

## 5.4 MEDIO MARINO

### 5.4.1 Introducción

El presente Informe Técnico elaborado por EcoTecnos Ltda., corresponde a los estudios de línea base oceanográfica de las aguas, sedimentos inter y submareales y comunidades biológicas. Este estudio se llevó a cabo considerando básicamente la Guía Metodológica de Revisión Técnica Sectorial de Estudios de Impacto Ambiental en el Medio Ambiente Acuático de Jurisdicción Nacional para proyectos que contemplan descargas de residuos líquidos, de puertos y terminales marítimos u otros, confeccionada por la Autoridad Marítima.

El estudio comprendió la caracterización físico-química de la columna de agua y de los sedimentos submareales, el estudio de las corrientes (eulerianas y lagrangianas), capacidad de dispersión, vientos y marea de la zona de interés y la caracterización de las comunidades biológicas, las que comprendieron el estudio de las comunidades macrobentónicas submareales de sustrato blando e intermareales de sustratos duro, el estudio de la avifauna y el de mamíferos y reptiles marinos.

El contenido de este estudio se ha obtenido producto de una exhaustiva recopilación de antecedentes, del análisis de la información recogida en las campañas de Verano e Invierno y del procesamiento, análisis e interpretación de los datos obtenidos de las mediciones realizadas.

El estudio, constó de dos etapas: muestreos y mediciones in situ, y análisis de la información y conclusiones. La primera etapa se desarrolló en el litoral aledaño a las futuras instalaciones del Proyecto; mientras que la segunda se determinó en las instalaciones de EcoTecnos Ltda.

La presentación de la información se ha tabulado y graficado con el propósito de ofrecer una rápida y fácil consulta de ellos. Se presenta una síntesis de las campañas verano e invierno. Para mas detalle ver Anexos 5.4-1 y 5.4-2 respectivamente.

### ***Antecedentes Oceanográficos y Climatológicos***

Punta Cachos (27° S; 41° W) se encuentra ubicada a 76 kilómetros al suroeste de Copiapó, Capital de la Región Atacama (Fotografía 5.4-1). Esta área presenta trenes de ola que tienden a dirigirse hacia el norte. La zona del intermareal es rocosa, con algunas zonas de playa de arena, observándose algunos sectores de cantos rodados y otras de promontorios rocosos.

Desde el punto de vista meteorológico, la zona presenta un clima desértico con nublados abundantes<sup>1</sup> Este clima está presente en todo el sector costero de la región, penetrando en ocasiones hacia el interior, llegando a las proximidades de Copiapó y Vallenar. Se caracteriza por abundante y densa nubosidad, que se presenta durante la noche y disipa durante la mañana, a veces acompañada de intensas nieblas y lloviznas, lo que define una alta cantidad de días nublados y pocos días despejados. La influencia oceánica que

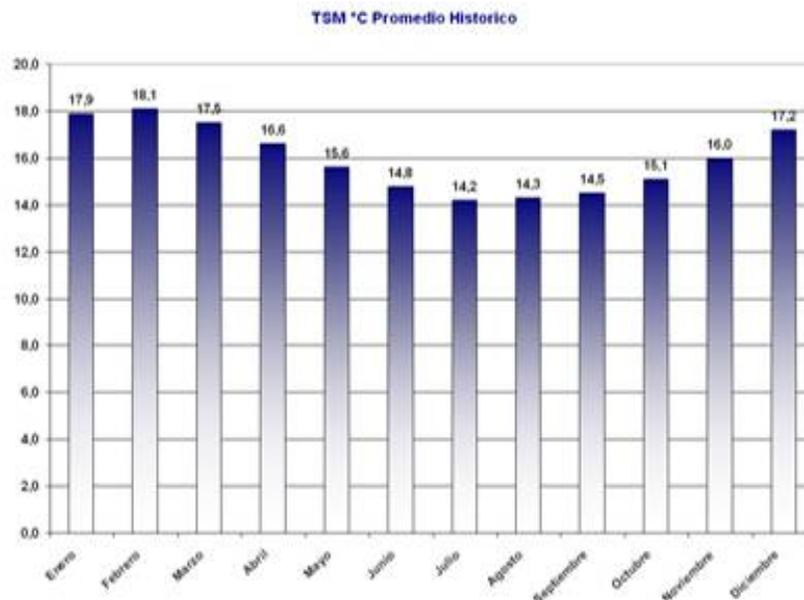
<sup>1</sup> Dirección Meteorológica de Chile, [http://www.meteochile.cl/climas/climas\\_tercera\\_region.html](http://www.meteochile.cl/climas/climas_tercera_region.html)

presenta esta zona produce un régimen térmico moderado con poca amplitud térmica tanto diaria como anual. Las precipitaciones son mayormente frontales, ocurren casi exclusivamente en invierno y aumentan hacia la zona sur, siendo de 22 mm en promedio.

Según lo indicado por el Atlas Oceanográfico de Chile (SHOA 1996), la temperatura superficial del área de estudio es de alrededor de 18° C para el mes de enero (época en el que se realizó este estudio). En éste también se señalan salinidades entre 34,5 psu y una concentración de oxígeno superficial de 5 ml/L para el mismo período.

En tanto, de acuerdo a la información *on line* del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile<sup>2</sup>, para el sector de Caldera, la temperatura promedio máxima histórica de las aguas superficiales entre los años 1980 y 2000 alcanzó los 18,10° C, mientras que la temperatura promedio mínima histórica ha sido de 14,20° C (Gráfico 5.4-1).

**Gráfico 5.4-1**  
**Promedio Histórico de Temperaturas Superficiales de Caldera Calculado sobre una Base de Datos de los Últimos 20 Años (1980-2000)<sup>3</sup>**



En tanto, los factores más importantes que controlan el tiempo atmosférico y condicionan el clima de la región, son: a) el anticiclón subtropical del Pacífico Oriental, b) la banda circumpolar de sistemas migratorios de bajas presiones, a la cual se asocian los sistemas frontales, y c) la baja térmica estacional, que se registra en verano. Otros dos factores importantes son la cordillera de Los Andes, que aísla el país de las masas de aire continentales y el efecto oceánico de la corriente fría de Humboldt, que tiende a homogenizar la temperatura a lo largo de la costa.

El Anticiclón del Pacífico es una gran región de altas presiones subtropicales de carácter semipermanente, que se ubica sobre el Pacífico Sudoriental, frente al litoral norte del país. Este centro se desplaza aproximadamente entre los 27° y los 38° de latitud sur, teniendo

<sup>2</sup> SHOA, <http://www.shoa.cl/servicios/TSM/regiones/caldera.htm>

<sup>3</sup> (Fuente: SHOA, <http://www.shoa.cl/servicios/TSM/regiones/caldera.htm>).

como eje el meridiano 100° oeste, y constituye un área estabilizadora en torno a la cual circulan las tormentas. En esta gran área anticiclónica, se generan masas de aire extremadamente secas y de gran estabilidad atmosférica, lo que determina que la precipitación sea escasa en el área de su influencia.

El clima de la región también recibe la influencia de perturbaciones frontales originadas en el Frente Polar Antártico, en donde interaccionan dos tipos de masas de aire: una fría de origen polar, y otra más cálida de origen subtropical. Por el choque de estas masas de aire, se originan perturbaciones o depresiones frontales, que migran hacia el norte del país, provocando lluvias, vientos de gran intensidad y temporales. Los efectos de estas perturbaciones dependen de la latitud y de las características de los frentes en cuestión.

El predominio de estos dos centros de acción determina variaciones en los patrones climáticos de la región, a saber, una sucesión regular de buenas condiciones de tiempo asociadas a las influencias anticiclónicas, e interrumpidas ocasionalmente, por malas condiciones de tiempo causadas por la actividad frontal.

El rango distintivo más notable, lo constituye la extensión del Anticiclón del Pacífico, el cual sufre desplazamientos en el año hacia el norte y el sur. Así, por ejemplo, en la época estival su influencia se extiende más al sur de Chiloé y, penetra decididamente hacia el interior del continente, generando buen tiempo en esas latitudes; en cambio, en los meses más fríos, se acerca al ecuador y se aleja del continente americano.

La migración latitudinal del Anticiclón a través del año, provoca que la ocurrencia de mal tiempo entre los 23° y 38° S se concentre en los meses de invierno (mayo a agosto), cuando la Alta se desplaza hacia el norte del país. Bajo esta condición, es posible el arribo de ciclones de corta duración (2-3 días), que con sus frentes asociados, causan lluvias y vientos intensos del cuarto cuadrante. Al avanzar hacia el norte del país, estos frentes llegan atenuados por el efecto del bloqueo anticlinal. En verano, cuando el Anticiclón recupera su posición promedio, el mal tiempo ciclónico queda excluido, y en esta situación prevalecen los vientos del S y SW, los cuales son favorables para el desarrollo de la surgencia costera, responsable de la alta productividad de las aguas marinas.

Otra fuente de mal tiempo es la depresión térmica continental, que sucede a períodos de buen tiempo, provocando días nublados, lloviznas, temperaturas algo más frías y vientos débiles del norte. Estas condiciones son de corta vida (uno a dos días), y ocurren con mayor frecuencia en verano, sobre todo en las regiones costeras y cuencas del centro y norte de Chile. Por ejemplo, entre Coquimbo y Caldera, en época de primavera verano, hay días en los cuales se puede producir un fuerte calentamiento en superficie, elevándose la masa de aire, y si esta tiene suficiente humedad, el enfriamiento durante el ascenso produce niebla o neblina en superficie, y nubosidad en capas bajas, sin que se produzca lluvia. Esta formación de nubes se conoce como vaguada, depresión térmica o baja costera, porque se desarrolla cerca de la costa; el término de baja es porque el ascenso del aire, simultáneamente produce una disminución de la presión en superficie. Su duración típica es de dos días y medio, ya que si no se unen con algún sistema frontal, al tercer día, la radiación solar en el tope de las nubes, disipa la delgada capa de nubes.

En términos generales, el régimen de vientos de la región queda definido por los centros de acción atmosféricos, ya que la actividad ciclónica se relaciona con la dirección norte y noroeste, mientras que la actividad anticiclónica es anunciada por los vientos del tercer cuadrante (S y SW).

Como la región se encuentra bajo el predominio Anticiclónico, la dirección reinante del viento es S y SW, la mayor parte del año. El rasgo más importante de este régimen, son los pulsos de vientos del SW (surazos) que se originan cuando la Alta se intensifica. Esta situación, puede condicionar una circulación sostenida del sur, con vientos superiores a 15 nudos, y marejadas locales del tercer cuadrante.

En los meses de otoño e invierno, y en coincidencia con el repliegue del Anticiclón hacia latitudes más bajas, la región es perturbada ocasionalmente por frentes migratorios depresionarios de corta duración del frente polar (temporales). Como la circulación atmosférica en presencia de ciclones rota en sentido horario, el viento responde antes del paso de su núcleo, con una dirección principalmente norte (NW), y con intensidades crecientes, que pueden llegar a 20 o 30 nudos durante períodos de tormenta, no obstante a la latitud de Caldera, los frentes en cuestión llegan atenuados por el bloqueo Anticiclonal.

Este régimen estacional se complementa con ciclos diurnos costeros, los cuales están controlados por la radiación solar y la geometría de línea de costa. Desde el mediodía es común una circulación atmosférica sostenida mar a tierra, que se extingue con la puesta del sol. De madrugada la circulación atmosférica es variable y aparece una ligera brisa terrestre, con una componente hacia el mar, lo que determina condiciones de mar calmo.

#### **5.4.2 Objetivos**

Los estudios de oceanografía física, química y biológica tuvieron como objetivos:

- Caracterizar físico-química y microbiológicamente, en campañas de verano e invierno, la columna de agua y las aguas de playa de los alrededores de Isla Cima Cuadrada.
- Caracterizar desde el punto de vista físico y químico, los sedimentos submareales de los alrededores de I. Cima Cuadrada, en campañas de verano e invierno.
- Determinar los patrones de circulación, mediante mediciones eulerianas y lagrangianas, de las corrientes de los alrededores de I. Cima Cuadrada, en campañas de verano e invierno.
- Determinar la capacidad de dispersión de las aguas adyacentes a los sectores de I. Cima Cuadrada, en campañas de verano e invierno.
- Caracterizar las comunidades macrobentónicas submareales de fondo blando, en campañas de verano e invierno, de los alrededores de Isla Cima Cuadrada.
- Caracterizar las comunidades macrobentónicas intermareales de fondo duro, en campañas de verano e invierno, de los alrededores de Isla Cima Cuadrada.
- Efectuar censos de mamíferos y reptiles marinos y de la avifauna local de los alrededores de Isla Cima Cuadrada.
- Utilizar la información detallada de la caracterización de cada una de las matrices ambientales caracterizadas, para ser utilizadas en la evaluación de impacto ambiental del medio marino.

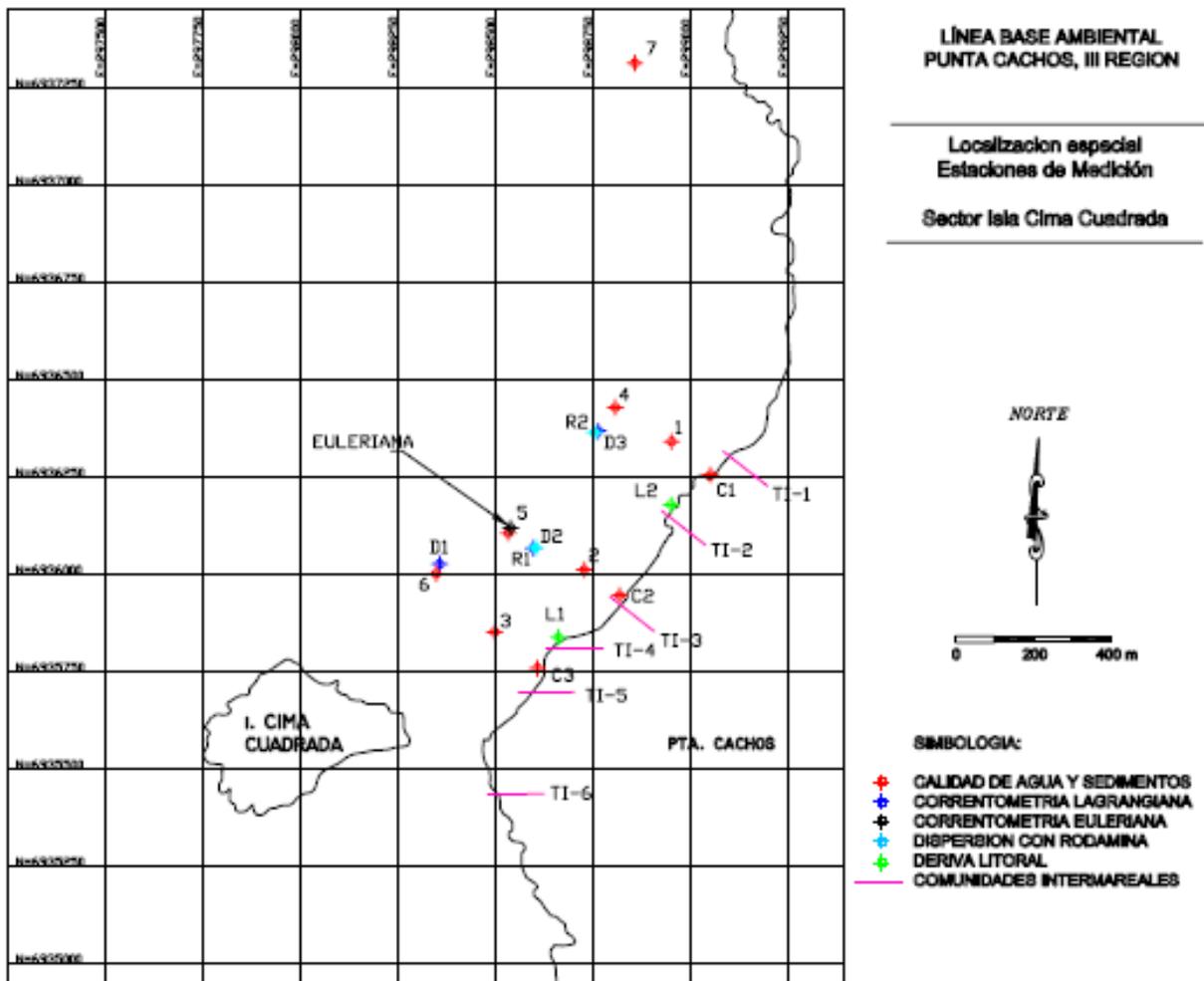
### 5.4.3 Metodología

- **Área de Estudio**

La ubicación de las estaciones para cada una de las matrices ambientales analizadas se detalla en la Figura 5.4-1.

Cabe señalar que para la selección de las estaciones para cada una de las matrices se siguió una serie de criterios; no obstante, en todos los casos se tubo como criterio común, abarcar principalmente la zona de influencia del futuro proyecto de la Central, conforme a lo indicado por la Autoridad Marítima en la “*Guía Metodológica de Revisión Técnica Sectorial de Estudios de Impacto Ambiental en el Medio Ambiente Acuático de Jurisdicción Nacional para Proyectos que Contemplan Descargas de Residuos Líquidos, de Puertos y Terminales Marítimos u Otros*”.

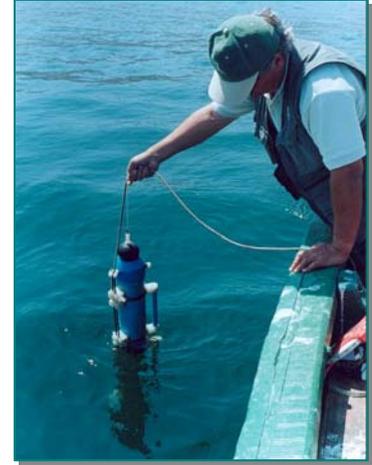
**Figura 5.4-1**  
**Ubicación de las Estaciones para el Estudio de cada una de las Matrices Ambientales Analizadas en el Sector de Isla Cima Cuadrada**



#### 5.4.4 Resultados

##### 5.4.4.1 Estudio de Parámetros Físico-Químicos de la Columna de Agua Marina

El día 16 de enero de 2008 se llevó a cabo la toma de muestras de la columna de agua marina en los sectores adyacentes al futuro proyecto de la Central Termoeléctrica (alrededores de Isla Cima Cuadrada) para la campaña de verano. En tanto, el día 02 de agosto de 2008 se ejecutó la campaña de invierno. En esta área se obtuvieron muestras en un total de siete estaciones (Figura 5.4-1), en subsuperficie (0,5 metros) y a un metro del fondo, abarcando el frente del sector. Asimismo, se seleccionó una estación Control, ubicada al N del área propiamente tal del proyecto, siendo considerada como estación de referencia. Las muestras de columna de agua fueron tomadas a bordo de una embarcación menor, haciendo uso de botellas Niskin (Fotografía 5.4-1).



**Fotografía 5.4-1.** Inmersión de botella Niskin en la columna de agua de mar.



**Fotografía 5.4-2** Envases con muestras recién obtenidas.

...sus respectivos envases  
...as características de los  
...fía 5.4-2), siguiendo los  
...or la United Nations

Environment Programme (UNEP, 1984), NCh 411/2 Of. 96 “Calidad del agua – Muestreo – Parte 2: Guía sobre técnicas de muestreo” y NCh 411/9 Of. 98 “Calidad del agua – Muestreo – Parte 9: Guía para el muestreo de aguas marinas”. Las muestras preservadas fueron enviadas al laboratorio de Química Ambiental de la Universidad de Valparaíso en donde se efectuó su análisis. Los parámetros analizados en cada muestra y las metodologías se

detallan en la Tabla 5.4-1. Es importante mencionar que la variable pH fue medida *in situ*, utilizando un pHmetro marca Oakton pH Series 300 (waterproof), habilitado con sensor de temperatura. En tanto, los parámetros temperatura y salinidad fueron también medidos en perfiles *in situ* utilizando un CTD (las mediciones con este instrumento serán detalladas en los siguientes párrafos).

**Tabla 5.4-1**  
**Parámetros Físico-químicos y Microbiológicos Analizados en la Columna de Agua y**  
**Metodologías Aplicadas en cada uno de ellos. Campañas de Verano e Invierno**

Parámetro	Método Analítico
pH	Phmetro (electrométrico)
Temperatura	CTDO (potenciométrico) (*)
Oxígeno Disuelto	CTDO (potenciométrico) (*)
Salinidad	CTDO (potenciométrico) (*)
Transparencia	Disco Secchi
Alcalinidad	Volumetría (**)
Cloro Residual	Mercurimétrico
Grasas y Aceites	Partición y Gravimetría
Nitratos	Reducción con Cadmio, 4500-Cl G Método DPD 330,5
Nitrógeno Amoniacal	Método de Fenato
Sólidos Suspendidos	Gravimétrico
Sólidos Disueltos	Gravimétrico
Níquel Disuelto	Espectrofotometría de Absorción Atómica
Vanadio Disuelto	Espectrofotometría de Absorción Atómica
Coliformes Fecales	Número Más Probable
Coliformes Totales	Número Más Probable

(\*) CTDO: Permite registrar *in situ* Salinidad (Conductivity), Temperatura (Temperature), Profundidad (Depth), Oxígeno (Oxygen).

(\*\*) Sólo medido en la campaña de invierno.

#### **5.4.4.2 Estudio de Parámetros Físico-Químicos de Sedimentos Submareales**

##### **• Análisis Físico**

El muestreo de sedimentos marinos submareales se llevó a cabo el día 16 de enero de 2008, para la campaña de invierno, y el día 31 de julio de 2008 para la de invierno. Ambas campañas se ejecutaron en forma paralela al de comunidades macrobentónicas submareales de fondos blandos, tomando un total de 7 muestras con sus respectivas réplicas (Figura 5.4-1). Las estaciones coincidieron con las de columna de agua. El número de estaciones se seleccionó considerando abarcar todo el frente marino de cada una de las zonas en estudio. Además, se tuvo en cuenta los resultados obtenidos en el análisis de las comunidades macrobentónicas y lo indicado por la “*Guía Metodológica*” confeccionada por la Autoridad Marítima.

El *análisis granulométrico* de los sedimentos (análisis físico) se efectuó mediante el tamizaje de 100 gramos de sedimento en un agitador mecánico durante 15 minutos, previo secado de la muestra a temperatura ambiente y la extracción de la macrofauna presente. Las fracciones retenidas en los diferentes tamices geológicos fueron pesadas por separado en una balanza analítica de precisión 0,001 g. Los tipos sedimentarios fueron clasificados de acuerdo a la escala de Wenworth (1922) y los estadígrafos fueron calculados de acuerdo a Inmann (1952).

- **Análisis Químico**

La metodología de muestreo de sedimentos para análisis químico corresponde a la descrita en el acápite anterior. Submuestras de sedimentos fueron recubiertas en papel aluminio para efectuar en ellas los diferentes análisis químicos. Las muestras fueron trasladadas a 4° C a los laboratorios de Química Ambiental de la Universidad de Valparaíso, en donde se efectuó su análisis. Los parámetros y las técnicas analíticas utilizadas en este estudio se detallan en la Tabla 5.4-2.

**Tabla 5.4-2**  
**Parámetros y Metodologías de Análisis Químico Utilizadas en el**  
**Estudio de Sedimentos Campañas de Verano e Invierno**

<b>Parámetro</b>	<b>Método</b>
MOT	Oxidación con Ácido Crómico
Cadmio	EAA, Llama Aire/Acetileno
Cromo	EAA, Llama Aire/Acetileno
Níquel	EAA, Llama Aire/Acetileno
Mercurio	EAA, Generación Hidruros
Plomo	EAA, Horno de Grafito
Vanadio	EAA, Horno de Grafito
Zinc	EAA, Llama Aire/Acetileno

(\*) EAA: ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

#### **5.4.4.3 Estudios de Correntometría Euleriana**

Las mediciones de corrientes eulerianas en estación fija, se realizaron desde el 13 de diciembre hasta el 16 de enero de 2008, en la campaña de verano, para lo cual se operó un perfilador acústico ADCP, marca NORTEK modelo Aquadopp. El ADCP fue fondeado en el punto indicado en la Figura 5.4-1. En tanto, entre los días 02 de agosto hasta el 01 de septiembre de 2008, se realizó la campaña de invierno, utilizando un perfilador acústico ADCP, marca Teledyne RD Instruments modelo Workhorse.

Los ADCP fueron instalados en el veril de 19,5 metros (aproximadamente), con respecto al Nivel de Reducción de Sondas (NRS).

Los instrumentos fueron programados para registrar en forma continua, el perfil de la corriente cada 1 metro de profundidad y en intervalos cada 10 minutos.

Una vez finalizado el período de mediciones, la información almacenada en la memoria sólida de los instrumentos fue recuperada mediante el empleo de un computador e interfaces electrónicas conectadas a ellos.

Las mediciones cubrieron los períodos de sicigia y cuadratura lunar (30 días de registro continuo). Los registros de la dirección de las corrientes fueron referidos originalmente al norte magnético; sin embargo, para el análisis de la información, la dirección fue referida al norte geográfico, empleándose para tal efecto la corrección de desviación magnética local.

La información de corrientes fue sometida a un análisis estadístico de frecuencias por rangos de dirección y magnitud para una rosa de 16 direcciones. Para determinar variaciones periódicas se calculó el autoespectro de las corrientes con el método propuesto por Jenkins & Watts (1968), a partir de los datos horarios, 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.

Con la finalidad de determinar posibles relaciones causa efecto entre los distintos agentes forzantes de la circulación marina durante la ejecución de los estudios de corrientes se llevó un control del viento y de la marea.

Las capas de agua analizadas fueron las siguientes:

- Capa 1: a 2,1 m bajo el NMM (ó 17,4 m sobre el piso oceánico)
- Capa 2: a 7,1 m bajo el NNM(ó 12,4 m sobre el piso oceánico)
- Capa 3: a 12,1 m bajo el NMM (ó 7,4 m sobre el piso oceánico)
- Capa 4: a 17,1 m bajo el NMM (ó 2,4 m sobre el piso oceánico).

#### **5.4.4.4 Estudios de Correntometría Lagrangiana (Derivadores)**

Para determinar las líneas de flujo de las corrientes marinas, en el período de invierno se realizaron dos campañas de mediciones con derivadores, en época de sicigias y cuadraturas. En cada campaña se realizaron estudios lagrangianos en tres sitios (D1, D2 y D3, **Figura 5.4-1**), en condiciones de marea llenante y vaciante. Las fechas y puntos de lanzamiento fueron los siguientes:

18 de diciembre de 2007 (Cuadratura Lunar, vaciante y llenante).

09 y 10 de enero de 2008 (Sicigia Lunar, vaciante y llenante respectivamente):

- D-1 : E 298.358,8 N 6.936.024,9
- D-2 : E 298.605,3 N 6.936.066,8
- D-3 : E 298.755,0 N 6.936.362,5

En la campaña de invierno, se realizaron siete campañas de mediciones con derivadores, cuatro en sicigia y tres en cuadratura. En cada campaña se realizaron estudios lagrangianos en seis sitios (D1, D2 y D3, sector norte de la isla), y D4, D5 y D6 (sector sur de la isla), con marea llenante y vaciante. Estas tres últimas estaciones se adicionaron para tener mayor información de la correntometría en el área de estudio.

Las fechas y puntos de lanzamiento fueron los siguientes:

13, 15 y 16 de agosto de 2008 (Sicigia Lunar); 23, 24 y 25 de agosto de 2008 (Cuadratura Lunar):

- D-1 : E 298.358,7 N 6.936.024,9
- D-2 : E 298.605,2 N 6.936.066,7
- D-3 : E 298.755,0 N 6.936.362,4
- D-4 : E 298.122,3 N 6.934.508,0
- D-5 : E 298063,0 N 6.935.021,5
- D-6 : E 298.098,0 N 6.934.741,0

En cada sitio de medición, se efectuaron lances de derivadores en dos niveles de profundidad de la columna de agua, a 1,0 y 5,0 m. Para este efecto, se utilizaron boyas de deriva tipo cruceta, de sección 60x85 cm, debidamente compensadas para flotabilidad neutra, y diseñadas para minimizar el arrastre del viento sobre el elemento derivador (**Fotografía 5.4-3**). El recorrido de los derivadores fue seguido desde una embarcación y posicionado mediante sistema de DGPS diferencial. De esta manera, las posiciones de los derivadores fueron vinculadas a la red geodésica nacional en coordenadas UTM.



**Fotografía 5.4-3** Detalle de elemento derivador utilizado en la zona de estudio.

Con la información recolectada en terreno, se reconstruyeron las trayectorias seguidas por las boyas de deriva, y se determinó la dirección y rapidez de sus desplazamientos. Durante la ejecución de estas experiencias, se llevó un control del viento (*in situ*), con un anemógrafo portátil marca Extech.

#### **5.4.4.5 Estudios de Deriva Litoral**

El estudio de corrientes litorales se realizó el día 14 de enero de 2008 en la campaña de verano, en dos estaciones con las siguientes coordenadas:

##### **Estación L-1**

Coordenada Este: 298.952,1  
 Coordenada Norte: 6.936.177,7  
 (Datum WGS - 84)

##### **Estación L-2**

Coordenada Este: 298.663,3  
 Coordenada Norte: 6.935.836,2  
 (Datum WGS - 84)

Las mediciones de la campana de invierno se realizaron los días 15,16 y 23 de agosto de 2008. En esta oportunidad se adicionaron estaciones al sur de I. Cima Cuadrada. Las coordenadas de las estaciones adicionadas fueron las siguientes:

#### ➤ **Sector Sur I. Cima Cuadrada**

##### **Estación L-3**

Coordenada Este: 298.498,0  
 Coordenada Norte: 6.935.566,0  
 (Datum WGS - 84)

##### **Estación L-4**

Coordenada Este: 298.646,0  
 Coordenada Norte: 6.935.182,0  
 (Datum WGS - 84)

El estudio de corrientes litorales se realizó usando el trazador químico Rodamina B, el cual fue descargado en forma superficial en el borde costero, en dos sitios aledaños al área de proyecto.

El desplazamiento de la mancha de rodamina fue monitoreado desde la costa, con lo cual se pudo determinar la velocidad y dirección de la corriente litoral.

#### 5.4.4.6 Estudios de Dispersión con Trazadores Químicos (rodamina b)

La capacidad de dispersión de la columna de agua en la zona de estudio, se evaluó mediante el trazador químico Rodamina B. Este trazador fue elegido por ser una sustancia química, que disuelta en alcohol y agua de mar, presenta un destacado color anaranjado fácil de identificar y monitorear (**Fotografía 5.4-4**). A ello se agrega su carácter no tóxico sobre la biota acuática.



**Fotografía 5.4-4** Mancha de rodamina y su derivador asociado.

En la campaña de verano se realizaron un total de 4 experiencias con Rodamina en 2 estaciones o puntos de muestreo en los alrededores de I. Cima Cuadrada. Las estaciones de lance de rodamina corresponden al siguiente detalle (**Figura 5.4-1**):

Estación R-1: E 298.605,3 N 6.936.066,8  
Estación R-2: E 298.755,0 N 6.936.362,5

En cada punto o estación, se realizó un total de 4 experiencias con rodamina (2 en vaciante y 2 en llenante), los días 18 de diciembre de 2007 (cuadratura), en las fases mareales de llenante y vaciante, y 09 y 10 de enero de 2008 (sicigia), vaciante y llenante respectivamente.

En la campaña de invierno, se realizaron un total de 8 experiencias con Rodamina en 2 estaciones o puntos de muestreo en los alrededores de I. Cima Cuadrada. En este caso se adicionaron dos estaciones más al sur de I. Cima Cuadrada:

➤ **Sector Sur I. Cima Cuadrada** (adicionadas para esta campaña)

Estación R1: E 298.605,3; N 6.936.066,8  
Estación R2: E 298.755,0; N 6.936.177,7

En cada punto o estación, se realizaron un total de 4 experiencias con rodamina (2 en vaciante y 2 en llenante) los días 13, 15 y 16 de agosto de 2008 (Sicigia Lunar) y 23, 24 y 25 de agosto de 2008 (Cuadratura Lunar) en los sectores norte y sur de I. Cima Cuadrada.

La forma y dirección de la mancha de rodamina, es decir, su expansión lateral y el desplazamiento de su centroide, fue monitoreado desde la costa y posicionada mediante un sistema de posicionamiento global DGPS. El control de las posiciones perimetrales y centro de la mancha de rodamina, se realizó con apoyo de una embarcación, y con lecturas cada 5 a 20 minutos. Lo anterior, permitió seguir el desplazamiento y expansión de la rodamina por un período de 30 a 80 minutos, antes que la mancha visible comenzara a dispersarse por disminución de la concentración bajo el umbral de visión.

Con la información recolectada en terreno, se reconstruyeron las posiciones de la mancha de rodamina B, estimándose la velocidad promedio, superficies y coeficientes de dispersión horizontal (Kh), de acuerdo a la siguiente relación:

$$Kh = \frac{dA}{dt} \text{ (m}^2\text{/s)}$$

donde:

A: Superficie de la mancha  
t: Unidad de tiempo.

#### 5.4.4.7 Estudios de Régimen de Vientos Locales

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 las épocas de verano e invierno. Para este efecto, se instaló en el área de estudio, una estación meteorológica automática, marca Weather Wizard III (**Fotografía 5.4-5**), 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 5.4-5** 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 en la campaña de verano fueron realizadas en el período comprendido entre el 14 de diciembre de 2007 y el 16 de enero de 2008. En tanto, las mediciones en invierno se efectuaron entre el 01 y el 31 de agosto de 2008.

#### **5.4.4.8 Estudios de Régimen de Mareas**

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 13 de diciembre de 2007 al 16 de enero de 2008, en la campaña de verano; y entre el 02 de agosto al 01 de septiembre de 2008 en la campaña de invierno.

Las mediciones se realizaron con perfiladores ADCP equipados con sensores de presión digital (el mismo utilizado en el estudio de corrientes eulerianas). Los equipos fueron programados 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:

Donde,

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

H: Altura de la marea, metros

P: Lectura instrumental (unidades de presión)

$\rho$  : Densidad del agua de mar, 1.025 g/m<sup>3</sup>

g: aceleración de gravedad

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 efectuó 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.

##### - Análisis armónico

El análisis armónico es un procedimiento matemático que consiste en representar la altura del nivel del mar en un instante cualquiera como la sumatoria de varias ondas sinusoidales simples, denominados constituyentes armónicos de marea, de acuerdo con la siguiente expresión:

Donde,

$$H_t = Z_0 + \sum A_i \times c \cos(W_i \times t - F_i)$$

$H_t$ : Altura del nivel del mar en cualquier instante

$Z_0$ : Nivel medio del nivel del mar

$A_i$ : Semiampplitud del i-ésimo armónico.

$W_i$ : frecuencia angular del i-ésimo armónico (período de oscilación)

$F_i$ : Fase del i-ésimo armónico

El análisis armónico consiste en determinar una curva de marea teórica (serie armónica), que represente lo más fidedignamente las variaciones del nivel del mar observadas en terreno.

Para determinar los constituyentes armónicos de marea se utilizó un modelo numérico desarrollado sobre la base del algoritmo propuesto por Hikosaka *et al.* (1983). El procedimiento de análisis consiste básicamente en un análisis de Fourier, con el método de los mínimos cuadrados.

#### - Nivel de reducción de sondas

El nivel de reducción de sonda (NRS) oficial de Chile es un plano que pasa tangente a la mayor bajamar de la localidad.

Para determinar el NRS se utilizó el procedimiento oficial de cálculo indicado por SHOA, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\text{NRS} = M_2 + S_2 + N_2 + K_1 + O_1$$

$Z_0$ : Nivel Medio del Mar

$M_2$ : Semiampplitud constituyente lunar principal semidiurno

$S_2$ : Semiampplitud constituyente solar principal semidiurno

$N_2$ : Semiampplitud constituyente lunar eclíptica mayor semidiurno

$K_1$ : Semiampplitud constituyente lunisolar declinacional diurno

$O_1$ : Semiampplitud constituyente lunar declinacional diurno

#### - Régimen de marea

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

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

$M_2$ : Semiampplitud constituyente lunar principal semidiurno

$S_2$ : Semiampplitud constituyente solar principal semidiurno

$K_1$ : Semiampplitud constituyente lunisolar declinacional diurno

$O_1$ : Semiampplitud constituyente lunar declinacional diurno

#### 5.4.4.9 Estudios de Ecología de Comunidades Biológicas

##### Estudios de Comunidades Macrobentónicas Submareales

El muestreo de las comunidades macrobentónicas de fondos blandos submareales del área de estudio se realizó el día 16 de enero de 2008, en el período de verano, y el día 31 de julio de 2008 en invierno. En cada estación se extrajeron muestras en siete estaciones, cada una con respectivas réplicas. La estación control fue ubicada al norte del área de influencia del futuro proyecto, siendo considerada como referencia. Cabe señalar que el criterio de ubicación de la estación control se basó en lo estipulado por Striplin *et al.* (1992), esto es: área con similar hidrografía, profundidad de la columna de agua, y similar granulometría. Esto permite minimizar la variabilidad natural en la composición de las comunidades bentónicas que pueden ser atribuidas a estos factores.

Para determinar el número total de estaciones a caracterizar, se utilizaron dos criterios: 1) Se consideró el número de estaciones recomendado en la “*Guía Metodológica de Revisión Técnica Sectorial de Estudios de Impacto Ambiental en el Medio Ambiente Acuático de Jurisdicción Nacional para Proyectos que Contemplan Descargas de Residuos Líquidos, de Puertos y Terminales Marítimos u Otros*”, confeccionada por la Autoridad Marítima; y 2) Se trazó una línea imaginaria frente a las futuras instalaciones de Transelec S.A., de manera de abarcar todo el área de influencia y se localizaron las 6 estaciones uniformemente distribuidas, adicionando la estación Control. La localización de las estaciones resultó ser la detallada en la **Figura 5.4-1**.



**Fotografía 5.4-6** Buzo con muestreador (corer PVC) de sedimentos submareales.

La extracción de las muestras se llevó a cabo por medio de buceo autónomo, utilizando un muestreador estándar conformado por un tubo de PVC de 8 pulgadas de diámetro y 49 cm de largo; el cual, usándolo a modo de pala, permite extraer un área de 0.1 m<sup>2</sup> (**Fotografía 5.4-6**).

Este muestreador tiene una eficiencia de muestreo de entre 88,10 y 94,40%, muy superior a una draga de muestreo de sedimento estándar como una Van Veen (27,3 – 87,3% eficiencia; Gallardo, 1963). Cada muestra obtenida fue trasvasada a bolsas de polietileno, debidamente etiquetadas, para posteriormente ser transportada a las instalaciones de EcoTecnos en Viña del Mar, en donde se realizó su análisis.

La macrofauna presente en el sedimento fue separada haciendo escurrir a través de él un chorro de agua dulce, para recogerla posteriormente en un tamiz de 1,0 mm de abertura de malla (**Fotografía 5.4-7**).



**Fotografía 5.4-7** Proceso de cernido de las muestras de sedimento.

Todo el material biológico retenido fue fijado en una solución de formalina diluida en agua de mar al 4%, para su posterior identificación, recuento y pesaje de especies.

Con los datos obtenidos, se calculó la *abundancia* promedio de cada especie, expresado en individuos por metro cuadrado ( $\text{ind}/\text{m}^2$ ) y la *biomasa* promedio, expresada en gramos por metro cuadrado ( $\text{g}/\text{m}^2$ ). Para este efecto, los organismos fueron mantenidos en alcohol, para luego secarlos a temperatura ambiente y calcinarlos en un horno de mufla a  $500^\circ\text{C}$  por 30 minutos (peso seco libre de ceniza).

El análisis faunístico se realizó considerando toda la fauna retenida en el tamiz. Sobre esta base, se calcularon los índices que de acuerdo a Pielou (1966), Gray (1981) y Lie (1969), describen mejor las características estructurales de una comunidad y que son los recomendados por la Autoridad Marítima: *Diversidad Específica* ( $H'$  de Shannon-Weaver, 1963, modificado por Lloyd *et al.*, 1968), *Uniformidad Específica* (J de Pielou, 1966) y *Riqueza Específica* (S de Margalef, 1968). Además se realizó el análisis de las comunidades bentónicas conocido como método de las curvas ABC (Abundance Biomass Comparison plots), de acuerdo a Warwick (1986).

Para el análisis multidimensional, se transformaron los datos de abundancia de cada una de las especies a la forma  $Y = \log_{10}(X + 1)$  (Cassie & Michael, 1968), confeccionándose una matriz de doble entrada entre las estaciones y las diferentes especies. A partir de ésta, se aplicó un análisis conglomerativo de clasificación (Cluster Análisis) modo Q de distancias euclidianas. Para construir los conglomerados se utilizó la técnica de agrupación jerárquica de la media ponderada (Legendre & Legendre, 1979), obteniendo el correspondiente dendrograma para estimar el grado de similitud entre las estaciones. Para este fin se usó el paquete estadístico STATISTICA versión 6.0 Edición 97 para Windows®. Del mismo modo se efectuó el análisis de ordenación de escalamiento no-métrico multidimensional (ENM), recomendado por Warwick & Clarke (1993) para las estaciones, a partir de la matriz de similitud obtenida del análisis de conglomerados.

Se estableció, también, la distribución del número de individuos en clases geométricas de manera similar a lo efectuado por Pearson *et al.* (1983), seleccionando las especies indicadoras de cambios en las comunidades bentónicas mediante el método propuesto por Gray & Pearson (1982), Pearson *et al.* (1983) y Pearson & Blacktock (1983).

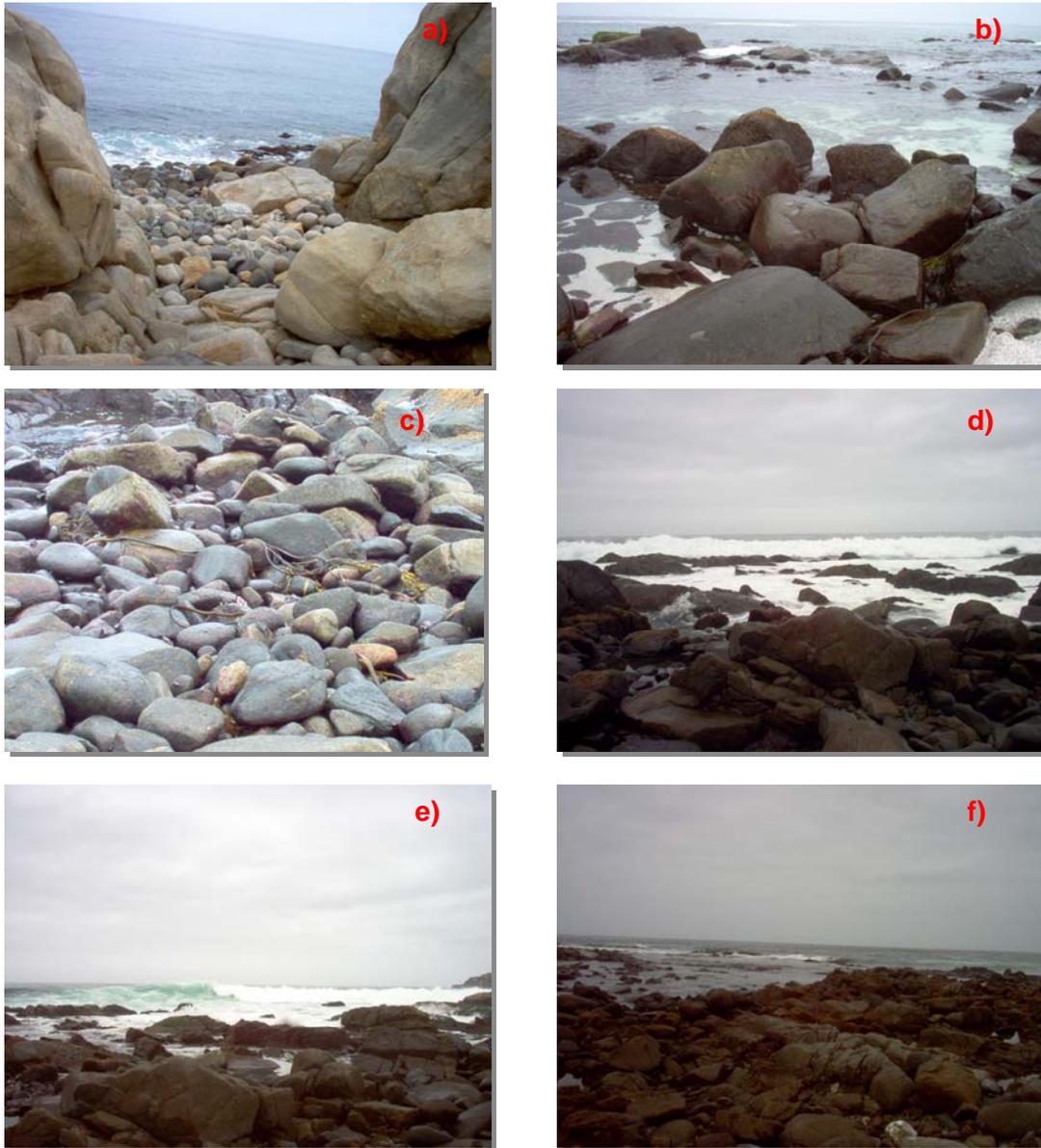
#### Estudios de Comunidades Macrobentónicas Intermareales

El día 05 de diciembre de 2007 se efectuó el muestreo de las comunidades macrobentónicas de fondos duros intermareales del área de estudio, emplazada en el sector suroeste de Punta Cachos, frente a Isla Cima Cuadrada, campaña de verano. En tanto, el día 30 de julio de 2008 se realizó la campaña de invierno. En ambas se trazaron 6 transectas perpendiculares a la línea de costa, localizadas desde los  $27^\circ 41' 08,9''\text{ S}$ ;  $71^\circ 02' 22,7''\text{ W}$  hasta los  $27^\circ 41' 37,4''\text{ S}$ ;  $71^\circ 02' 32,2''\text{ W}$  (**Fotografías 5.4-9 a) a f)**). Las transectas se denominaron como TI-1 a TI-6.

En cada transecta se efectuó un recorrido, identificando en detalle las especies de flora y fauna macrobentónicas visibles, haciendo uso de una grilla o cuadrante de 50x50 cm (**Fotografía 5.4-8**). En cada transecta se consideraron 10 puntos o estaciones de muestreo equidistantes entre sí. En cada punto donde se colocó la grilla, se contabilizaron las especies presentes en la intersección de la grilla, identificando las especies presentes. Para el registro de ellas, se utilizaron tablas de acrílico y, en caso que sea necesario, se fotografiaron las especies y/o se obtuvieron ejemplares para su identificación en las instalaciones de EcoTecnos en Viña del Mar. En el caso de extraer muestras de ejemplares, todo el material biológico fue fijado en una solución de formalina diluida en agua de mar al 4%. Con los datos obtenidos se calculó la *cobertura* promedio de cada especie expresada en porcentaje.



**Fotografía 5.4-8** Detalle de la grilla utilizada en el estudio de comunidades intermareales rocosas.



**Fotografía 5.4-9** Detalle de las transectas intermareales del sector de estudio.  
a) T-1, b) T-2, c) T-3, d) T-4, e) T-5, f) T-6.

El análisis faunístico se realizó considerando toda la fauna y flora identificada. Sobre esta base, se calcularon los índices que de acuerdo a Pielou (1966), Gray (1981) y Lie (1969), describen mejor las características estructurales de una comunidad y que son los recomendados por la Autoridad Marítima: *Diversidad Específica* ( $H'$  de Shannon-Weaver, 1963, modificado por Lloyd *et al.*, 1968), *Uniformidad Específica* ( $J$  de Pielou, 1966) y *Riqueza Específica* ( $S$  de Margalef, 1968).

#### 5.4.4.10 Estudios de Avifauna

Entre los días 05 y 07 de diciembre de 2007 se efectuó la campaña de verano de la avifauna presente en el área, emplazada en el sector suroeste de Punta Cachos, frente a Isla Cima Cuadrada, desde los 27°41'08,9" S; 71°02'22,7" W hasta los 27°41'37,4" S; 71°02'32,2" W, abarcando una longitud aproximada de 1.100 metros de largo y 50 metros de ancho promedio; estos últimos determinados desde el borde del comienzo de la playa (zona geolitoral, de acuerdo a Alveal & Romo, 1977) y la zona de la rompiente de las olas (intermareal inferior). En total se censó un área de 55.000 m<sup>2</sup>, correspondiente a el área donde se desarrollará el proyecto y sectores aledaños El recorrido se realizó en horario AM (desde las 08:00 hrs. a las 13:30 hrs.) y PM (14:00 hrs. a las 19:30 hrs.) en los tres días de estudio.

Para la campaña de invierno, el área se dividió en dos zonas: Sector Continental Frente Isla Cima Cuadrada y Sector Isla Cima Cuadrada. El día 30 de julio de 2008 se efectuó la campaña de invierno del sector Continental frente Isla Cima Cuadrada, desde los 27°41'08,9" S; 71°02'22,7" W hasta los 27°41'37,4" S; 71°02'32,2" W, abarcando una longitud aproximada a los 1.300 metros de perímetro y 50 metros de ancho promedio. En total se censó un área de 55.000 m<sup>2</sup>, correspondiente al área donde se desarrollará el proyecto y sectores aledaños. El recorrido se realizó en horario AM (desde las 08:00 hrs. a las 13:30 hrs.) y PM (14:00 hrs. a las 18:30 hrs.). Finalmente, el día 31 de julio de 2008 se efectuó el censo de avifauna, campaña de invierno, del sector suroeste de Punta Cachos, recorriendo toda la I. Cima Cuadrada, abarcando un área aproximada a de 80.100 m<sup>2</sup>, correspondiente a las inmediaciones del proyecto. El recorrido se realizó en horario PM, desde las 14:30 hrs. a las 16:30 hrs., cuando las condiciones oceanográficas lo permitieron.

El método utilizado fue aquel denominado "método de transectas" (Bibby *et al.*, 2000). La metodología de estudio consistió en contabilizar e identificar todas las aves que se presentaron en el área de estudio. Para tal efecto se utilizaron binoculares 7 x 50 (**Fotografía 5.4-10**) y una cámara digital Sony Cyber-Shot de 1.3 Megapixeles, con la cual fueron fotografiados en terreno algunos ejemplares para posteriormente confirmar la identificación con la ayuda de la Guía de Campo de las Aves de Chile de Araya & Millie (1996) y Birds of Chile de Jaramillo *et al.* (2003). Los resultados se ordenaron en planillas de cálculo para la presentación de valores de densidad (ind/m<sup>2</sup>). Las aves censadas se separaron en zonas correspondientes a las transectas estudiadas.



**Fotografía 5.4-10** Avistamiento de aves.

Posteriormente se ordenaron los datos en planillas de cálculo para la presentación de valores de abundancia y densidad.

#### **5.4.4.11 Estudio de Mamíferos y Reptiles Marinos**

Entre los días 05 y 07 de diciembre de 2007 se efectuó la campaña de verano del levantamiento de los mamíferos y reptiles marinos del sector suroeste de Punta Cachos, frente a Isla Cima Cuadrada, desde los 27°41'08,9" S; 71°02'22,7" W hasta los 27°41'37,4" S; 71°02'32,2" W, abarcando una longitud aproximada a los 1.100 metros de largo y 50 metros de ancho promedio estos últimos determinados desde el borde del comienzo de la playa (zona geolitoral, de acuerdo a Alveal & Romo, 1977) y la zona de la rompiente de las olas (intermareal inferior). En total se censó un área de 55.000 m<sup>2</sup>, correspondiente a el área donde se desarrollará el proyecto y sectores aledaños El recorrido se realizó en horario AM (desde las 08:00 hrs. a las 13:30 hrs.) y PM (14:00 hrs. a las 19:30 hrs.) en los tres días. A esto se adicionó un par de recorridos diarios en bote (AM y PM) por la zona, con el fin de detectar la presencia de mamíferos y/o reptiles marinos.

En tanto, para la campaña de invierno del estudio de mamíferos y reptiles marinos, el área se dividió en dos zonas: Sector Continental Frente Isla Cima Cuadrada y Sector Isla Cima Cuadrada.

El día 30 de julio de 2008 se efectuó el estudio en el sector suroeste de Punta Cachos, sector continente frente a Isla Cima Cuadrada, desde los 27°41'08,9" S; 71°02'22,7" W hasta los 27°41'37,4" S; 71°02'32,2" W, abarcando una longitud aproximada a los 1.300 metros de largo y 50 metros de ancho promedio. En total se censó un área de 55.000 m<sup>2</sup>, correspondiente al área donde se desarrollará el proyecto y sectores aledaños El recorrido se realizó en horario AM (desde las 08:00 hrs. a las 13:30 hrs.) y PM (14:00 hrs. a las 18:30 hrs.). Finalmente, el día 31 de julio de 2008 se efectuó el censo de mamíferos y reptiles marinos presentes en los alrededores y la isla misma de Cima Cuadrada, recorriendo toda la isla, abarcando un área aproximada de 80.100 m<sup>2</sup>, correspondiente a las inmediaciones del proyecto. El recorrido se realizó en horario PM, desde las 14:30 hrs. a las 16:30 hrs.

En ambas campañas y en todos los sectores, se contaron e identificaron todos los mamíferos marinos y reptiles que se presentaron. Para tal efecto se utilizaron binoculares Nikon Monarch 10 x 42 y una cámara digital Samsung S750 7.2 Megapixeles, con la cual fueron fotografiados en terreno algunos ejemplares, en el caso que fuera necesario confirmar su identificación posterior con la ayuda de guías especializadas, tales como la de Sielfeld (1983).

## 5.4.5 Conclusiones de los Estudios Efectuado en Verano e Invierno

### 5.4.5.1 Estudios de Columna de Agua Marina

Los resultados de la **campana de verano** en los sectores aledaños a I. Cima Cuadrada indicaron que los valores de temperatura y salinidad se encontraban acordes al área (latitud) de estudio y a la época del año y son similares a los señalados por el SHOA. Se apreciaron importantes cambios en profundidad de los registros de temperatura (termoclinas), más acentuadas en las estaciones con mayores profundidades. Esto generaría una capa de mezcla superficial, en donde quedaría atrapada cualquier sustancia vertida al medio marino. En tanto, los registros de oxígeno disuelto mostraron una columna de agua bien oxigenadas, especialmente en la capa eufótica, la cual se ubicaría entre 8,5 y 10,5 metros, estimados a través de las mediciones de transparencia con disco Secchi (transparencia). Esta relativamente amplia capa eufótica reflejó los niveles basales de sólidos suspendidos medidos, los que clasificaron a las aguas de excelente a buena calidad (para este parámetro), de acuerdo a la futura norma de aguas marinas. Asimismo, los resultados indicaron que las aguas analizadas no presentan signos de alteración de la acidez (medida a través de los registros de pH), y muestran ausencia de cloro libre residual y aceites y grasas.

Por otra parte, los contenidos de nitrato analizados no representaron alteración de la columna de agua y, más bien, corresponderían a concentraciones bajas. Esto se ve correlacionado, además, con los escasos valores de amonio (nitrógeno amoniacal) medidos, los que clasificaron a las aguas analizadas como aguas de buena a excelente calidad para el amonio. Situación similar se registró para las concentraciones de níquel y vanadio disuelto. En el primer caso, los valores hallados clasificaron a las aguas de excelente a buena calidad para el níquel disuelto, mientras que los registros de vanadio disuelto indicaron ausencia de alteración, dado que se hallaron bajo el límite de detección de la técnica analítica.

Finalmente, los análisis de coliformes fecales y totales mostraron aguas sin presencia de alteración microbiológica, clasificando a las aguas como de excelente a buena calidad por coliformes (fecales y totales).

Por lo anterior, los resultados de la campaña de invierno de la columna de agua marina del litoral adyacente a la futura Central Térmica de Punta Cachos y a la zona control, indicaron claramente que esta matriz no se encuentra alterada por los parámetros analizados.

En la **campana de invierno**, las principales diferencias con la campaña de verano se hallaron en los valores de temperatura, donde no se apreciaron importantes cambios en profundidad de los registros de temperatura (termoclinas). Esto generaría una escasa capa de mezcla superficial, que permitiría la dispersión de cualquier sustancia vertida al medio marino. Los restantes parámetros clasificaron a la columna de agua en la campaña de invierno en el rango de buena a excelente calidad. Tampoco se evidenció en esta campaña alteración microbiológica de las aguas, clasificándolas como de excelente a buena calidad para los coliformes (fecales y totales).

En conclusión, tanto en la campaña de verano como en la de invierno, los resultados de la columna de agua marina de I. Cima Cuadrada indica claramente que en la actualidad esta matriz no se halló alterada.

#### **5.4.5.2 Estudios de Parámetros Físico-Químicos en Sedimentos Submareales**

Los resultados obtenidos en el área de estudio en la **campaña de verano** mostraron que los fondos predominantes oscilaron entre arena media a gránulo. En tanto, en la **campaña de invierno** oscilaron entre arena gruesa a gránulo. El predominio de este tipo de fracciones gruesas en ambas campañas indicaría que probablemente los sedimentos de las estaciones estudiadas han sido transportados por agentes selectivos (olas, corrientes y vientos), siendo importante el efecto de las corrientes en la escasa presencia de fracciones finas.

En cuanto a las características químicas, en la **campaña de verano** los sedimentos no presentaron un exceso de materia orgánica (medida en este estudio como MOT), lo que descarta un aporte exógeno (antrópico) de descargas orgánicas a los sedimentos submareales. En cuanto a los niveles de los restantes parámetros químicos estudiados, comparativamente todas las concentraciones obtenidas se encontraron en los rangos citados en otras zonas costeras nacionales o bajo las normativas internacionales de referencia. En tanto, en la **campaña de invierno** tampoco se halló un exceso de MOT. Respecto a los niveles de los restantes parámetros químicos estudiados, sólo se hallaron desviaciones respecto a las normativas internacionales en el caso de los metales pesados, níquel y plomo, donde se observaron estaciones con sedimentos *moderadamente alterados*, de acuerdo a lo estipulado por la normativa internacional establecida por la EPA, NOAA y WADOE.

Por lo anterior, se concluye que los sedimentos muestreados en el área de I. Cima Cuadrada se encontrarían libres de alteración por materia orgánica y por la mayoría de los metales pesados analizados, a excepción del níquel y el plomo en algunas de las estaciones muestreadas en la campaña de invierno.

#### **5.4.5.3 Estudios de Correntometría Euleriana**

Los resultados obtenidos en la **campaña de verano** evidenciaron que la circulación marina superficial presenta una tendencia a fluir alternadamente entre el primer y tercer cuadrante, con un sentido paralelo a la geometría de la línea de costa, siendo esto más evidente cuanto la circulación se intensifica. Lo descrito anteriormente, manifiesta una dinámica dominada por flujos alineados aproximadamente con la dirección que siguen la isóbatas en el sector. Al respecto, en sectores someros, las corrientes marinas fluyen principalmente paralelas a la línea de costa, debido al impedimento que ofrece el borde costero a la circulación transversal a ella.

En el estrato supsuperficial de agua, las magnitudes de corrientes fueron inferiores respecto de la capa de agua superficial. Estas bajas magnitudes condicionan un patrón de circulación más variable, donde ninguna dirección tiene una destacada participación.

Por otra parte, la estimación espectral reveló que la circulación tiene periodicidad semanal, diurna y semidiurna, atribuible probablemente al régimen de vientos, a la brisa marina y a la marea, respectivamente. También se detectó una variabilidad diurna de la corriente, la que se distinguió por la mayor frecuencia de flujos hacia el primer cuadrante registrada en horas de la tarde. Esta variación de la corriente se explicó por el forzamiento del viento sobre las capas superiores del océano. En los estratos más profundos la influencia de la brisa marina disminuye.

De acuerdo con el análisis de frecuencia, el estrato de agua superficial evidenció un transporte residual hacia el NE, lo que fue consistente con el forzamiento del viento reinante del SW. Por su parte, la capa de agua intermedia evidenció períodos con un transporte residual hacia el E, probablemente condicionado por el oleaje de la zona.

Respecto de las magnitudes de las corrientes informadas por el método euleriano en estación fija, estas fueron moderadas a bajas en el estrato subsuperficial de agua, lo cual se atribuyó a la baja profundidad del fondo marino. Estas bajas magnitudes, condicionarían una circulación variable espacial y temporalmente.

Por su parte, los resultados obtenidos en la **campana de invierno** evidenciaron un patrón dinámico altamente rotatorio en sentido N-S de la playa, debido al forzamiento combinado del viento y la marea. Sin embargo, a pesar de esta variabilidad se registra un transporte residual hacia el primer cuadrante, en sentido coincidente con el forzamiento del viento reinante.

La intensidad de la circulación fue moderada (mayor a los registrados en la campaña de verano), con magnitudes medias de 10 cm/s, y máximos absolutos entre 50 y 80 cm/s, aunque los estratos más profundos registran magnitudes inferiores, con magnitudes medias de 6 cm/s y máximos de 25 cm/s. Regularmente, se registraron pulsos de corrientes, con magnitudes de 30 cm/s, que responderían a la intensificación del viento.

Se advirtió en invierno el forzamiento del viento como un agente modulador de las corrientes, condicionando un patrón dinámico con ciclos diurnos. En efecto, la brisa marina que se asoma en horas de la tarde, condiciona una circulación forzada hacia el N de la playa, en sentido coincidente con el arrastre del viento, mientras que de noche y de madrugada, la circulación se torna más variable, en coincidencia con períodos de viento más calmo. También se advirtió el efecto modulador de la marea, condicionando flujos y reflujos, es así que se reconoce al viento, en conjunto con la batimetría y la marea como un importante modulador de la circulación marina del sector.

Desde el punto de vista de diseño, el transporte residual de la capa de agua superficial se verificó hacia el primer cuadrante. Por lo anterior, la toma de agua de la Central debería ubicarse al sur de la descarga de agua cálida proyectada, para prevenir la recirculación del agua de la Central.

#### **5.4.5.4 Estudios de Correntimetría Lagrangiana**

Los estudios lagrangianos realizados en **verano** sugirieron que la marea no se presenta como un importante agente modulador de la dirección de los flujos superficiales, por cuanto se observó una tendencia de la boyas de deriva a fluir de manera independiente de la fase de marea, lo que concuerda con lo informado por el estudio euleriano.

Las boyas de deriva se desplazaron con un sentido coincidente con la geometría de la línea de la costa, con excepción de las experiencias N° 5 y N° 6, donde se dirigieron contra la costa, probablemente inducidas por el oleaje y por vientos del oeste que se presentaron en esta oportunidad.

Al cotejar el patrón de circulación a lo alto de la columna de agua, se evidenció que la magnitud de la corriente disminuyó con la profundidad, siendo esto consistente con el menor efecto que ejerce el viento sobre las capas de agua más profundas. Comparativamente, el sector D1, próximo a Isla Cima Cuadrada, evidenció magnitudes de corrientes inferiores respecto de los sitios más expuestos (D2 y D3), por lo cual se sugiere que la Isla otorga un cierto grado de abrigo al sector.

En **invierno**, los resultados lagrangianos en el sector de I. Cima Cuadrada sugirieron la existencia de un patrón de circulación superficial dirigido mayoritariamente en sentido coincidente con el esfuerzo tangencial del viento, por lo que se sugirió una alta influencia de éste en la dinámica superficial del sector, lo que concuerda con los resultados informados por el estudio euleriano.

Las magnitudes de las corrientes superficiales determinadas por el método lagrangiano, fueron relativamente bajas e inferiores 7 cm/s en invierno la mayor parte del tiempo.

La capa de agua de 5 m de profundidad, evidenció magnitudes de corrientes inferiores respecto de la capa de agua superficial, siendo esto consistente con el menor efecto que ejerce el viento en las capas de agua más profundas.

En ocasiones, se registró en el sector norte de la Isla, un transporte hacia la costa, condicionado por los vientos reinantes del SW y probablemente por el oleaje. También con vientos del NW, se verificó un transporte hacia la costa, en los sectores ubicados al sur de la Isla.

#### **5.4.5.5 Estudios de Dispersión**

En **verano** las experiencias de dispersión realizadas en el área del proyecto evidenciaron una capacidad dispersiva del medio acuático moderada, con magnitudes entre 0,74 m<sup>2</sup>/s y 1,53 m<sup>2</sup>/s. La dispersión se manifiesta por una mancha con forma de un ovoide o de un huso alargado, orientado generalmente en sentido coincidente con la dirección del viento.

En términos de dirección de avance, la mancha de rodamina no siempre siguió al viento, incluso ésta se desplazó de manera opuesta al viento. Considerando lo anterior, es posible sugerir que la dispersión superficial en invierno está influenciada por las corrientes y el viento, pero el destino de las manchas queda determinado por procesos de transporte de masa, más que por procesos difusivos.

En **invierno**, las experiencias de dispersión evidenciaron una capacidad dispersiva del medio acuático, con magnitudes entre 0,5 m<sup>2</sup>/s y 1,9 m<sup>2</sup>/s. La dispersión se manifiesta por una mancha con forma fusiforme o de un ovoide, que se expande generalmente en sentido aproximadamente coincidente con la dirección del viento, por lo que se sugiere una alta influencia de éste sobre el mecanismo de la dispersión superficial.

En términos de dirección de avance, la mancha de rodamina generalmente se desplazó en invierno siguiendo al viento, por lo cual se prevé que la descarga de agua cálida que se proyecta, será dispersada en dirección norte, de acuerdo a los resultados obtenidos en esta campaña de invierno.

#### 5.4.5.6 Estudios del 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 muy ocasionalmente de ciclones migratorios del frente polar, que llegan muy atenuados a la latitud de Caldera; no obstante, el relieve y la topografía juegan un rol importante en los regímenes de vientos locales.

Como la región se encuentra bajo el predominio Anticiclónico, los vientos reinantes soplan del tercer cuadrante (WSW y SW). El rasgo más característico de este régimen, son los intensos pulsos de vientos (*surazos*) que se desarrollan cuando la alta se intensifica. Esta situación, condiciona una circulación sostenida del tercer cuadrante con magnitudes superiores a 15 nudos.

Los resultados de la **campana de verano** evidenciaron claramente que la circulación atmosférica 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 (WSW), con intensidades medias que van de 10 a 13 nudos, mientras que de noche y madrugada se presentan períodos de calma o vientos débiles de tierra (brisa terrestre).

En términos generales, el patrón de viento reinante está determinado por las direcciones WSW y SW.

Respecto de los vientos dominantes, estos soplan en verano principalmente del tercer cuadrante asociados a condiciones de buen tiempo.

En **invierno**, los resultados mostraron que la circulación atmosférica en Punta Cachos rota con periodicidad diurna en sentido anticiclónico, al igual que lo visualizado en la campaña de verano. 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).

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

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.

#### **5.4.5.7 Estudios del Régimen de Mareas Locales**

Las **campañas de verano e invierno** efectuadas en el área de estudio indican que el régimen de marea de Punta Cachos 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.

No se observan anomalías significativas de carácter local, siendo el régimen de marea perfectamente normal y predecible, de manera similar a lo informado en otras áreas cercanas, como por ejemplo, Caldera.

Punta Cachos presenta un régimen de marea típicamente astronómico, mixto semidiurno, es decir, con dos pleamares y dos bajamares en un día lunar, de amplitud media 0,82 m y rango máximo de sicigias 1,62 m.

Se determinó un NRS de 0,9 metros bajo el nivel medio del mar.

#### **5.4.5.8 Estudios de Comunidades Macrobentónicas Submareales**

En la **campaña de verano**, las comunidades macrobentónicas submareales de sector de I. Cima Cuadrada, se hallaron compuestas por un total 38 taxa (especies) diferentes, de las cuales 17 especies pertenecieron al grupo de los crustáceos (equivalentes al 45% del total de especies encontradas), 13 al grupo de los poliquetos (34% del total de taxa), 6 al grupo de los moluscos (16% del total) y 2 al ítem otros (5% del total, constituido por un representante de la Clase Enolpa y uno del Phylum Nematoda). En tanto, en la **campaña de invierno** se registró un total de 47 especies, representadas por 15 especies pertenecen del grupo de los moluscos (31,91%), 14 al de los poliquetos (29,79%), 13 al de los crustáceos (27,65%) y 5 al ítem otros (10,64%).

Los resultados obtenidos en I. Cima Cuadrada en la **campaña de verano** indicaron que las comunidades macrobentónicas submareales de los sedimentos de las estaciones estudiadas, presentan una condición diversa, que fluctúa entre un buen estado y alteradas. Asimismo, pese a que las estaciones se encuentran relativamente cercanas unas de otras, la distribución tipo “parches” que presentaron las comunidades bentónicas submareales afecta los índices ecológicos, disminuyendo así la diversidad y la uniformidad específica. En tanto, los análisis clasificatorios y de ordenación de las estaciones indican una alta similitud entre las estaciones 1, 4 y 5, sin mostrar un patrón claro relacionado, por ejemplo, con la cercanía a la costa o la profundidad de las estaciones. Respecto de otros estudios realizados en las costas de Chile, los resultados obtenidos mostraron en la **campaña de verano** una riqueza de especies dentro de lo registrado en otras áreas del país, pero con una estructura porcentual diferente, en el que destaca el alto porcentaje de crustáceos y bajo de moluscos.

En tanto, los resultados obtenidos en la **campaña de invierno**, también muestran para I. Cima Cuadrada comunidades macrobentónicas submareales con una condición diversa, que fluctuó entre un buen estado y moderadamente alteradas. Tampoco se halló un patrón claro de distribución relacionado, por ejemplo, con la cercanía a la costa o la profundidad de las estaciones, destacando el alto porcentaje de moluscos y bajo de crustáceos.

Debe destacarse que tanto en verano como en invierno, las comunidades de esta área se hallaron dominadas por el gasterópodo *Turritella cingulata*, especialmente las estaciones 2 y 11.

#### **5.4.5.9 Estudios de Comunidades Macrobentónicas Intermareales**

Los resultados obtenidos en i. Cima cuadrada, tanto en la campaña de invierno como en la de verano, para las comunidades intermareales de fondo duro, fueron similares a los que se han hallado en otras zonas intermareales a nivel nacional, como en la bahía de Antofagasta (Guiler 1959 y Stephenson & Stephenson 1972), así como lo descrito por Guiler, en 1959, donde indica que los límites superiores de los promontorios rocosos están cubiertos de *Jehlius cirratus* y *(Nodo)littorina peruviana*. En la campaña de verano fue posible determinar un total de 13 especies, mientras que en invierno se elevó a 14 especies, en ambos casos distribuidas a lo largo de las transectas estudiadas, concluyendo que el sector sw del área estudiada presenta una mayor riqueza de especies en ambas épocas del año, lo que estaría determinado por la presencia de promontorios rocosos.

Los resultados indicaron que el área de I. Cima Cuadrada, tanto en invierno como en verano, se encuentra libre de alteración en el sector de la costa. Asimismo, el número y tipo de especies halladas muestran una comunidad típica de la región biogeográfica ubicada entre Arica y el Archipiélago de Chiloé, con las respectivas diferencias, dadas principalmente por las características físicas (topográficas) del área estudiada.

Vale la pena mencionar que si bien es posible distinguir claramente una zonación de las especies presentes, esta zonación no debe considerarse como “estática”, sino que puede variar dependiendo de la época del año y tipo de marea en la cual se efectúa el estudio, entre otros factores.

#### **5.4.5.10 Estudios de Avifauna**

Los resultados obtenidos en I. Cima Cuadrada para la **campaña de verano** indicaron que el área es frecuentada por al menos 7 especies de aves, de las cuales ninguna de ellas se encuentra en alguna categoría de conservación de acuerdo a la lista roja de la IUCN y el D.S. 05/98 Reglamento de la Ley de Caza. En todo caso, la presencia de todas las especies halladas en el área censada ya ha sido enunciada como área de distribución por otros autores (Araya & Millie, 1996).

Asimismo, se determinó que el número de especies de avifauna avistados en el sector de la isla en verano es relativamente bajo para la época del año, ya que es en esta temporada existen en el país un gran número de aves migratorias, como es el caso del zarapito (*Numenius phaeopus hudsonicus*), la gaviota franklin (*Larus pipixcan*), playeros y chorlos, entre otros visitantes procedentes preferentemente desde el hemisferio norte. En este contexto, la baja diversidad encontrada pudo explicarse debido a las condiciones geográficas del lugar, ya que al ser intermareal expuesto, la oferta alimenticia disminuye, debido a que existe una baja diversidad de posibles presas para estas aves.

En **invierno**, en el sector Continental frente a Isla Cima Cuadrada (el censado en verano), se identificaron 8 especies de aves, de las cuales una de ellas, correspondiente a *S. humboldti*, se encuentra en la categoría de Vulnerable de acuerdo a lo indicado por Birdlife International (2003), el D.S. 05/98 Reglamento de la Ley de Caza y la Nómina del Segundo Proceso de Clasificación de Especies según su Estado de Conservación, publicado en el Diario Oficial el 30 de junio de 2008. Cabe resaltar que la presencia de todas las especies halladas en el área censada ya ha sido enunciada como área de distribución por otros autores (Araya & Millie, 1996).

Para el caso de la I. Cima Cuadrada, los resultados indicaron que en invierno (única temporada en que se efectuó el levantamiento en la isla), el área de estudio es frecuentada por al menos 7 especies de aves, de las cuales una de ellas, correspondiente a *S. humboldti*, se encuentra en la categoría de Vulnerable. Respecto a la riqueza de especies del sector de Isla Cima Cuadrada, esta fue similar a la encontrada en el sector continental, frente a Isla Cima Cuadrada; sin embargo, en cuanto a densidad, ésta fue bastante superior. Esto puede relacionarse con la menor actividad antrópica observada en la isla en relación a la zona continental; además, debe considerarse que la isla es un área de descanso para muchas aves, como pelícanos, guanay, piqueros y yecos, aves consideradas guaneras, y que por tanto, se encuentran protegidas por el Decreto con Fuerza de Ley N° R.R.A. 25. Asimismo, el área se encuentra descrita como sitio de nidificación de ciertas aves guaneras, lo que puede aumentar la densidad respecto a los restantes sectores mencionados. En este caso de la campaña de invierno, se observó una colonia de pingüino de Humboldt nidificando, con polluelos del año aún en los nidos.

#### **5.4.5.11 Estudios de Mamíferos y Reptiles Marinos**

Los resultados obtenidos indican que en los alrededores de I. Cima Cuadrada no fue posible visualizar especies de mamíferos marinos como se han observado en otros estudios, tanto en la campaña de **invierno** como la de **verano**. Lo anterior no indica que éstas no se encuentren. Asimismo, no se apreciaron ejemplares de reptiles marinos en la zona de estudio en ambas campañas.

Es importante recalcar que existen antecedentes de presencia de tortuga verde *Chelonia mydas* en las proximidades, donde el sector de Caleta Chascos, a 5 kilómetros al sureste de Punta Cachos, ha sido descrita como área de alimentación para esta especie, por lo que debe tenerse especial cuidado de no alterar significativamente su hábitat. También se observaron, en la campaña de invierno, ejemplares del lobo marino común *O. flavescens*, en las cercanías de Caleta Chascos, sector E. San Pedro. Pese a no hallarse en los alrededores de I. Cima Cuadrada, la presencia de esta especie puede dar evidencia que ésta se distribuye en el área de estudio. Debe mencionarse que *O. flavescens* no se encuentra protegida por el Reglamento de la Ley de Caza DS: 05/1998, pero si es considerada recurso hidrobiológico por este reglamento.