del sentido del escurrimiento, es posible indicar que la dirección predominante del flujo del agua subterránea sigue el sentido general de la pendiente que es de Este a Oeste. El frente montañoso costero en el borde occidental del Llano Hacienda Castilla actúa como material impermeable, para las aguas subterráneas provenientes de las quebradas existentes hacia el Este.

### 5.3.3.5 Conclusiones

Debido a las características del área del Proyecto se reconocen dos ambientes hidrogeológicos el primero con permeabilidades altas correspondientes con depósitos marinos y llanos aluvionales de Hacienda Castilla y el otro correspondiente a materiales impermeables que forman parte de los sistemas montañosos costeros existentes particularmente la Sierra Colorada.

<sup>2</sup> Estudio de Impacto Ambiental Proyecto El Morro.2008. Sociedad Contractual Minera El Morro.

Tanto en los ambientes costeros como interiores los sondajes realizados en las correspondientes áreas del Proyecto no indican la presencia de agua subterránea.

### **5.3.4 Geología**

#### **5.3.4.1 Introducción**

En la siguiente sección, se describirá y caracterizará el marco geológico general del lugar, junto con las unidades geológicas, formaciones superficiales, estratigrafía y estructuras presentes en el área de localización del Proyecto.

#### **5.3.4.2 Objetivo**

Caracterizar la geología del área de localización Proyecto.

#### **5.3.4.3 Metodología**

Para caracterizar este componente se realizó una visita a terreno los días 28 y 29 de marzo de 2009, para conocer las características geológicas y geomorfológicas del sector. Los antecedentes obtenidos en terreno se complementaron por estudios bibliográficos y mapas geológicos de la zona, tales como la Carta Geológica Castilla y Totoral Bajo, SERNAGEOMIN 2003, Región de Atacama. 1:100.000. Serie Geología Básica. También se revisaron materiales de otros estudios previos, entre ellos los emanados de los procesos de evaluación ambiental de otros proyectos en la zona (Portal SEIA, [www.e-seia.cl](http://www.e-seia.cl)). Además, se utilizaron imágenes satelitales obtenidas del programa Google Earth.

#### **5.3.4.4 Resultados**

##### **A. Marco Geológico General**

En el área de Punta Cachos y Bahía Salada se reconocen rocas intrusitas de tipo dioríticas que conforma un pilar tectónico de rocas duras en el cierre sur de la Bahía Salada siendo esta una condición estructural para el desarrollo de procesos de programación del litoral con desarrollo de bahías de tipo lobulada tal como ocurre en el sector de Bahía Inglesa y en la Región de Coquimbo en las Bahías de Coquimbo, Guanaqueros y Tongoy.

De igual manera se identifican por sobre las unidades geológicas intrusitas extensas superficies con depósitos marinos dispuestos en forma horizontal y sub-horizontal conformando planicies de abrasión de aproximadamente 8 a 10 km en sentido W-E.

---

## **B. Unidades Geológicas Identificables para el Área del Proyecto**

En la zona correspondiente a la península Punta Cachos se encuentran afloramientos de rocas metamórficas paleozoicas y rocas plutónicas de edad triásica. Estas rocas del basamento de la cordillera de la costa se encuentran parcialmente cubiertas por sedimentos marinos del Cuaternario. Además, una parte de la península esta cubierta por depósitos cuaternarios eólicos.

En la **Figura 5.3.4-1** se indica en forma simplificada la distribución de las principales unidades geológicas en el área del proyecto.

---

**Figura 5.3.4-1 Unidades Geológicas del Área del Proyecto**

A continuación se caracterizan las unidades geológicas y formaciones superficiales más importantes del área de emplazamiento del Proyecto. Los antecedentes se han generado en base a estudios de campo y análisis de la Carta Geológica Castilla-Total Bajo<sup>3</sup>, así como de otros antecedentes bibliográficos existentes para el área.

- **Complejo Metamórfico de Chañaral (DCce)**

El Complejo Metamórfico de Chañaral está compuesto por rocas de edad Devónica Carbonífera. Este Complejo Metamórfico está constituido por metareniscas, pizarras y filitas dispuestos en forma paralela a la línea de costa. Estas unidades se emplazan principalmente a nivel de costa subyaciendo a los depósitos eólicos y aluvionales correspondientes con procesos ocurridos durante el cuaternario.

Por otra parte, se interpreta esta unidad como resultado de sedimentación y posterior acreción e intensa deformación a lo largo de la zona de subducción que existe por lo menos desde el paleozoico.

- **Diorita Los Cachos (TrJdlc)**

Se localizan principalmente en áreas cercanas a la costa. Para el caso del área de Punta Cachos las rocas metamórficas del Complejo Metamórfico de Chañaral se encuentran instruidas por un extenso cuerpo diorítico denominado Diorita los Cachos compuesto en términos litológicos por dioritas cuarcíferas de edad triásica superior.

Este tipo de roca dura ha dado la conformación de una línea de costa irregular en el área de Punta Cachos (Ver **Figura 5.3.4-1** y **Fotografía 5.3.4-1**).

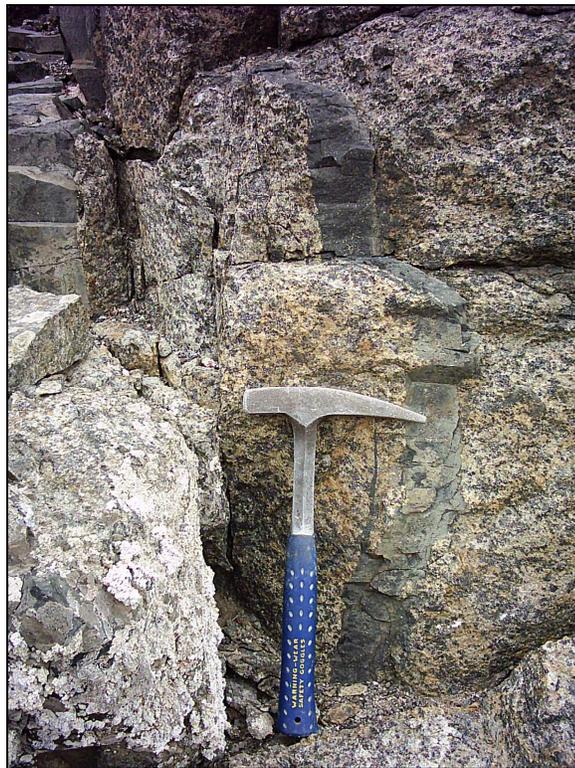


<sup>3</sup> SERNAGEOMIN, 2003. Carta Geológica Castilla y Ttotal Bajo, Región de Atacama. 1:100.000. Serie Geología Básica.

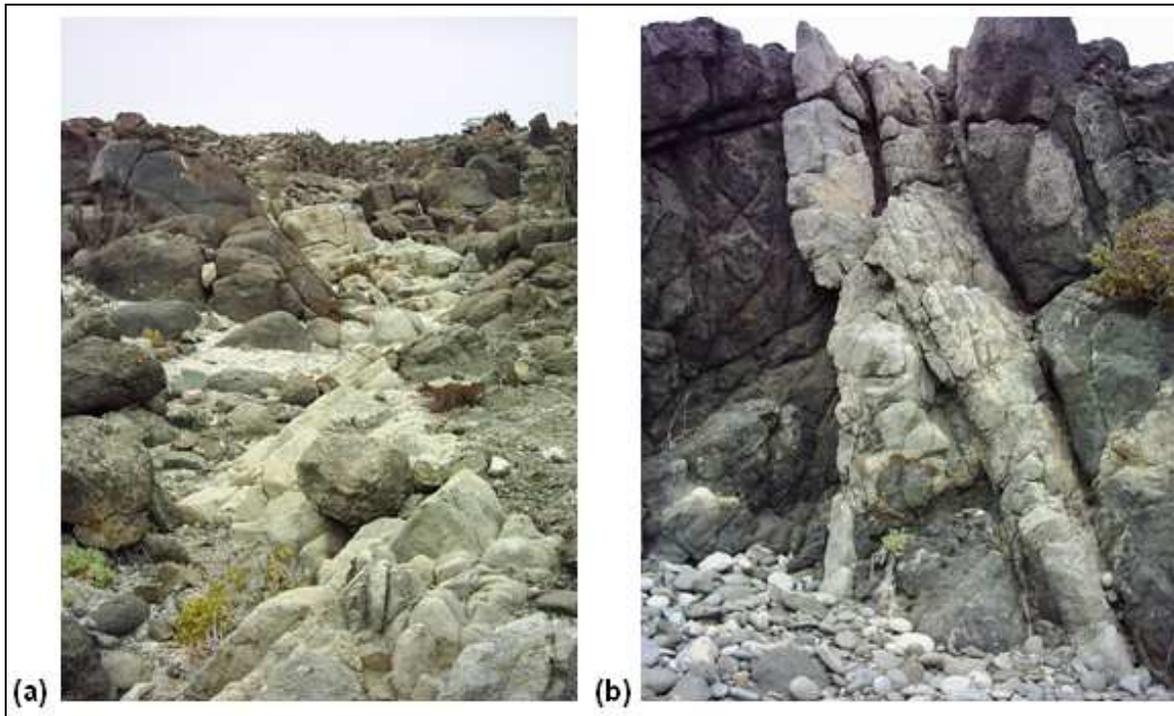
### **Fotografía 5.3.4-1 Diorita Los Cachos.**

En el área del proyecto frecuentemente, se observan diques y vetas máficos de un espesor variable entre algunos cm hasta 1 m aproximadamente (Ver **Fotografía 5.3.4-2**). Además, se observa diques de material granítico, que por lo general tienen un espesor mayor comparado con los diques máficos (Ver **Fotografía 5.3.4-3**). Con frecuencia se puede observar xenolitos de rocas máficas dentro de estos diques (Ver **Fotografía 5.3.4-4**).

Por lo general, los diques demuestran rumbos de orientación N-S o NE-S-W, lo que coincide aproximadamente con el rumbo de la falla de Atacama. El mismo rumbo demuestran fracturas y grietas observadas en la roca. En ninguna parte del sector observa indicadores de fallas activas.



**Fotografía 5.3.4.2 Dique máfico en diorita.**



Fotografía 5.3.4-3 (a) y (b) Ejemplos de Diques graníticos.



Fotografía 5.3.4-4 Xenolitos máficos en dique granítico.

## **Estratos de Caldera (Qec (1 y 2))**

**Qec 1 Sucesión alta:** Corresponde a un sistema de terrazas de abrasión marina de edad Cuaternaria. Incluye 3 terrazas de abrasión marina superiores, con sus depósitos litorales asociados, los que se desarrollan entre las cotas 105 y 210m. Contienen, en su terraza más baja, ejemplares de fauna fósil de aguas cálidas tales como *Donax peruvianus* y *Trachycardium procerum*, por lo que sea asigna tentativamente al Estado Osotópico 11, de ca 400 ka (Ortlieb *et al.*, 1997; Guzmán *et al.*, 2000)

**Qec 2 Sucesión baja** Corresponde a una secuencia sedimentaria clástica de edad cuaternaria, compuesta por conglomerados, areniscas y coquinas, distribuidas en forma irregular a lo largo de la costa hasta el área de Caldera por el norte con anchos variables hacia el interior llegando a alcanzar los 20 km al este de Caldera y Bahía de Copiapó.

Corresponde a un sistema de terrazas de abrasión marina de edad Cuaternaria, en general bajo los 105 msnm, denominada Estratos de Caldera. Estos depósitos presentan estratos con fósiles marinos lo que representa un valor paleontológico y cultural. En el área de Punta Cachos se distribuyen en forma menor en el sector central y norte y en forma mayoritaria en el área de la Quebrada el Tiburón.

- **Gravas Totoral (Mgt)**

Corresponden a bloques, gravas, arenas y arcillolitas moderadamente cementadas. Se le asigna una unidad del Mioceno Inferior.

- **Formaciones Superficiales**

En el área de Punta Cachos las formaciones superficiales están integradas principalmente por depósitos eólicos y aluviales cuaternarios y los suelos edáficos que se desarrollan sobre las formaciones geológicas correspondientes a Diorita Los Cachos y Complejo Metamórfico de Chañaral,

- **Depósitos Aluviales (Qal (2a y 1))**

**Qal (1):** Corresponden a materiales compuestos por bloques, gravas y arenas con una matriz de arena y arcillas emplazados principalmente en las secciones medias de la Quebrada Leones y Quebrada Tiburón y Llano de Hacienda Castilla-Punta de Díaz.

**Qal (2a):** Estos materiales aparecen identificados en la vertiente oriental del Cordón del Cerro Los Cachos y sección media de la Quebrada Tiburón. Corresponden principalmente a materiales gruesos (bloques y gravas) en una matriz areno arcillosa.

**Qal (2b):** Corresponden a materiales aluvionales finos (limos), identificables en la parte distal de los depósitos aluvionales existentes en el Llano Hacienda Castilla-Punta de Díaz.

- **Arena (Depósitos Eólicos Cuaternarios) (Qe (1a))**

Estos depósitos se encuentran ampliamente distribuidos sobre Punta Cachos. Corresponden fundamentalmente a coberturas arenosas en algunos casos formando dunas. Hacia el este del Cordón de Cerros los Cachos se presentan estructuras dunarias del tipo parabólicas y upsiloidales migrando hacia el NE desde el sector de Caleta Pajonal. Sobre el área de punta Cachos se presenta como una cobertura de arenas sin compactación ni formas definidas. Sobre las laderas del Cordón de Cerros Los Cachos estas dunas se presentan como estructuras del tipo trepadoras migrando hacia el este (ver **Fotografía 5.3.4-5** y **5.3.4-6**).



**Fotografía 5.3.4-5** Vista representativa del sector del futuro puerto



**Fotografía 5.3.4-6** Vista representativa del sector del futuro puerto

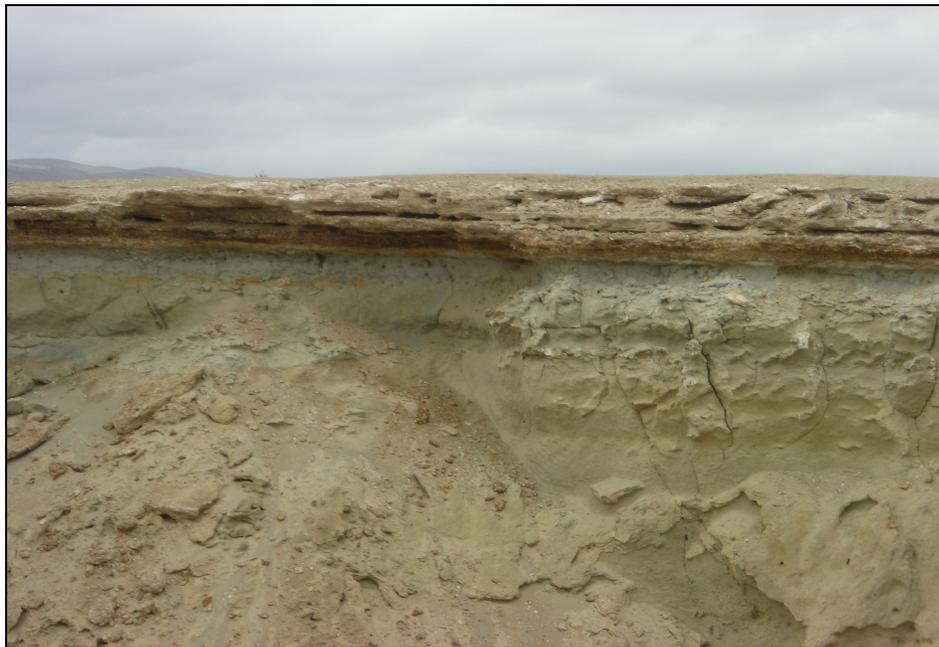
- **Depósitos Activos (Qe2a)**

Corresponde a depósitos de arenas no cohesivas, móviles de petrografía semejante a las inactivas. Son clasificados como *Dunas lineares* o "*seif*" con sentido de movimiento noreste, dado por los vientos predominantes. En las principales quebradas, donde dominan vientos encauzados, se orientan en direcciones al este o al noroeste. Forman franjas, de 1 a 20 km de largo por 5 m a 4 km de ancho, constituidas internamente por dunas de 5 m de ancho en promedio.

- **Formación Bahía Inglesa (MPIbi)**

Corresponden a conglomerados areniscas coquinoideas, conglomerados fosfáticos, limolitas y diatomitas de origen marino. Se le asigna una edad de Mioceno-medio a Plioceno-Inferior. Aflora en forma escasa y discontinua en el área del Proyecto.

Presenta un espesor de aproximadamente 15 m en la Quebrada Tiburón (Ver **Fotografía 5.3.4-7 y 5.3.4-8**).



**Fotografía 5.3.4-7 Estratos de la Formación Bahía Inglesa en Quebrada Tiburón. Corresponden a depósitos marinos con fósiles correspondientes a aguas relativamente frías. Se aprecia el efecto erosivo asociado a la diferencia en la cementación de los estratos superiores con respecto a los inferiores, donde se aprecian areniscas amarillentas y verdosas conformando el perfil.**



**Fotografía 5.3.4-8 Vista hacia el norte en Quebrada Tiburón. Disecciones que se han producido sobre los estratos de la Formación Bahía Inglesa.**

- ***Estratigrafía***

A continuación se describen las características estratigráficas del área de Punta Cachos considerando los antecedentes de Estudios de Mecánica de Suelos<sup>4</sup>.

- **Unidad 1:** Bajo una cubierta de arena limosa con orgánicos de espesor entre 0,15 a 0,3 m, se detecta suelo conformado por arena con conchuelas y estratificaciones de bolones subredondeados y bloques de roca de hasta 26" de tamaño. Esta Unidad se detecta hasta profundidades entre 0,7 a 1,8 m de profundidad.
- **Unidad 2:** Bajo la Unidad 2 se detecta roca intrusiva del tipo granodiorita color gris a gris amarillento con sectores naranjos y negruzcos, fracturada a muy fracturada con sectores meteorizados. Esta Unidad es reconocida hasta los 35 m de profundidad en los sondajes.

- ***Estructuras***

En el área de Punta Cachos y Bahía Salado no existen estructuras geológicas locales o regionales que puedan ser reconocidas a través de cartografía y trabajos de terreno.

<sup>4</sup> Petrus, Consultores Geotécnicos. 2008. Informe de Mecánica de Suelos elaborado para MPX Energía de Chile.

Fuera del área Proyecto hacia el este en el Llano Hacienda Castilla se reconoce la Gran Falla de Atacama de edad Cretácica Inferior con reactivaciones durante el Cenozoico. Este rasgo tiene un carácter regional abarcando gran parte del norte de Chile.

#### **5.3.4.5 Conclusión**

Las unidades geológicas existentes en el área del Proyecto son heterogéneas en edades y composición, reconociéndose rocas antiguas del Devónico y Carbonífero hasta depósitos eólicos actuales.

En el área de Punta Cachos se reconocen unidades geológicas correspondientes a rocas metamórficas del Complejo Metamórfico de Chañaral y afloramientos de roca ígnea conformando el área de Punta Cachos.

Las áreas de topografía más plana están cubiertas con materiales aluvionales y eólicos actuales en espesores variables, en algunos sectores formando dunas activas.

### **5.3.5 Geomorfología**

#### **5.3.5.1 Introducción**

El presente informe corresponde al desarrollo de la Línea de Base para la componente geomorfología del Proyecto a desarrollarse en el área de Punta Cachos en la costa de la Región de Atacama.

#### **5.3.5.2 Objetivo**

Identificar y caracterizar el componente geomorfológico del área del Proyecto.

#### **5.3.5.3 Metodología**

La identificación y caracterización de las formas y dinámicas geomorfológicas para el área de Punta Cachos se realizó mediante trabajo de terreno realizado los días 12 y 13 de diciembre del año 2007.

El reconocimiento de terreno se realizó con apoyo de imágenes y cartografía 1:75.000 del área del Proyecto.

#### **5.3.5.4 Resultados**

En el área de influencia del proyecto se reconocen tres macro unidades geomorfológicas, que corresponden de Oeste a Este a:

- Unidad Litoral y Costa: Esta Unidad se ha subdividido en dos Subunidades que corresponden a Litoral y Terrazas de Abrasión Marinas.
- Unidad Baja Montaña: Corresponde a los relieves de la Cordillera de la Costa, con alturas no superiores a los 800 m.s.n.m, denominado Sierra Colorada y orientación predominante NE-SO.
- Unidad Llanos Interiores: Corresponde a una serie de relieves planos y lomas 5 resultantes de complejos procesos de erosión y acumulación de materiales por la acción fluvial durante paleoambientes más húmedos, así como también por la acción del viento en periodos actuales.

Lo anterior se puede observar en la **Figura 5.3.5-1**.

---

<sup>5</sup> Boergel, R. 1983. Colección Geomorfología de Chile. Geomorfología. Instituto Geográfico Militar.

---

**Figura 5.3.5-1 Geomorfología del Área del Proyecto**

## A. Unidades Geomorfológicas

El levantamiento desarrollado permitió reconocer que el Proyecto se emplazará dentro de un dominio geomorfológico de ambientes litorales y costeros.

## B. Rasgos Morfográficos y Ambiente Morfoclimático

Las características ambientales generales del área de Punta Cachos, están determinadas por un clima desértico responsable en gran medida del aspecto general de la vegetación representada por un matorral bajo, abierto y en algunas áreas con cactáceas. En las áreas costeras este ambiente está influenciado considerablemente por la cercanía al mar, moderando las condiciones de aridez imperantes en el área.

De acuerdo a lo anterior, el área de estudio se encuentra bajo un dominio morfoclimático desértico con formas heredadas de paleoambientes cuaternarios más húmedos, especialmente en lo referido al efecto sobre la erosión y depositación del escurrimiento concentrado y laminar sobre laderas y fondos de valle. Dicha condición desértica generalizada del área presenta variaciones según se trate de los ambientes con mayor influencia de la humedad costera y aquellos más interiores, donde las condiciones de aridez son más acentuadas.

En los ambientes costeros la mayor concentración de humedad y sales en la atmosférica, contribuyen en forma significativa a los procesos de meteorización de las rocas. En los ambientes interiores en cambio la fragmentación por diferencias de temperatura (termoclastia) contribuye en forma importante a este proceso de meteorización.

- **Unidad Litoral y Costa**

- **Subunidad Litoral Punta Cachos – Bahía Chasco**

Las características morfológicas de la costa de Punta Cachos corresponden a un tipo de costa regional denominado costas abrasivo y erosivo tectónicas con bahías lobuladas protegidas<sup>6</sup>, esta característica también se reconoce en el sector El Morro Copiapó-Bahía Inglesa. Corresponde a una costa indentada (dispareja) producto de la alternancia de rocas blandas (normalmente del terciario y cuaternario) con rocas más duras, presencia de bahías lobuladas protegidas, presencia de pilares tectónicos de rocas duras en el cierre sur de las bahías (Punta Cachos y Cordón de Cerros Los Cachos, Diorita Los Cachos y TrJdlc respectivamente) y desarrollo importante de terrazas de abrasión marinas.

En el área de Punta Cachos las características morfológicas generales son las de un litoral mayoritariamente rocoso con desarrollo de terrazas marinas de anchos menores no superiores a los 2 km, debido al efecto de barrera del cordón de cerros Los Cachos. La línea litoral es irregular siendo esto el resultado de la erosión diferencial del oleaje sobre las estructuras rocosas que lo conforman. En la siguiente **Figura 5.3.5-2** se aprecia la irregularidad de la costa por efecto de la alternancia de rocas duras y blandas.

<sup>6</sup> Araya, J. 1976. Reconocimiento de tipo e individuos geomorfológicos regionales en la costa de Chile. Inform. Geogr. Chile 23 pp.

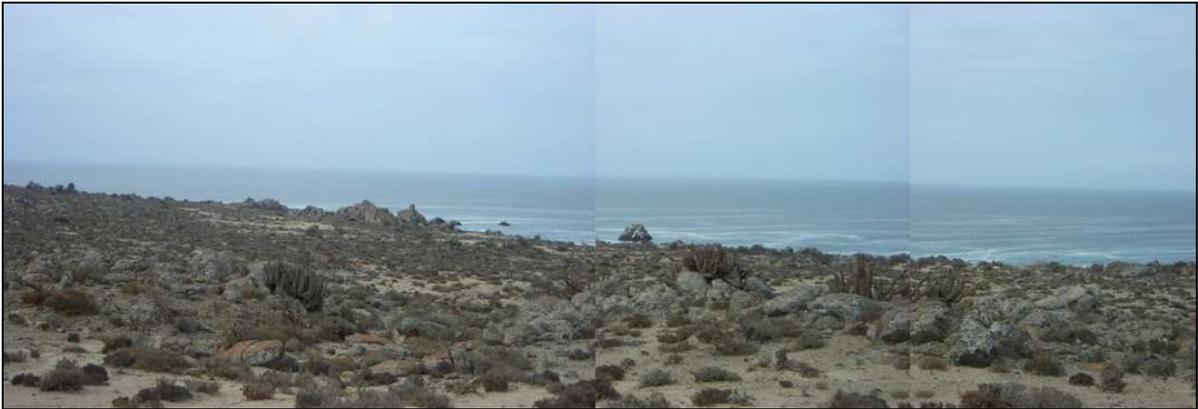


**Figura 5.3.5-2 Aspecto General de la Costa Punta Cachos – Bahía Salado**

Las acumulaciones de arena se dan en la forma de playas arenosas en pequeños embahiamientos como por ejemplo el existente en Caleta Pajonal al sur de Punta Cachos así como también embahiamientos de mayores dimensiones como es el caso de Bahía Chasco, emplazada inmediatamente al norte de Punta Cachos; esta bahía forma parte de un sistema de mayores dimensiones que corresponde a Bahía Salada (ver **Figura 5.3.5-1**). En ambos casos se ha producido progradación de la línea litoral cuyo resultado más evidente es el desarrollo de playas arenosas debido al efecto acrecional que tiene la refracción del oleaje. Este proceso de refracción del oleaje es consecuencia directa de la presencia de estructuras rocosas que afloran en el litoral cuya dirección predominante es NS (Punta Cachos).

Tal como se ha indicado el cordón de cerro Los Cachos en Punta Cachos tiene una extensión aproximada de 5 km y esta constituido por rocas intrusitas del tipo dioritas asignadas al Triásico Superior Jurásico Inferior (Diorita Los Cachos)<sup>7</sup>, así como también a unidades del Complejo Metamórfico de Chañaral (DCce). Ver **Fotografía 5.3.5-1**.

<sup>7</sup> Carta Geológica Castilla y Totoral Bajo. 2003. Sernageomin. 1:100.000. Serie Geológica Básica N°77, 7 8.



**Fotografía 5.3.5-1 Vista hacia el norte desde Punta Cachos. En primer plano se aprecia el nivel más plano de la terraza y el dominio superficial de una cobertura de arenas eólicas así como también de estructuras rocosas producto de la desagregación de la roca basal.**

Uno de los procesos geomorfológicos de mayor desarrollo superficial en el área (cuaternario postglacial y actual), tiene que ver con el movimiento superficial de las arenas por efecto del viento<sup>8</sup>. La migración de las arenas es de la costa hacia el interior siguiendo un patrón hacia el NE debido a la dominancia de los vientos del SO. Este proceso se produce sobre todo el relieve costero existente, generándose una cubierta arenosa continua y en sectores específicos el desarrollo de dunas (ver **Fotografías 5.3.5-2 a la 5.3.5-4**). Las arenas existentes superficialmente sobre los suelos presentan contenidos de finos importantes.

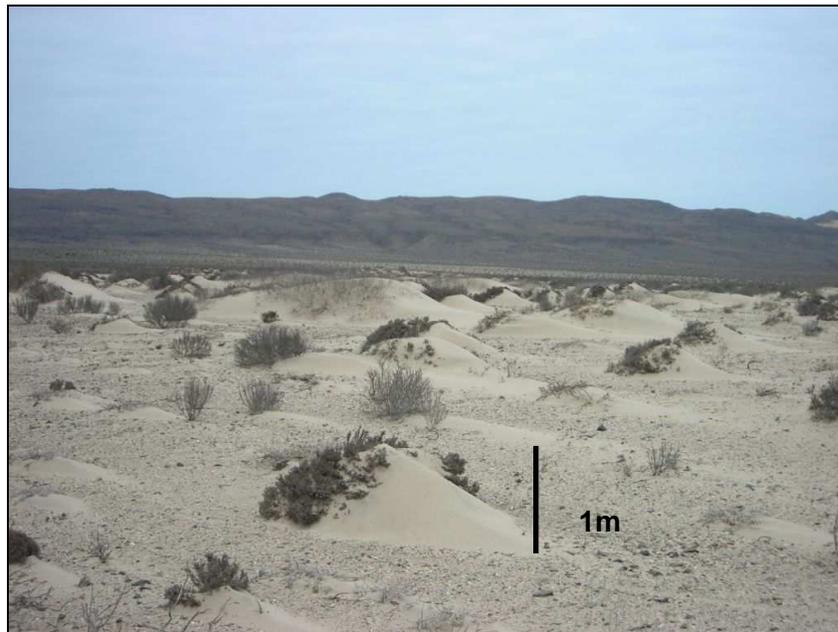
Los suelos desarrollados sobre estos materiales son del tipo carbonatados y salinos y en general con presencia de arenas cementadas con sales.

---

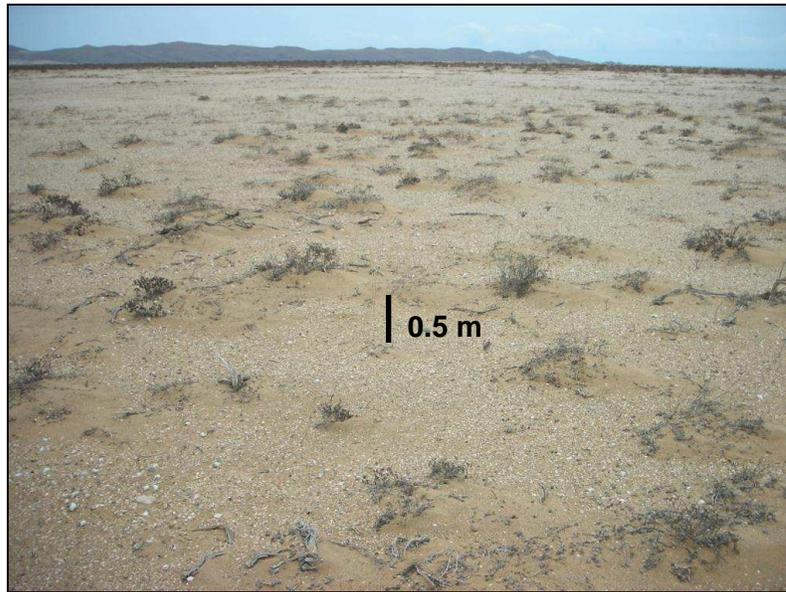
<sup>8</sup> El tipo de movimiento de las arenas por la acción del viento depende de la velocidad de este. Velocidades mayores trasladan en forma aérea los granos, velocidades menores generan movimientos por saltación o reptación de los granos.



**Fotografía 5.3.5-2** Vista desde el extremo norte de Punta Cachos hacia el sur. Al fondo cordón de cerros Los Cachos. Se aprecia la fisonomía general del área compuesta por un nivel aterrazado de aproximadamente 2 km de ancho promedio y un sistema de relieves de rocas dioríticas. A nivel de procesos morfogenéticos sobre las superficies se aprecia la acción de arenas eólicas generando una cobertura regular sobre la terraza. Parte de estas arenas han dado forma a dunas trepadoras (flechas) que se encuentran migrando en una dirección general hacia el NE por sobre el cordón Cerro Los Cachos

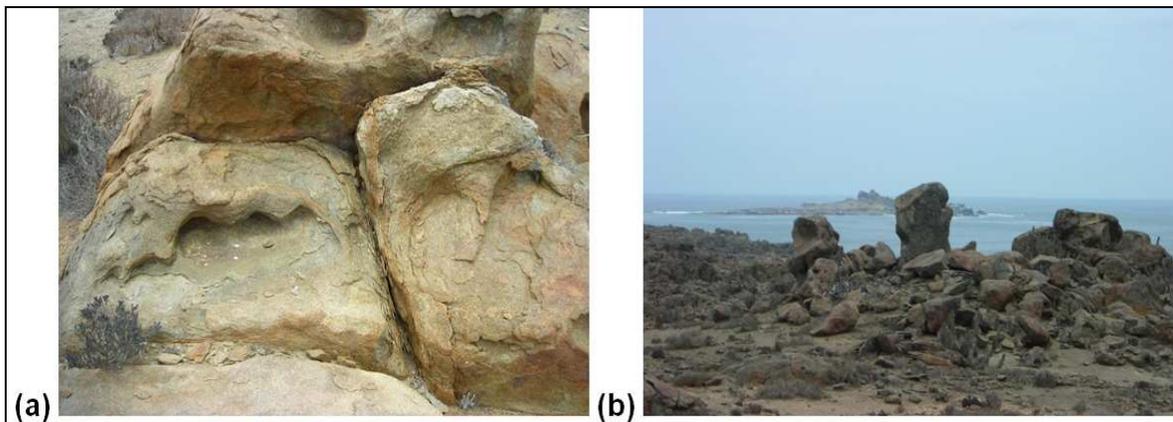


**Fotografía 5.3.5-3** Sector de Punta Cachos. En primer plano microdunas activas localizadas al oriente del cordón de Cerros Los Cachos. Se aprecia claramente el proceso acrecional de la arena asociada a obstáculos, en este caso arbustos. Las vertientes de barlovento de la microdunas se encuentran más elongadas en el sentido del viento. La dirección del movimiento es SO-NE.



**Fotografía 5.3.5-4** Vista hacia el oeste en sector Punta Cachos. Al fondo Cordón de Cerros Los Cachos. En primer plano microdunas de menor altura y actividad que las registradas en la Foto 2

Sobre el nivel de la terraza en Punta Cachos se observan estructuras y promontorios rocosos que presentan grados de meteorización importante por desagregación granular. Este proceso de descomposición es característico de las rocas cristalinas, observándose en ellos procesos de descamación y formación de alvéolos tipo *taffoni* (Ver **Fotografía 5.3.5-5**).



**Fotografía 5.3.5-5(a)** Vista de rocas alveolares con *taffonies* (b) Proceso de meteorización por exfoliación de los materiales rocosos en Punta Cachos.

Estas estructuras presentan tamaños diversos y se encuentran extendidos principalmente cercanos a la línea de costa oeste de Punta Cachos, que es la que enfrenta perpendicularmente a los vientos del SW.

Los *taffonies* son formas complejas que se generan por la acción combinada del viento, sal y ciertas características de la roca. En el caso específico de Punta Cachos se conjugan estos factores siendo una costa ventosa, con presencia de sal en la atmósfera y estructuras rocosas cristalinas. La alternancia de humectación y desecación de las estructuras de la roca van generando el patrón de meteorización de esta apoyado finalmente por el efecto erosivo de las partículas de arena eólica.

- **SubUnidad Terrazas de Abrasión Marinas**

El desarrollo de terrazas de abrasión marinas es importante en el área; los anchos son variables alcanzando extensiones del orden de los 15-20 km. Estas corresponden a un relieve subhorizontal que tiene como límite este los relieves cordilleranos costeros. Corresponden geológicamente a la sucesión Alta y Baja de la Formación Caldera de edad cuaternaria.

Las alturas promedio son de 20-30 m.s.n.m en las áreas más cercanas al litoral aumentando hasta aproximadamente los 200 m.s.n.m hacia su límite este. Los materiales constituyentes de las terrazas de abrasión marina corresponden fundamentalmente a areniscas, conglomerados y areniscas calcáreas del Mioceno y Plioceno algunas de ellas con fósiles marinos.

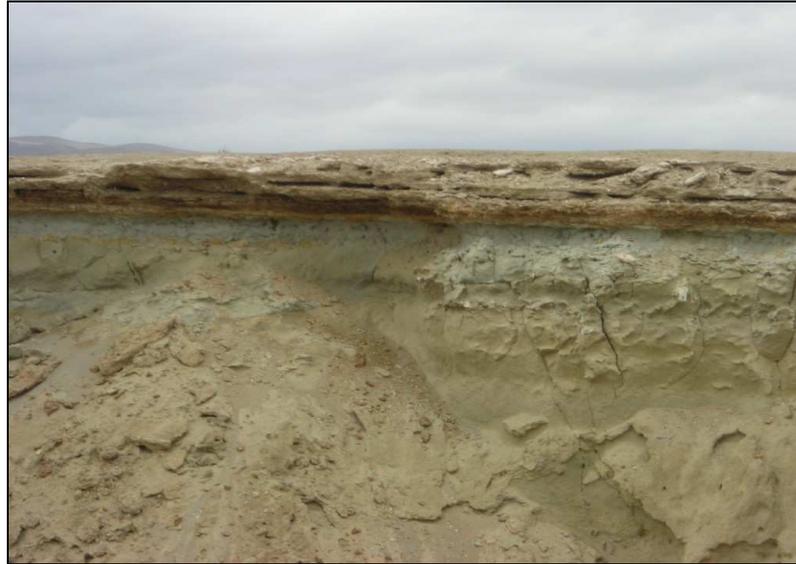
Como ya se ha indicado, sobre estas terrazas marinas y laderas bajas de los cerros costeros se ha desarrollado también una cobertura de arenas de origen eólico de edad reciente. Estas arenas presentan deflación, observándose en sectores específicos como en la cabecera de Quebrada Leones, acumulaciones dunarias en proceso de migración hacia el E y SE (ver **Fotografía 5.3.5- 7**).

A través del nivel de la terraza aparecen algunos relieves pequeños acolinados y aislados que corresponden a remanentes de superficies rocosas basales a la costa. Estos relieves se encuentran muy meteorizados observándose sobre la superficie de ellos un pavimento de fragmentos rocosos angulosos.

La superficie de las terrazas de abrasión han sufrido erosión por aguas encausadas torrenciales provenientes de cuencas costeras especialmente en períodos climáticos mas lluviosos; el sector de la Quebrada Leones, localizada al sur de Punta Chascos, Quebrada Agua Amarga y Corriente de la Palmira constituyen ejemplos de lo anterior. Sobre estos niveles se han desarrollado depósitos aluvionales evidencia de procesos morfogénéticos holocénicos.

En el área SE de Bahía Chasco, aproximadamente a 5 de esta, existe un corte desarrollado en depósitos marinos blandos debido a una disección importante de estos por la acción de aguas encausadas. La observación permite identificar los siguientes estratos horizontales (ver **Fotografía 5.3.5-6**):

- Un primer estrato de aproximadamente 1-1.5 m compuesto por estructuras calcáreas de organismos marinos altamente cementado en una matriz arenosa.
- Un estrato de espesor indefinido de arenas de color verdoso claro de baja cohesión y pobres en estructuras calcáreas de organismos marinos.



**Fotografía 5.3.5-6** Vista del corte por erosión del depósito marino existente al este de Punta Cachos



**Fotografía 5.3.5-7** Vista hacia el SE en Quebrada Leones. Al Fondo sistema de cerros de Sierra Colorada. Se aprecian algunas dunas trepadoras migrando hacia el SE, hacia Quebrada Totoral

- **Unidad Baja Montaña**

Corresponde a una sección de la Cordillera de la Costa de la Región de Atacama. La geología dominante corresponde a estructuras geológicas del Complejo Metamórfico de Chañaral (DCce), de edad Devónica-Carbonífero. Es un relieve de orientación predominante SO-NE denominado Sierra Colorada. Las alturas mayores corresponden al Cerro Veladero con 796 m.s.n.m y Cerro Escobillado con 687 m.s.n.m (ver **Fotografía 5.3.5-8**).

Las formas generales son redondeadas no observándose procesos morfogenéticos importantes sobre las laderas. A nivel de los fondos de valle en cambio, se aprecian registros de actividad torrencial. Estos procesos se producen durante las escasas lluvias registradas en la zona, especialmente aquellas de alta intensidad que generan acarreo rápido de materiales desde la ladera hasta el fondo de valle siendo estos depositados en la forma de conos de deyección del tipo torrencial.

Superficialmente los fondos de valle y áreas de denudación presentan fragmentos angulosos y subangulosos de calibre pequeño (< 5 cm como promedio). No se aprecian procesos de remoción en masa activos o de amplia distribución, lo que habla de un medio en general estable.

Sobre este relieve se ha desarrollado una red de drenaje importante, que se activa en presencia de lluvias. Las quebradas más importantes con drenaje hacia el N son la Quebrada El Desecho, Quebrada de las Zorras y la Quebrada Casa de Piedra. Hacia el sur las quebradas más importantes son la Quebrada Central y de los Rincones. Tal como se ha indicado los materiales de estas cuencas se han depositado en la forma de conos y glacis por sobre los niveles de terrazas marinas existentes hacia el oeste del cordón montañoso costero.



**Fotografía 5.3.5-8 Vista hacia el O. Se aprecia la morfología general dominante en la Cordillera de la Costa. Relieves de baja altura y acolinados, laderas suavizadas, concavidades basales**

- **Unidad Llanos Interiores**

Esta unidad se corresponde con la denominación de Pampa Transicional según la clasificación de regiones y subregiones geomorfológicas de Borgel (1983)<sup>5</sup>. En términos de unidades de paisajes ecogeográficos<sup>9</sup> corresponde a la unidad paisaje pampeano la que cubre aproximadamente un 10% de la superficie regional.

Corresponde a una unidad con predominio de relieves horizontales, de alturas promedio entre 250 a 300 m.s.n.m. denominada para el área de estudio como Llano Punta de Díaz y Llano de Hornitos. Estos llanos son interrumpidos en su distribución por relieves de baja altura con el aspecto de lomas, provocando que los llanos o depresiones adopten la forma de embudo, cerrado en un extremo y abierto en el opuesto. Por ejemplo para el área de estudio el Llano Punta de Díaz se cierra hacia el este por efecto de la Sierra de Pajaritos y del Cordón de Cerros Bayos Grandes, abriéndose por el contrario hacia el oeste, hasta topar con los contrafuertes de la Cordillera de la Costa.

Esta unidad de Llanos Interiores corresponde, por lo tanto, a un nivel de erosión y sedimentación cerrado por los cordones cordilleranos costeros y andinos; dicho nivel ha actuado como nivel de base para la actividad erosiva y deposicional de materiales, principalmente provenientes de la Cordillera de los Andes y en menor medida de la Cordillera de la Costa. Estos procesos tuvieron su mayor actividad durante las fases más húmedas del Cuaternario.

En las condiciones morfoclimáticas áridas actuales los procesos más evidentes a nivel de superficies corresponden a la deflación de partículas de arena debido al efecto del viento, observándose una cobertura arenosa generalizada sobre las superficies del suelo. Durante las escasas lluvias existentes para la zona, se produce un movimiento torrencial de las aguas generando acumulaciones caóticas de materiales.

Los rasgos heredados más notorios que se pueden apreciar sobre la superficie, corresponden a la erosión fluvial originada, como ya se ha indicado, en períodos más lluviosos del Cuaternario. Se observa en la actualidad una gran cantidad de paleo cauces que atraviesan transversalmente el Llano de Díaz de este a oeste.

Respecto a las formas deposicionales estas se presentan en la forma de conos de deyección y glaciares de denudación, cuyo desarrollo se presenta en un sentido E a O (depósitos aluviales y eólicos cuaternarios).

### **5.3.5.5 Conclusiones**

En el área de influencia del proyecto se reconocen 3 grandes unidades geomorfológicas que corresponde a la unidad litoral-costa, baja montaña y llanos interiores.

---

<sup>9</sup> Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación. 2008. Capítulo 2 Paisajes Eco-Geográficos de la Región de Atacama. J. Novoa, Y. Tricol y D. Lopez.

De estas unidades la que presenta mayor diversidad de formas y procesos corresponde a la unidad Litoral-Costa, especialmente debido a la conjugación de morfodinámicas marino-litorales y costeras. Esta característica es la que le otorga una mayor singularidad geomorfológica.

En términos morfodinámicos los procesos más generalizados tienen relación con la acción marina sobre la línea litoral y la acción eólica como agente erosivo, de transporte y de acumulación de arenas, particularmente hacia Bahía Chasco y al este del Cordón de Cerros Los Cachos. Se añaden también los procesos de alveolización que presentan algunas de las estructuras rocosas del área.

### **5.3.6 Edafología**

#### **5.3.6.1 Introducción**

A continuación se realiza una descripción de los suelos presentes en el sector del Proyecto, cuyos antecedentes se recopilaron bibliográficamente (Geografía de Chile de IGM 1984), y por trabajo en terreno mediante sondajes realizados en el área de emplazamiento del Proyecto.

#### **5.3.6.2 Objetivo**

Caracterizar los tipos de suelos presentes en el área de estudio.

#### **5.3.6.3 Metodología**

La caracterización de los suelos se realizó mediante trabajo de terreno efectuado los días 12 y 13 de diciembre del año 2007, además de antecedentes bibliográficos para el sector. El reconocimiento de terreno se realizó con apoyo de imágenes y cartografía 1:75.000 del área del Proyecto. Junto a esto en junio de 2008 se llevaron a cabo los sondajes en el área de emplazamiento del Proyecto.

#### **5.3.6.4 Resultados**

##### **A. Caracterización los Suelos del Sector del Proyecto**

El suelo presente en el área del Proyecto se clasifica como Yermosol Cálcico y corresponde a una matriz edáfica principal arenosa, profunda, la cual reposa sobre un sustrato de rocas intrusivas, como material basal de soporte. La continuidad de la cubierta superficial sólo se ve alterada por pequeños afloramientos rocosos de origen erosivo, los que permiten el desarrollo de cactáceas columnares individuales y diversificar así la expresión de la flora en el sitio.

Se reconoce en esta serie de suelo un continuo u horizonte A, material fino y suelto, conteniendo sedimentos marinos (conchas), el cual se expresa sin presencia de otras alteraciones destacables hasta su contacto con el sustrato basal; no se registra la presencia de clastos angulares ni de arrastre, generándose en todo el sector sólo una matriz arenosa, de textura fina a muy fina, de rápida infiltración, pobre en materia orgánica y de baja retención de humedad en su perfil. Este desarrollo edafológico corresponde en su totalidad – excepción hecha de los afloramientos rocosos antes mencionados – a material sedimentario marino y el aporte del material coluvial, factores modeladores de la geomorfología del sector (Ver **Fotografía 5.3.6-1**).

Las particulares condiciones edáficas de los suelos del sector le limitan a éste su capacidad de retención de humedad, tanto en superficie como en el perfil, afectando de manera directa el desarrollo del recurso vegetacional en las partes bajas del terreno, como consecuencia directa de la pobre disponibilidad de humedad edáfica para las plantas a través del tiempo.



**Fotografía 5.3.6-1 Vista del Suelo del Sector de Emplazamiento del Proyecto**

#### **B. Resultados de sondajes realizados**

En base al estudio de mecánicas de suelos realizado por Petrus Consultores Geotécnicos, a continuación se entregan los resultados de prospecciones preliminares (sondajes) efectuados en el sector portuario terrestre.

Se ejecutaron adicionalmente 2 sondajes denominados T-8 y T-14 en el sector portuario terrestre, cuya área se denota en forma general en **Figura 5.3.6-1** y **Fotografías 5.3.6-2** y **5.3.6-3**.





**Fotografía 5.3.6-2 Sondaje T-8**



**Fotografía 5.3.6-3 Sondaje T-14**

El trabajo efectuado en los sondajes correspondió a la descripción de los estratos de suelo y roca, además de la extracción de muestras y testigos de roca para efectuar ensayos de laboratorio.

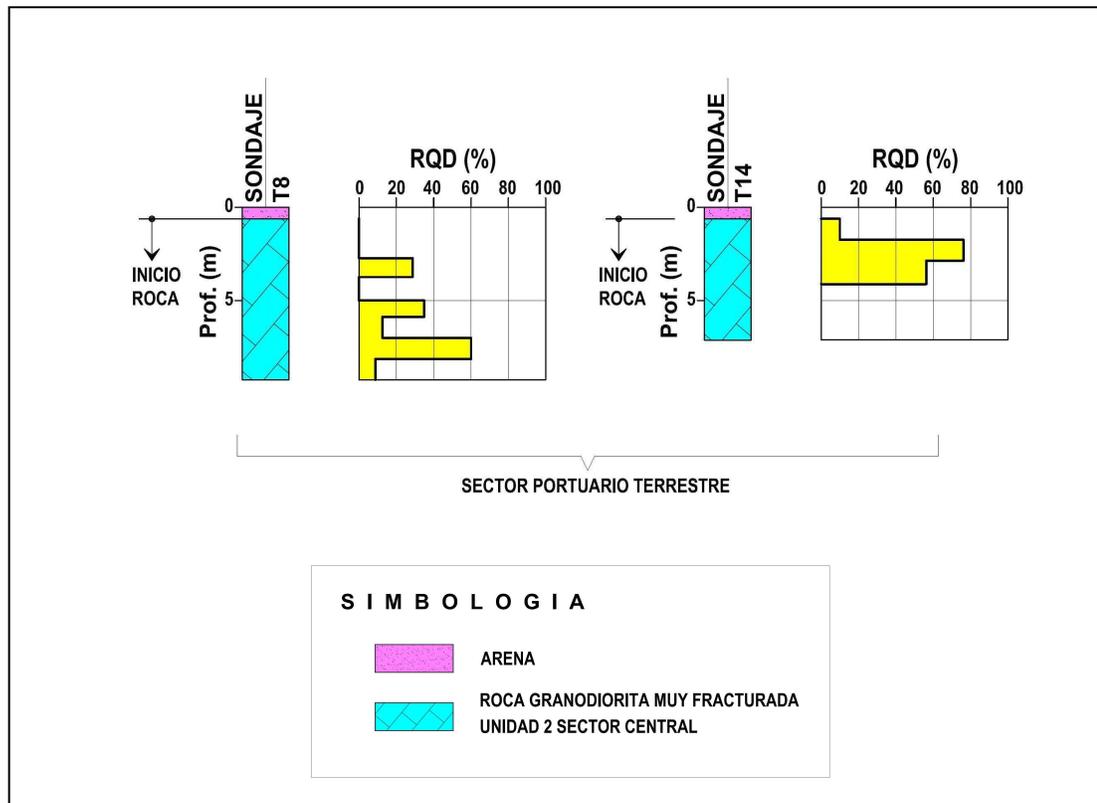
Los registros de perforación y muestreo en roca se incluyen en el **Anexo 5.1.1** del presente EIA.

### a) Estratigrafía del terreno

- **Unidad 1:** Bajo una cubierta de arena limosa con orgánicos de espesor entre 0,15 a 0,3 m, se detecta suelo conformado por arena con conchuelas y algunos bolones. La arena es de compactidad media, con un espesor promedio de 0.6 m, no descartándose espesores mayores del orden 1 a 1,5 m.
- **Unidad 2:** Bajo la Unidad 2 se detecta roca intrusiva del tipo granodiorita color gris a gris amarillento con sectores naranjos y negruzcos, muy fracturada con sectores meteorizados. El RQD de la roca es en general bajo el 35%. Esta Unidad es reconocida hasta los 35 m de profundidad en los sondajes.

No se detecta la presencia de napa freática en los sondajes (Julio de 2008).

En la siguiente figura se exponen en forma gráfica el resultado de los sondajes realizados.



**Figura 5.3.6-2 Resultado de sondajes T-8 y T-14**

Fuente: Petrus, 2008.

### **5.3.6.5 Conclusiones**

Estos suelos son altamente salinos, con horizontes modernamente salinos compactados en profundidad o a veces cubiertos por dunas.

Los sedimentos eólicos llegan a tapar las terrazas de abrasión marina, son en general pobres en materia orgánica y la infiltración va de rápida a moderada.

Por su parte entre los 0,15 y 0,3 m de profundidad, se detecta suelo conformado por arena con conchuelas y algunos bolones. No se detecta presencia de napa freática en los sondeos realizados.

### **5.3.7 Ruido**

#### **5.3.7.1 Introducción**

La construcción y operación del Proyecto, puede involucrar un potencial riesgo de impacto acústico debido a la instalación de nuevas fuentes de ruido en el sector, y a las faenas de construcción respectivas, lo que motivó la realización del estudio de Línea Base de Ruido.

#### **5.3.7.2 Objetivos**

- a) Determinar los puntos receptores sensibles dentro de la zona de influencia, producto de las futuras emisiones de ruido por la construcción y operación del Proyecto.
- b) Efectuar mediciones de Nivel de Presión Sonora en dichos puntos, a fin de determinar el ambiente sonoro existente previo a la construcción del Proyecto.

#### **5.3.7.3 Metodología**

- Las mediciones de Nivel de Presión Sonora se efectuaron entre los días 12 y 14 de diciembre de 2007, entre las 11:00 y 18:00 horas para el período diurno, así como entre las 22:00 y 03:00 horas para el nocturno.
- Se determinó en terreno el área de influencia del Proyecto, y dentro de ésta los lugares sensibles al ruido, obteniéndose siete puntos de medición.
- Con estos puntos de muestreo se conforma una densidad adecuada de mediciones, de tal forma de poder representar y caracterizar los actuales niveles de ruido en la zona a evaluar, no existiendo otros puntos sensibles cercanos al emplazamiento del Proyecto.
- Se efectuaron mediciones de los Niveles de Presión Sonora existentes en dichos lugares, en horario diurno y nocturno, a fin de caracterizar el entorno sonoro al que se encuentran actualmente expuestos.

- Se realizó en cada punto un registro de NPSeq en forma continua, hasta que la lectura fuese estable o cuando la diferencia aritmética entre dos registros consecutivos sea menor o igual a 2dB(A), registrándose el valor de NPSeq cada cinco minutos. El nivel considerado es el último de los niveles registrados.
- El sonómetro se ubicó a 1,5 metros en su eje vertical del suelo y, en lo posible, a 3 metros de cualquier superficie reflectante en su eje horizontal (paredes, muros, ventana).
- Para las mediciones se utilizó un sonómetro marca Rion modelo NL-22, configurado como sonómetro Tipo 2, según la norma IEC 61672-1:2002. El instrumento fue debidamente calibrado antes de realizar las mediciones<sup>10</sup>.

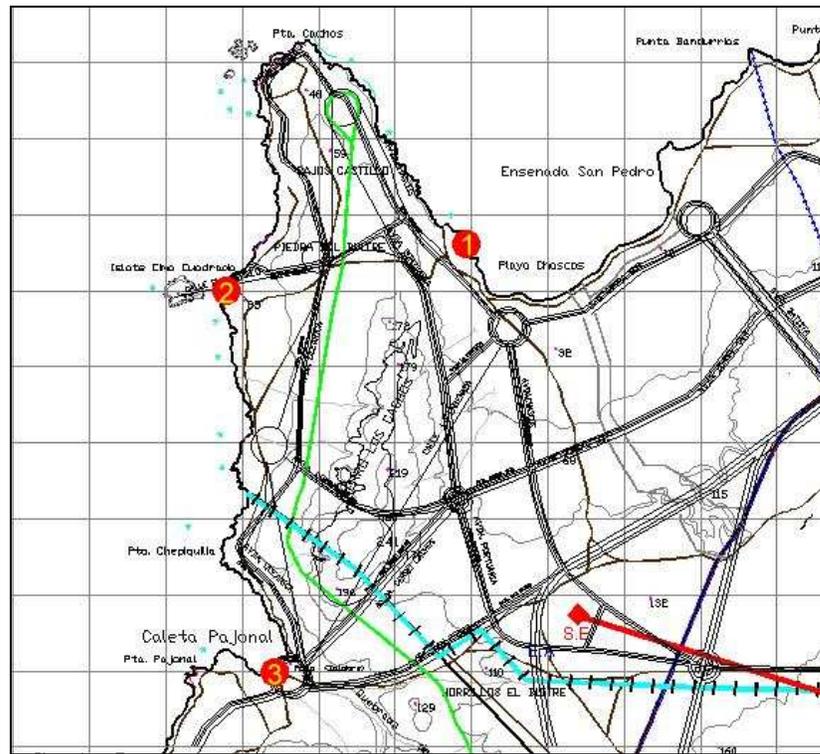
A continuación la **Tabla 5.3.7-1**, **Figura 5.3.7-1** y **Fotografías 5.3.7-1** muestran la descripción de los puntos de medición.

**Tabla 5.3.7-1 Descripción y Ubicación de los Puntos de Medición Elegidos**

Punto	Descripción	Coordenadas UTM PSAD56 USO 19*	
		Este	Norte
1	Caleta de pescadores y cultivos de moluscos en sector Playa Chascos.	301.803	6.936.727
2	Punto referencial en sector inmediatamente frente a islote Cima Cuadrada.	289.707	6.935.924
3	Viviendas ubicadas en Caleta Pajonal.	299.400	6.930.788

\*Coordenadas obtenidas en terreno.

<sup>10</sup> Sonómetro Rion modelo NL-21, tipo 2., Calibrador de niveles sonoros Rion modelo NC-73, Cámara fotográfica digital marca Nikon modelo L4, Navegador personal Garmin modelo eTrex Venture, IEC 61672-1:2002, "Electroacústics – Sound Level Meters – Part 1: Specifications", Decreto Supremo N° 146: Norma de emisiones de ruidos molestos generados por fuentes fijas, 17 de abril de 1998, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República.



**Figura 5.3.7-1 Croquis con la Ubicación de los Puntos de Medición. Puntos 1 a 3**



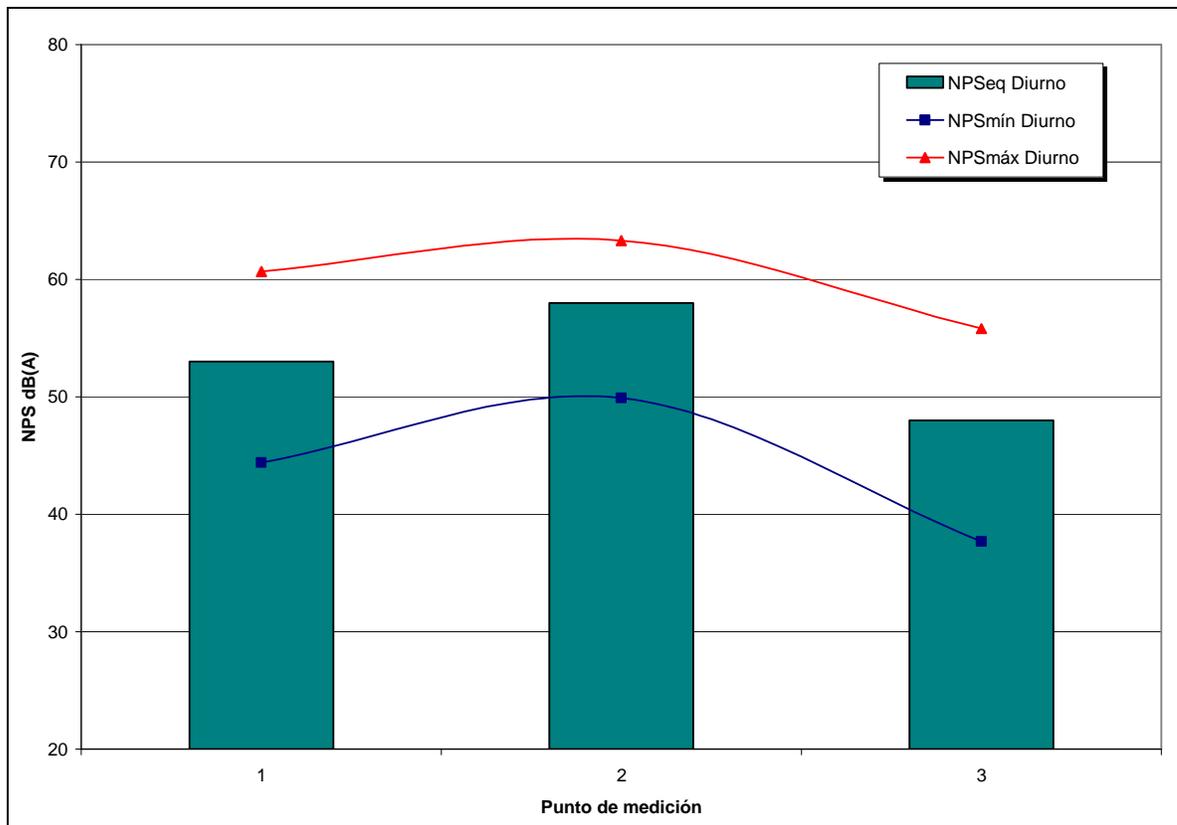
**Fotografía 5.3.7-1 A y B Punto 1 de medición. C y D Punto 2 de medición. E y F Punto 3 de medición.**

### 5.3.7.4 Resultados

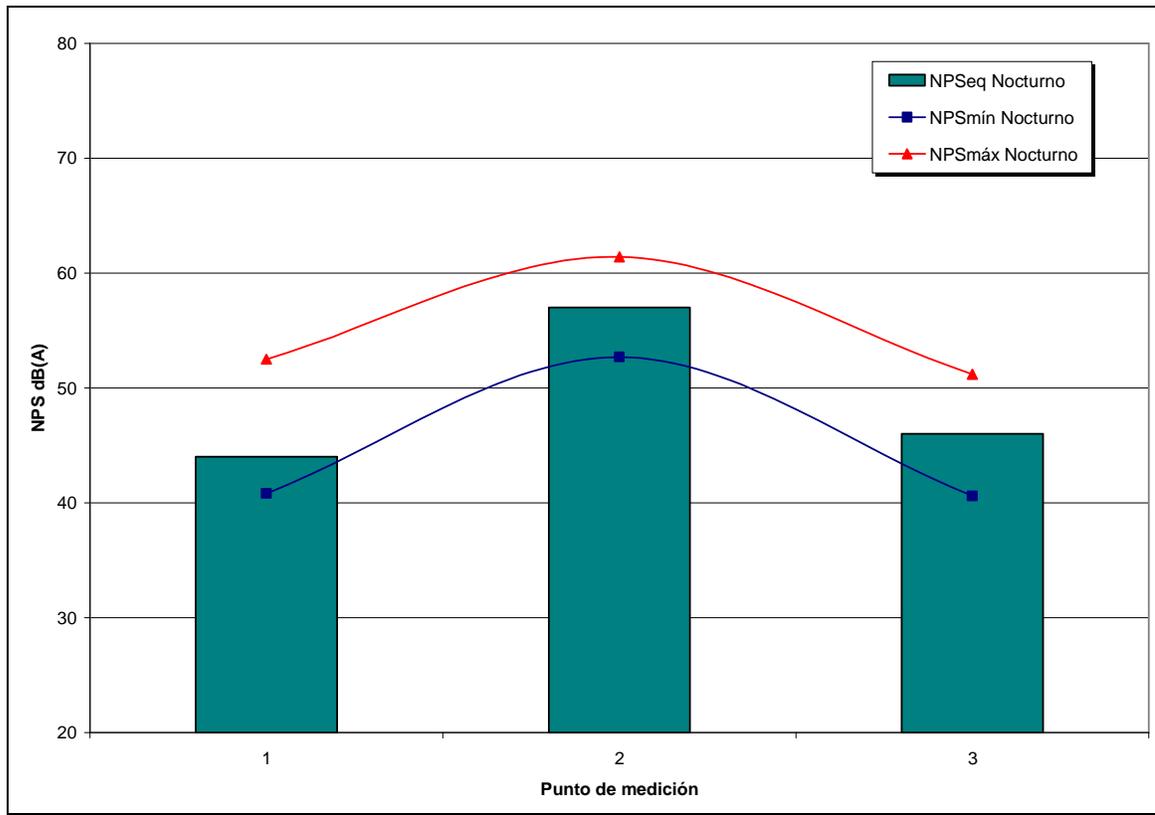
En la **Tabla 5.3.7-2** y **Gráficos 5.3.7-1** y **5.3.7-2** se entregan los valores registrados en los puntos de medición descritos (ver **Anexo 5.1.2**).

**Tabla 5.3.7-2 Valores de Nivel de Presión Sonora, en dB(A)-Lento, Registrados Durante las Mediciones**

Punto de medición	Período Diurno			Período Nocturno		
	NPS <sub>Seq</sub> dB(A)	NPS <sub>mín</sub> dB(A)	NPS <sub>máx</sub> dB(A)	NPS <sub>Seq</sub> dB(A)	NPS <sub>mín</sub> dB(A)	NPS <sub>máx</sub> dB(A)
1	53	44.4	60.7	44	40.8	52.5
2	58	49.9	63.3	57	52.7	61.4
3	48	37.7	55.8	46	40.6	51.2



**Gráfico 5.3.7-1 Resumen de los Niveles de Presión Sonora Registrados en los Puntos de Medición. Periodo Diurno**



**Gráfico 5.3.7-2 Resumen de los Niveles de Presión Sonora Registrados en los Puntos de Medición. Periodo Nocturno**

De acuerdo a lo observado en terreno en horario diurno, las principales fuentes de ruido para el punto 1 de medición fueron el ruido producido por el oleaje cercano y ruido de los trabajos realizados por pescadores locales. Por otro lado, en los puntos 2 y 3 era perceptible casi exclusivamente el ruido producido por el oleaje cercano.

Para el período nocturno se observa cierta estabilidad en los puntos 2 y 3, lo cual se explica porque se mantienen las fuentes de ruido que se detectaron en el periodo diurno. Finalmente, se observó un descenso importante en el punto 1 debido a menor actividad comunitaria y viento.

### 5.3.7.5 Conclusiones

Según el Decreto Supremo N° 146/97 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, publicado en el diario oficial el 17 de abril de 1998, en el Título III Artículo 4º, se establecen los Niveles Máximos Permisibles de Presión Sonoros Corregidos (NPC), de acuerdo al tipo de zona, para este caso, se homologan los puntos de la siguiente forma:

- El punto 1 de evaluación (Zona UBS-1M – Vivienda (condicionada), equipamiento e industria pesquera no contaminante, PRC Caldera), se homologa a una Zona III, la cual se define como *aquella zona cuyo uso permitido de acuerdo a los instrumentos de planificación territorial corresponde a habitacional y equipamiento a escala vecinal, comunal y/o regional, además de industria inofensiva.*
- El punto 2 de evaluación, de acuerdo a los requerimientos del Proyecto se homologará a una Zona IV, la cual que se define como *aquella zona cuyo uso permitido de acuerdo a los instrumentos de planificación territorial corresponde a industrial, con industria inofensiva y/o molesta.*
- El punto 3 de evaluación pertenece a una Zona Rural. Para este tipo de zonas, el Decreto Supremo N °146/97 MINSEGPRES, establece en el TÍTULO III Artículo 5º que:

*“En las áreas rurales, los niveles de presión sonora corregidos que se obtengan de la emisión de una fuente fija emisora de ruido, medidos en el lugar donde se encuentre el receptor, no podrán superar al ruido de fondo en 10 dB(A) o más”.*

En base a lo estipulado anteriormente, se entregan los niveles máximos permitidos, determinados a partir de la actual situación del ambiente sonoro.

**Tabla 5.3.7-3 Línea Basal de Ruido Diurno y Nocturno y NPS Máximos Permitidos según el DS 146/97 MISEGPRES**

Punto	Diurno		Nocturno	
	NP <sub>Seq</sub> medido dB(A)	NPS máximo permitido dB(A)*	NP <sub>Seq</sub> medido dB(A)	NPS máximo permitido dB(A)*
1	53	65	44	55
2	58	70	57	70
3	48	58	46	56

\* Valores aproximados al entero más cercano mediante redondeo de decimal.

Se debe recalcar que en el punto 2 no existen sectores habitados o posiblemente afectados por las etapas de construcción y operación del proyecto, por lo que dichos niveles máximos permitidos son meramente referenciales.

Estas mediciones corresponden fielmente al entorno sonoro del sector.