

## 5.9 MEDIO MARINO

### 5.9.1 Objetivos

El objetivo principal es caracterizar de las condiciones ambientales del Área de Influencia del Proyecto en el medio marino costero de Bahía Caldera, las cuales servirán de base para la evaluación de impacto ambiental del Proyecto.

- Caracterización físico-química de agua de mar.
- Caracterización físico-química de sedimentos marinos.
- Caracterización de las comunidades sublitorales de fondos blandos.
- Caracterización de las comunidades intermareales.
- Caracterización de las comunidades planctónicas en el área de estudio.
- Caracterización de la fauna íctica.
- Caracterización de aves y mamíferos, en el área de estudio.
- Caracterización de la dinámica física del área de estudio.
- Caracterización de la influencia de las mareas y oleaje.

### 5.9.2 Metodología de Trabajo

#### 5.9.2.1 Área de Estudio

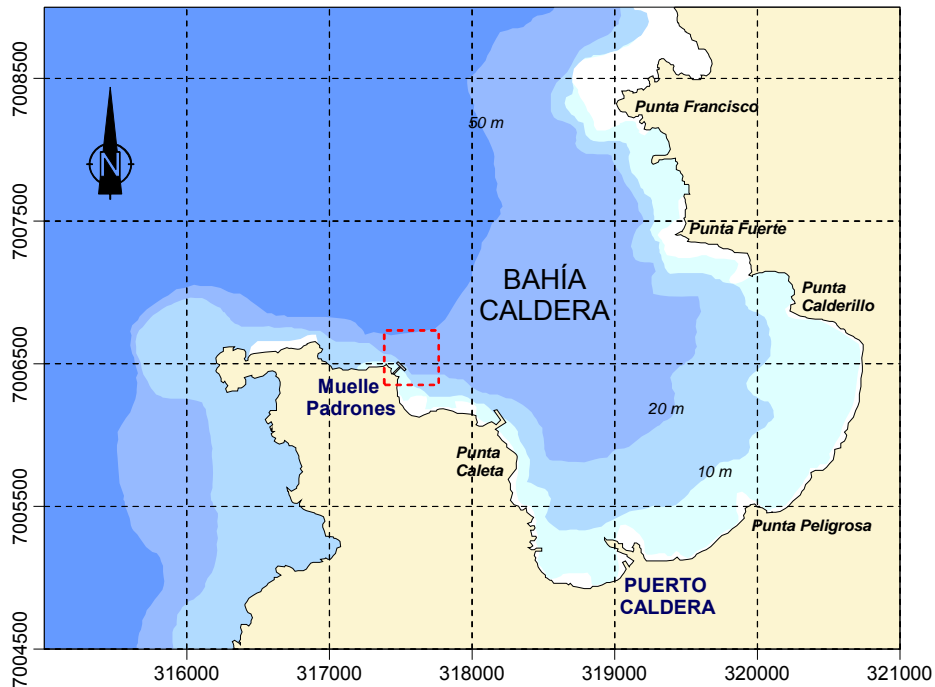
El estudio que se presenta ha sido desarrollado en Bahía Caldera, la cual se encuentra situada en el litoral de la comuna de Caldera, una de las nueve que integran la división política administrativa de la provincia de Copiapó en la Región de Atacama.

Bahía Caldera posee una forma rectangular, con su eje longitudinal orientado al noroeste. Tiene una superficie aproximada de 10,47 km<sup>2</sup>, y posee una profundidad media de 26 metros (Figura 5.9-1, Ortiz, 1997; Arcos *et al.*, 1997). Dado sus características de cuerpo de agua semicerrado, ha sido objeto de un uso múltiple por la comunidad, donde se reconoce como de importancia para el turístico y la recreación; para el transporte marítimo; para la actividad industrial y artesanal y para actividades municipales (descarga de aguas servidas)

Cabe señalar que la información científico-técnica recopilada en Bahía Caldera ha sido escasa, salvo por la proveniente de la elaboración de estudios de líneas de base, declaraciones y estudios de impacto ambiental (DIA, EIA), los cuales nacen de distintos compromisos entre las empresas privadas (*e.g.* Compañía Contractual Minera Candelaria, CCMC; Pesquera Bahía Caldera y otras) con la Autoridad (Arcos *et al.*, 1997a; Arcos *et al.*, 1997b; Arcos *et al.*, 2008).

Aún así, se cuenta con referencias y caracterizaciones en distintas matrices, tales como, la determinación de metales en agua y en organismos, aspectos oceanográficos y comunidades planctónicas (Ortiz, 1997; Olivares *et al.*, 2000; Rivera y Mujica, 2004).

**Figura 5.9-1**  
**Área de Influencia del Proyecto**



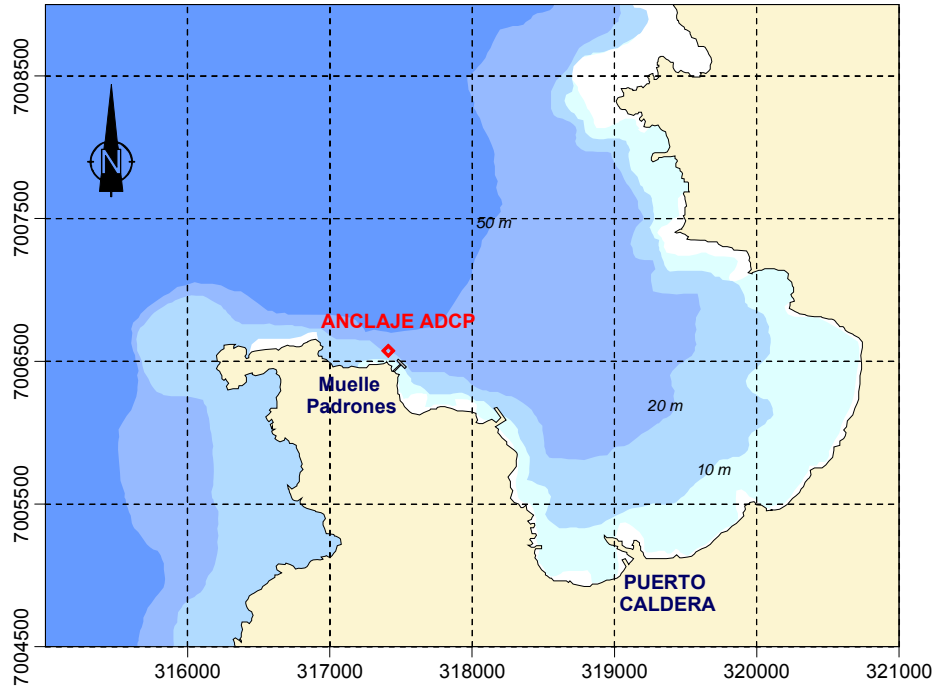
En la Figura 5.9-1 se presenta el área de influencia del proyecto, indicando la batimetría general del área.

### 5.9.2.2 Dinámica y Dispersión

#### a) Correntimetría Euleriana

Se realizaron mediciones de dirección e intensidad de la corriente en el Área de Influencia del Proyecto (Puerto Padrones), utilizando un Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP), modelo WORKHORSE Sentinel de 614.4 kHz (RD Instruments) anclado en una profundidad de cercana a los 25 metros (**Figura 5.9-2**), y programado para medir cada 10 minutos y con una resolución vertical de 1 m. El período de registro abarcó desde el 28 de enero al 26 de febrero de 2010 (Tabla 5.9-1).

**Figura 5.9-2**  
**Ubicación del Área de Estudio, Adyacente al Terminal de Carga de Punta Padrones, en Bahía Caldera**



**Tabla 5.9-1**  
**Especificaciones Básicas de las Series de Tiempo de Corrientes. Área Marina Costera Frente al Muelle de Minera Candelaria, Bahía de Caldera**

Coordenadas UTM		ADCP (m)	Rango de medida (m)	Fecha		Frec. Medida
Norte (m)	Este (m)			Inicio	Fin	
7.006.627	317.342	25	3 a 21 m	28/01/2010	26/02/2010	10 min

Los estratos seleccionados para el análisis de la información correspondieron a las profundidades de 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 metros de profundidad. A partir de las series señaladas se obtuvo promedios horarios. La escala temporal de muestreo de corrientes permitió caracterizar adecuadamente los procesos que ocurren en el rango de horas a varios días, especialmente las bandas mareales (corrientes de marea). No se contemplaron en este estudio fluctuaciones de pequeña escala temporal (por ejemplo: olas, turbulencia asociada a fricción con la costa, corrientes litorales, etc), ni tampoco fenómenos de períodos mucho mayores al de la banda sinóptica (por ejemplo: procesos de período mayor a 30 días).

Previo al análisis de las series temporales de corrientes, los datos fueron referidos al norte geográfico. Para esto, se consideró la declinación anual de este período para el área de estudio. El ángulo de la corriente indica la dirección hacia la cual ésta se dirige.

El análisis de la serie de tiempo incluyó:

- Análisis gráfico y estadística descriptiva básica. El análisis estadístico incluyó cálculos de media, varianza, mínimo y máximo. Además, se construyeron histogramas de distribución de velocidades para cada una de las profundidades analizadas.
- Cálculo de las componentes ortogonales de la corriente. Las componentes u (eje X, este-oeste) y v (eje Y, norte-sur) de la corriente se calcularon utilizando las siguientes ecuaciones:

$$u = c \operatorname{sen} \alpha \quad v = c \operatorname{cos} \alpha$$

donde:

c = rapidez de la corriente

$\alpha$  = ángulo hacia donde se dirige la corriente

De acuerdo a la orientación geográfica de la línea de costa y batimetría en el área de estudio, la componente u (eje X, este-oeste) corresponde aproximadamente a la corriente paralela a las isóbatas y la componente v (eje Y, norte-sur) corresponde a la corriente que va aproximadamente, perpendicular a las isóbatas. De este modo, valores de la corriente en el eje X (este-oeste) corresponde a corrientes transversales de la bahía y valores en el eje Y (norte-sur) corresponde a corrientes longitudinales de la bahía (entrando negativos o saliendo positivos).

- Análisis direccional. Por medio de diagramas de vector progresivo se determinó la tendencia de la corriente para niveles seleccionados de profundidades. De esta forma, se calculó la velocidad, desplazamiento, ángulo y transporte residual (resultante vectorial) de la corriente.
- Análisis espectral de las series. Se utilizó este análisis para estudiar los períodos de las fluctuaciones de la corriente que más contribuyen con la varianza de la corriente total. Se siguieron las pautas dadas por Emery and Thomson (2001).
- Corrientes de marea. Las bandas mareales (corrientes de marea) se extrajeron de las series originales utilizando un filtro tipo Coseno Lanczos simétrico de 121 pesos. Este filtro actúa como un pasabajo filtrando de las series los períodos menores a 40 horas (bandas mareales). De este modo, se separaron las corrientes de marea de las corrientes no mareales (cuya tendencia puede estar influida, entre otros aspectos, por el forzamiento del viento). En este informe, por tanto, se distingue entre los siguientes 4 tipos de corrientes:

*Corriente Total:* Involucra la sumatoria de todos los componentes de la corriente (mareal, inercial, no mareal, geostrófica, etc.).

*Corriente Residual:* Corriente calculada a partir del Método del Diagrama Progresivo. Corresponde a una media vectorial.

*Corriente de Marea:* Componente mareal obtenida por medio del filtro coseno Lanczos. Corresponde a fluctuaciones de la corriente con períodos menores a las 40 horas.

*Corriente No Mareal:* Componente no mareal (o submareal) que queda después de aplicar el filtro de mareas. Corresponde a fluctuaciones de la corriente con períodos mayores a las 40 horas. Involucra fundamentalmente el movimiento inducido por el viento.

## b) Dinámica Lagrangiana

El estudio lagrangiano, el cual implica la determinación de la dinámica costera a través del seguimiento individual de parcelas de agua en el tiempo, fue realizado en dos períodos estacionales - el 14 de septiembre de 2009 y el 28 de diciembre de 2009 - en tres sectores costeros ubicados en torno al emplazamiento de Muelle Padrones, en Bahía Caldera, y donde se evaluaron los sectores de futuro emplazamiento de la toma de agua y el vertimiento de la Planta Desalinizadora de CCMC (**Tabla 5.9-2, Figura 5.9-3**).

En cada sector se determinaron las características dinámicas a través del sembrado y posterior seguimiento de 3 derivadores a nivel superficial y 3 derivadores en el estrato subsuperficial (8 m), los cuales fueron construidos de acuerdo a los diseños utilizados por Garvine (1977) e Ingram (1981) (**Figura 5.9-4**). Las condiciones dinámicas fueron evaluadas en ambas fases de marea (llenante y vaciante), estableciendo el desplazamiento de los derivadores a través del tiempo fue medido utilizando la metodología de GPS diferencial en tiempo real, de acuerdo a la metodología recomendada por SHOA (2005) y ajustando la data al punto geodésico SHOA GBCA (Anexo 1).

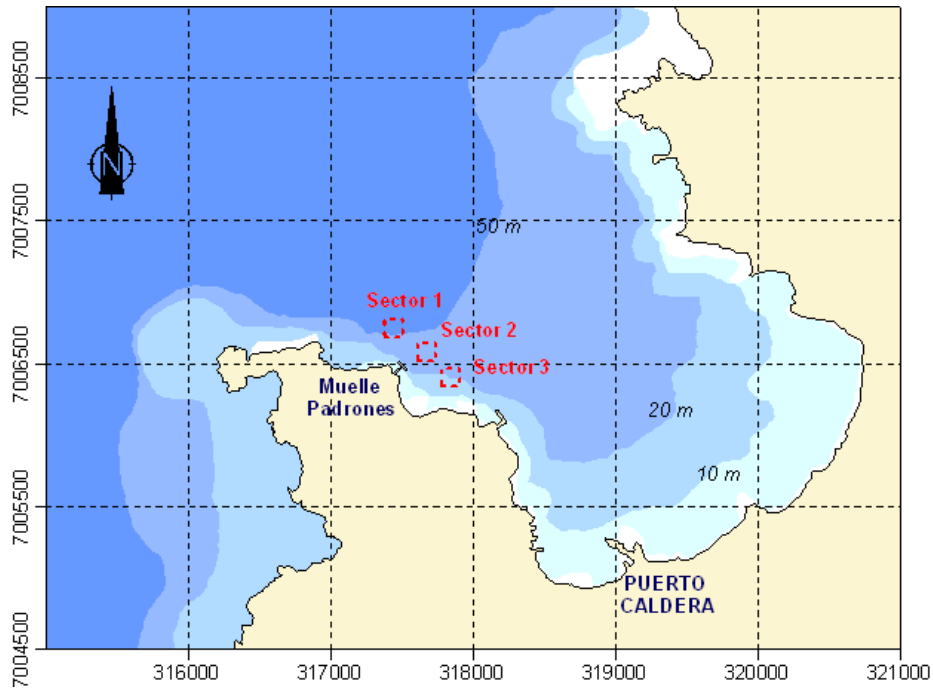
Con la información obtenida en terreno se reconstruyó las trayectorias recorridas por los derivadores, con el fin de establecer campos de velocidad y la descripción de las trayectorias recorridas.

Paralelamente, se midió las condiciones meteorológicas asociadas al área de estudio utilizando una estación Davis Vantage Pro, la cual fue programada para medir viento (velocidad y dirección) con un intervalo de registro interno de una hora. La estación meteorológica fue instalada en un sector próximo al área de evaluación y el registro de las condiciones atmosféricas abarcó el mes de septiembre y diciembre de 2009 y enero de 2010.

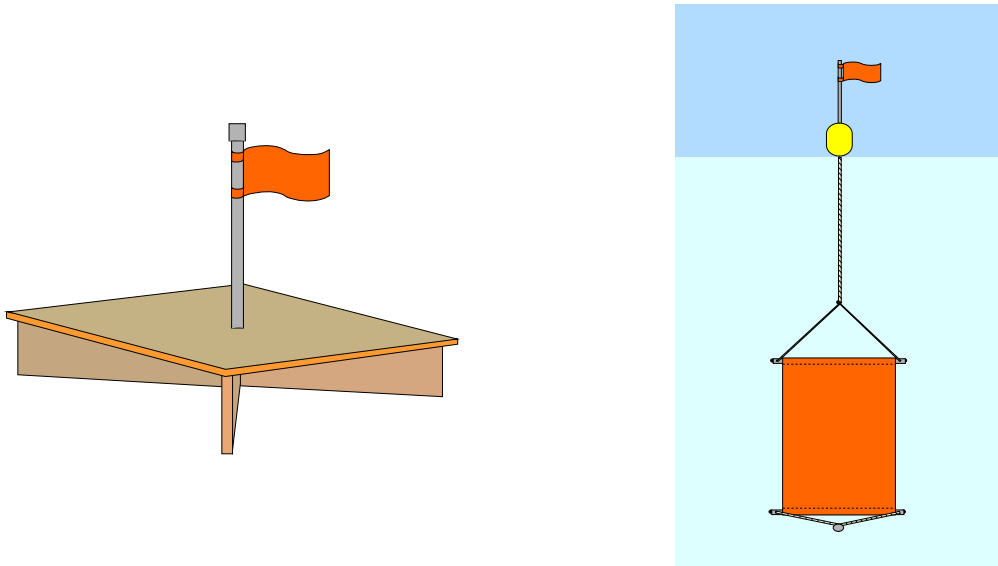
**Tabla 5.9-2**  
**Calendario de Actividades Lagrangianas Frente a Puerto Padrones, Bahía Caldera.**  
**Campañas de Septiembre y Diciembre de 2009.**

Período	Condición Mareal	Fecha	Hora
Invernal	Vaciante	14/09/2009	10:31 – 11:18
	Llenante	14/09/2009	14:22 – 15:05
Estival	Vaciante	28/12/2009	10:44 – 12:40
	Llenante	28/12/2009	13:41 – 15:37

**Figura 5.9-3**  
**Ubicación Espacial de los Sectores Considerados para la Realización de Experiencias de Deriva Lagrangiana Asociados a Punta Padrones.**



**Figura 5.9-4**  
**Diseño de los Derivadores Superficiales (izquierda) y Subsuperficiales (derecha) Empleados en el Estudio Lagrangiano.**



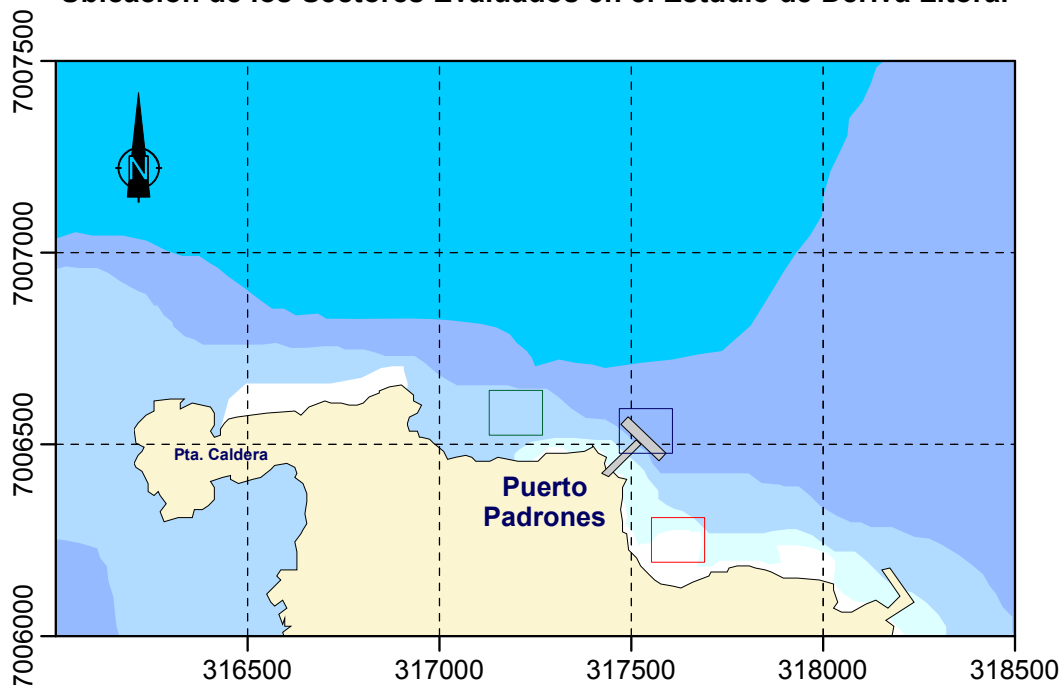
**c) Deriva Litoral**

Las corrientes litorales corresponden a corrientes que se encuentran restringidas a la zona litoral, específicamente, entre la zona de rompiente de las olas y la línea costera, siendo la mayor parte de estas corrientes generadas por la componente paralela a la costa del movimiento de las olas que se le aproximan en forma oblicua, siendo su flujo a lo largo de la costa.

El estudio de deriva litoral en el sector de Punta Padrones fue desarrollado el día 14 de abril de 2010, y consideró la evaluación de corrientes asociadas al sector de rompientes de olas en tres sectores señalados en la **Figura 5.9-5**.

En cada uno de los sectores, los estudios de corrientes litorales fueron realizados mediante el despliegue de 10 botellas de deriva, con el objeto de medir el flujo promedio asociado al efecto del oleaje en la zona litoral. Estas mediciones, fueron ejecutadas en dos oportunidades considerando condiciones de marea distinta, esto es durante marea vaciante y marea llenante.

**Figura 5.9-5**  
**Ubicación de los Sectores Evaluados en el Estudio de Deriva Litoral**



**d) Dispersión con Trazador Químico**

Para estimar la dispersión y difusión, se realizó un estudio con trazador químico utilizando Rodamina  $\beta$ , en razón de sus ventajas respecto de otros trazadores, entre las cuales destacan la fiel representación que realiza de la dispersión de sustancias derramadas al ambiente, la detección en bajas concentraciones y su inocuidad respecto de los organismos vivos (Okubo y Pritchard, 1969; Okubo et al., 1982; Burgos, 1988; Herrera et al., 1996).

La fase en terreno fue realizada el 26 de enero de 2010, en el sector costero de Bahía Caldera frente a Puerto Padrones (**Figura 5.9-6**), donde la solución de rodamina  $\beta$  fue preparada disolviendo 100 g de rodamina en 5 L de alcohol isopropílico y enrasando hasta 20 L con agua destilada. La solución fue preparada en tierra, siendo mantenida en recipientes sellados hasta el lugar de la experiencia, siendo vertida directamente al mar.

Las experiencias de dispersión fueron efectuadas en ambas condiciones mareales, es decir, marea vaciante y llanante, donde la mancha de Rodamina fue seguida en el tiempo, marcando su perímetro mediante un GPS a intervalos de tiempo dependientes de la magnitud de las corrientes.

Los puntos registrados mediante el GPS fueron ploteados en una carta náutica digital del sector. Luego, utilizando el software ARCGIS 9.3 se dibujó los perímetros de cada conjunto de registros y se estimó el área de cada una de éstas. Con las áreas estimadas se calculó el factor de dispersión (Kh) utilizando la siguiente fórmula:

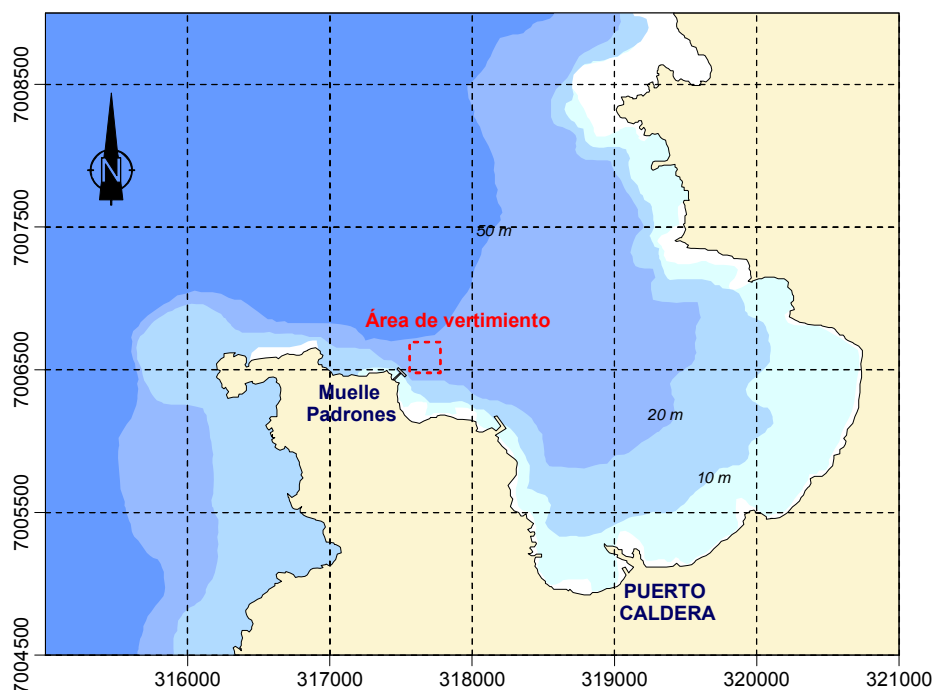
$$Kh = \frac{\delta A}{\delta t}$$

Donde:

$\delta A$ : es la diferencia de área de la mancha

$\delta t$ : es la diferencia de tiempo

**Figura 5.9-6**  
**Ubicación del Área de Estudio, Adyacente al Terminal de Carga de Punta Padrones, en Bahía Caldera**





**d) Mareas y Olas****d.1) Mareas**

El análisis y caracterización del régimen de marea y sus principales constituyentes para el área de Bahía Caldera, III Región, se realizó a través de un análisis histórico de información disponible entre 1980-1998 y, por otra parte, realizando un levantamiento de datos durante enero-febrero de 2010.

- *Datos de Marea Histórica*

La información de datos de nivel del mar histórico fueron obtenidos de University of Hawaii Sea Level Center (<http://ilikai.soest.hawaii.edu/uhslc/datai.html>), abarcando el período comprendido entre 1980 y 1998.

Para caracterizar las principales componentes mareales se realizó un análisis de de armónicos de marea (Foreman, 1977; Pawlowicz, et al. 2002) junto con un análisis de poder espectral (Emery, W. & R. Thomson. 1998).

- *Datos de Marea in situ*

Las mediciones directas del nivel del mar fueron realizadas por medio de un Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP), modelo WORKHORSE Sentinel de 614.4 kHz (RD Instruments) anclado en una profundidad de cercana a los 25 metros. El ADCP fue programado para medir cada 10 minutos desde el 28 de enero de 2010 hasta el 26 de febrero de 2010.

Los datos de nivel del mar fueron estandarizados restándole el promedio de la serie a cada dato, resultando una serie de anomalía del nivel del mar, esta serie fue graficada con el fin de detectar datos erróneos o escapados.

De manera similar a lo descrito para la serie histórica, se realizó un análisis de armónico de marea para caracterizar las principales componentes mareales (Foreman, 1977; Pawlowicz, et al. 2002) junto con un análisis de poder espectral (Emery, W. & R. Thomson. 1998).

**d.2) Olas**

La caracterización del régimen de oleaje extremo y operacional del área costera aledaña a Punta Padrones en Bahía Caldera, fue realizada obteniendo información de oleaje en aguas profundas, para lo cual se calculó una estadística de olas usando la metodología Hindcasting (CERC, 1984; Kamphuis, 2000), la cual fue realizada utilizando información de condiciones meteorológicas pasadas. Además del Hindcasting calculado, se utilizó un modelo espectral denominado espectro de Jonswap (Massel, 1996) para calcular varios estadísticos de olas.

- *Datos de Viento*

Los datos de viento obtenidos de la estación meteorológica ubicada en el muelle de Minera Candelaria entre 2001 y 2009 fueron graficados con la finalidad de identificar y remover la posible existencia de datos erróneos, además de detectar posibles discontinuidades que puedan presentar las series temporales evaluadas.

Para identificar la posible existencia de tendencias y/o ciclos periódicos de la información, la cual no es posible observar claramente a través de su representación gráfica, se desarrolló un análisis espectral para las series de viento (en cada componente) y temperatura del aire. En este procedimiento, las series fueron divididas en cinco trozos de igual longitud, aplicando una ventana *hanning*. Los grados de libertad de las estimaciones corresponden al doble del número de trozos empleados, mientras que al interior de la figuras, se presenta el límite de confianza para las observaciones significativas (Emery, W. & R. Thomson. 1998).

- *Pronóstico de olas en aguas profundas*

Para obtener información de oleaje en aguas profundas, se calculó una estadística de olas usando la metodología Hindcasting. Este método consiste en estimar alturas y periodos de olas utilizando información de condiciones meteorológicas pasadas. Este procedimiento se encuentra descrito en CERC (1984) y Kamphuis (2000) y partir de él se pueden determinar los siguientes parámetros adimensionales:

$$H_{mo}^* = \frac{gH_{mo}}{U^2}, \quad F^* = \frac{gF}{U^2}, \quad T_p^* = \frac{gT_p}{U}, \quad t^* = \frac{gt}{U}$$

donde  $H_{mo}$  es la altura significativa,  $g$  es la aceleración de gravedad (9.81 m/s),  $U$  es la magnitud de la velocidad del viento referido a 10 m de altura,  $T_p$  es el periodo significativo y  $t$  es la duración del viento en el Fetch. Las expresiones de Jonswap son:

$$H_{mo}^* = 0.0016\sqrt{F^*},$$

$$T_p^* = 0.286(F^*)^{\frac{1}{4}}$$

Para grandes cuerpos de agua, la duración del viento puede limitar el crecimiento de olas. Si se cumple esta condición se utiliza el fetch efectivo:

$$F_e^* = \left(\frac{t^*}{68.8}\right)^{\frac{8}{3}}$$

Las expresiones para un mar totalmente desarrollado son:

$$H_{mo}^* = 0.243, \quad T_p^* = 8.13, \quad t^* = 71.500$$

El crecimiento de la altura de las olas pueden estar limitadas por la longitud del Fetch (la extensión donde sopla el viento) o la duración del viento en el fetch. Si se cumple la condición que  $F^* < F_e^*$ , el crecimiento de las olas estará limitada por la longitud del Fetch; en caso contrario si  $F_e^* < F^*$ , el crecimiento de las alturas de olas estará limitado por la duración del viento. Una vez determinado  $H_{mo}$  se calcularon siguientes estadísticos descritos en Kamphuis (2000):

$$H_{mean} = 0.630 H_s, \text{ altura promedio de la ola}$$

$\frac{H_{1}}{100} = 1.670 H_s$  , altura promedio del 1% de las alturas más altas.

$\frac{H_{1}}{10} = 1.270 H_s$  , altura promedio del 10% de las alturas más altas

$H_{rms} = 0.707 H_s$  , raíz media cuadrada del altura.

Para realizar estos cálculos se utilizó el modelo WAVEGEN donde este código es traspasado al lenguaje de programación FORTRAN 90. Este modelo predice condiciones de oleaje a partir de mediciones de vientos, longitud del Fetch y la duración del viento en el Fetch, donde itera las ecuaciones de predicción entregando la altura y periodo significativos para distintas condiciones meteorológicas.

- *Modelo espectral de JONSWAP.*

Además del hincasting calculado, se utilizó un modelo espectral denominado espectro de Jonswap para calcular varios estadísticos de olas. Este modelo espectral se encuentra descrito en Massel, (1996). Los algoritmos que son utilizados para los cómputos son:

$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-2} \exp \left[ - \left( \frac{\omega}{\omega_p} \right)^{-4} \right] \gamma^{\delta}$$

$$\delta = \exp \left[ - \frac{(\omega - \omega_p)^2}{2 \sigma_0^2 \omega_p^2} \right]$$

$$\alpha = 0.076 \left( \frac{gX}{U^2} \right)^{-0.22}$$

$$\gamma = 3.3$$

Donde  $\omega$  es la frecuencia en rad/s ( $\omega = 2\pi f$ ). Para el cálculo del espectro se utilizó una resolución en frecuencia de  $df = 0.002 \text{ cps}$ , con una frecuencia máxima de  $f = 0.5 \text{ cps}$ .  $X$  es la longitud del Fetch,  $U$  es la velocidad del viento referido a 10 m de altura,  $\omega_p$  es la frecuencia pico del espectro,  $g$  es la aceleración de gravedad y  $S(\omega)$  es la densidad espectral. El coeficiente  $\sigma_0$  es una constante que depende de:  $\omega \geq \omega_p$ ,  $\sigma_0 = 0.07$  o  $\omega < \omega_p$ ,  $\sigma_0 = 0.09$ .

La frecuencia pico espectral es:  $\omega_p = 7\pi \left( \frac{g}{U} \right) \left( \frac{gX}{U^2} \right)^{-0.22}$

Una vez, determinado el espectro para distintas condiciones meteorológicas se calcularon los siguientes estadísticos:

$H_{mean} = \sqrt{2\pi} \sqrt{\sigma}$  , altura promedio de la ola

$H_{\frac{1}{100}} = 6.070\sqrt{\sigma}$  , altura promedio del 1% de las alturas más altas.

$H_{\frac{1}{10}} = 5.10\sqrt{\sigma}$  , altura promedio del 10% de las alturas más altas

$H_{rms} = 2.80\sqrt{\sigma}$  , Raíz media cuadrada del altura.

$H_s = 4.0\sqrt{\sigma}$  , es la altura significativa, o el promedio del tercio de las alturas más altas.

Donde  $\sigma$  es la varianza del espectro y viene dado por:

$$\sigma = \int_{\omega_0}^{\omega_f} S(\omega) d\omega$$

$T_{peak} = \frac{1}{f_{\max[\max(S(\omega))]}}$  , es la frecuencia donde se produce el valor máximo de la densidad espectral.

$T_s = 0.95T_{peak}$  , Es el periodo significativo.

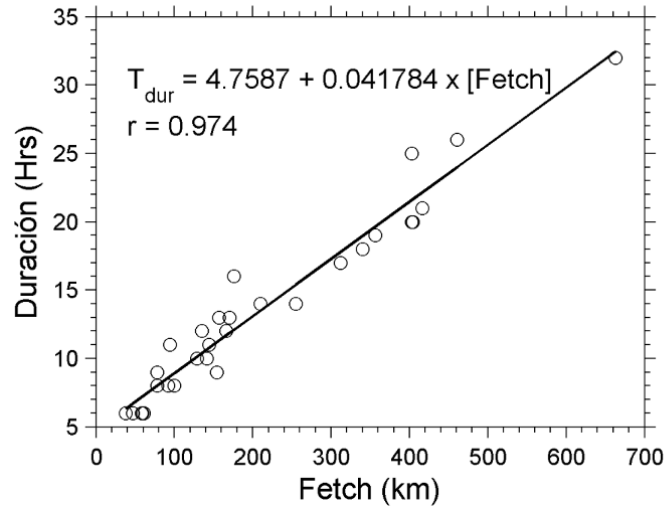
- *Determinación de la Duración del Viento.*

Para obtener la duración del viento para distintas longitudes de Fetch, parámetro requerido en la simulación para obtener alturas y periodos en el Hindcasting como también en la determinación del espectro de Jonswap, se realizó una regresión lineal simple entre la longitud del Fetch y la duración del viento. Los coeficientes de ajuste de la regresión son los siguientes:

$$T_{wind}^{dur} = 4.7587 + 0.041784x[Fetch]$$

Esta regresión lineal se obtuvo un coeficiente de correlación lineal de  $r = 0.974$  el cual indica que es un buen ajuste entre duración del viento y la longitud del Fetch (**Figura 5.9-7**).

**Figura 5.9-7**  
**Relación entre la Longitud del Fetch y la Duración del Fetch**  
**(Fuente de Datos Dirección Meteorológica de Chile).**



- *Diagrama de Refracción.*

Para observar la propagación de oleaje en dirección hacia zonas costeras, se construyeron diagramas de refracción para trenes de olas con distintas direcciones y distintos periodos. Las direcciones consideradas en este estudio fueron: 110, 130, 150 y 170 grados referidos al norte geográfico (0 grados), y periodos de 4, 6, 8 y 10 segundos. Se consideró además una altura inicial de partida de 0.6 m y 1 m de altura, para determinar la altura de rompimiento de la ola.

Para determinar los cambios de dirección producido por cambios en la profundidad de la columna de agua, se construyó una grilla batimétrica utilizando información de: Carta SHOA, ETOPO1 (Bathy), Sandwell y SRTM3 (Topo). Posteriormente, la información con los puntos batimétricos fue digitalizada y, mediante interpolación Kriging, se generó una grilla batimétrica regular de resolución 0.001 x 0.001 grados.

Para la construcción de los diagrama de refracción se utilizó la metodología descrita en CERC (1984). Las ecuaciones fundamentales para la construcción de los rayos son las siguientes:

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh(kh)$$

$$C_g = nC$$

$$C = \frac{L}{T}$$

$$n = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)} \right)$$

donde  $L$  la longitud de onda,  $C_g$  es la velocidad de grupo de la ola y  $C$  es la velocidad de fase de la ola,  $g$  es la aceleración de gravedad,  $T$  es el periodo,  $h$  es la profundidad en un punto batimétrico y  $k$  es la longitud de onda ( $k = 2\pi L^{-1}$ ). Si la ola se propaga en aguas profundas o someras, se utiliza la aproximación:  $\tanh(kh) \sim kh$  para aguas someras y  $\tanh(kh) \sim 1$  para aguas profundas.

Para la construcción de los rayos se requiere mínimo dos puntos que aquí se designará como 0 y 1, donde 0 será la condición inicial y 1 será la condición final. Calculando las velocidades de fase para el punto inicial y final se obtiene la dirección en el punto final, usando la siguiente ecuación:

$$\sin(\theta_1) = \frac{C_1}{C_0} \sin(\theta_0)$$

donde  $C_0$  es la velocidad de fase en el punto inicial,  $C_1$  es la velocidad de fase en el punto final,  $\theta_0$  es la dirección inicial de propagación la ola y  $\theta_1$  es la dirección final de propagación de la ola. La altura final se calcula usando:

$$H_1 = H_0 \sqrt{\frac{C_{g0}}{C_{g1}}} \sqrt{\frac{1 - \sin^2(\theta_0)}{1 - \sin^2(\theta_1)}}$$

donde  $C_{g0}$  es la velocidad de grupo en el punto inicial,  $C_{g1}$  es la velocidad de grupo en el punto final,  $H_0$  es la altura inicial y  $H_1$  es la altura final. La fórmula anterior se puede expresar de la siguiente forma:

$$H_1 = H_0 K_S K_r$$

donde  $K_S$  es el coeficiente de reducción de fondo,  $K_r$  es el coeficiente de refracción. Este último coeficiente es almacenado para determinar después la altura de la ola rompiente.

- *Cálculo de la altura de ola rompiente.*

Para la determinación de la altura de la ola rompiente se utilizó la metodología descrita en CERC (1984). Los algoritmos utilizados son los siguientes:

$$H_b = 0.56 \left( \frac{K_r H_i}{L} \right)^{-0.6} (K_r H_i)$$

donde  $K_r$  es el coeficiente de refracción determinado por el diagrama de refracción de olas,  $H_i$  es la altura inicial de ola y  $L$  es la longitud de onda. Para determinar la altura de la ola rompiente y la profundidad en la cual ésta rompe se utilizó las siguientes formulas:

$$y_b = \frac{1.56}{1 + 0.19 \tan^2 \beta} - (43.8 (1 - 0.19 \tan^2 \beta)) \left( \frac{H_b}{g T^2} \right)$$

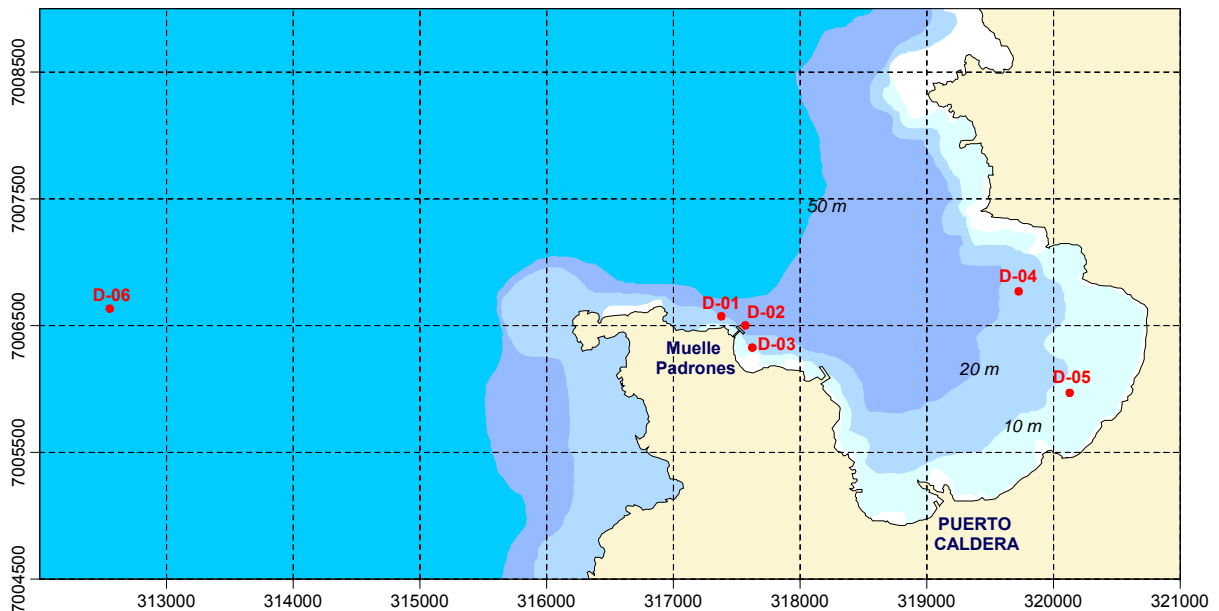
$$Z_b = \frac{H_b}{y_b}$$

Donde  $g$  es la aceleración de gravedad,  $T$  es el periodo,  $\tan\beta$  es la pendiente de la playa,  $y_b$  es la altura de la ola rompiente y  $Z_b$  es la profundidad donde la ola rompe.

### 5.9.2.3 Calidad de Agua

El muestreo para determinar la calidad del agua de mar en el Área de Influencia del Proyecto, fue realizada en dos períodos estacionales, durante el día 15 de Septiembre de 2009 y el 28 de diciembre de 2009. El diseño de muestreo consideró la evaluación de 6 estaciones de muestreo, 5 de las cuales estuvieron ubicadas al interior de Bahía Caldera (**Figura 5.9-8**), considerando la evaluación de los sitios de futuro emplazamiento de la toma de agua y descarga de la Planta Desalinizadora, y además, considerando una estación de referencia dispuesta fuera de la bahía, distante 2 millas al oeste de Punta Padrones (**Tabla 5.9-3**).

**Figura 5.9-8**  
**Ubicación Geográfica de las Estaciones Consideradas para los Estudios de Hidrografía y Calidad de Agua**



**Tabla 5.9-3**  
**Ubicación Geográfica (en UTM WGS 84) de las Estaciones de Muestreo Evaluadas al Interior de Bahía Caldera y Estación de Referencia (D-06).**

Estación	Coordenadas UTM	
	Norte (m)	Este (m)
D-01	7.006.610	317.336
D-02	7.006.513	317.514
D-03	7.006.328	317.269
D-04	7.006.778	319.722
D-05	7.005.951	320.110
D-06	7.000.673	312.455

En cada estación de muestreo se realizó lances hidrográficos verticales con una sonda oceanográfica CTDO Sea-Bird 19-Plus para la determinación de las variables temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), oxígeno ( $\text{mLO}_2\text{L}^{-1}$ ) y salinidad (psu), a partir de las cuales se estimó posteriormente la densidad del agua de mar, expresada como sigma-t ( $\sigma_t$ ), calculada según las especificaciones de UNESCO (1981). Paralelamente, en cada estación de muestreo, se evaluó *in situ* la variable transparencia, determinada a través de la profundidad del disco de Secchi.

En conjunto con lo anterior, en cada una de las estaciones antes señaladas, se colectó muestras para la determinación de variables químicas en el agua de mar, considerando en cada estación la obtención de muestras en dos estratos (superficie y fondo). Las variables consideradas en este Estudio de Línea Base fueron pH, potencial redox, sólidos suspendidos, sólidos disueltos,  $\text{DBO}_5$ , DQO, amonio, fosfatos, fósforo total, hidrocarburos aromáticos policíclicos, coliformes fecales, aceites y grasas, nitratos, nitrógeno total y los elementos traza en sus fracciones total y disuelta hierro, cobre, cadmio, plomo cromo, mercurio, zinc, aluminio, magnesio, plata, oro, arsénico, bismuto, molibdeno, níquel, cobalto, antimonio, selenio, estaño y vanadio; así como las variables óxido de aluminio, óxido de magnesio,  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{MgO}$  y la fracción Ni+Co. Cabe destacar que solamente para el caso de la fracción disuelta de los elementos traza hierro, cobre, cadmio y plomo, se consideró la toma de una réplica por estrato y estación de muestreo; en tanto que para el resto de los parámetros evaluados, para cada estación y nivel de muestreo se consideró una determinación puntual.

La toma de muestras y los análisis químicos de las muestras de agua de mar fueron realizados considerando los métodos estandarizados por el Instituto Nacional de Normalización (INN, 1994a, 1994b) y complementados por la metodología incluida en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1992) y por la metodología señalada por la Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS/PNUMA, 1993).



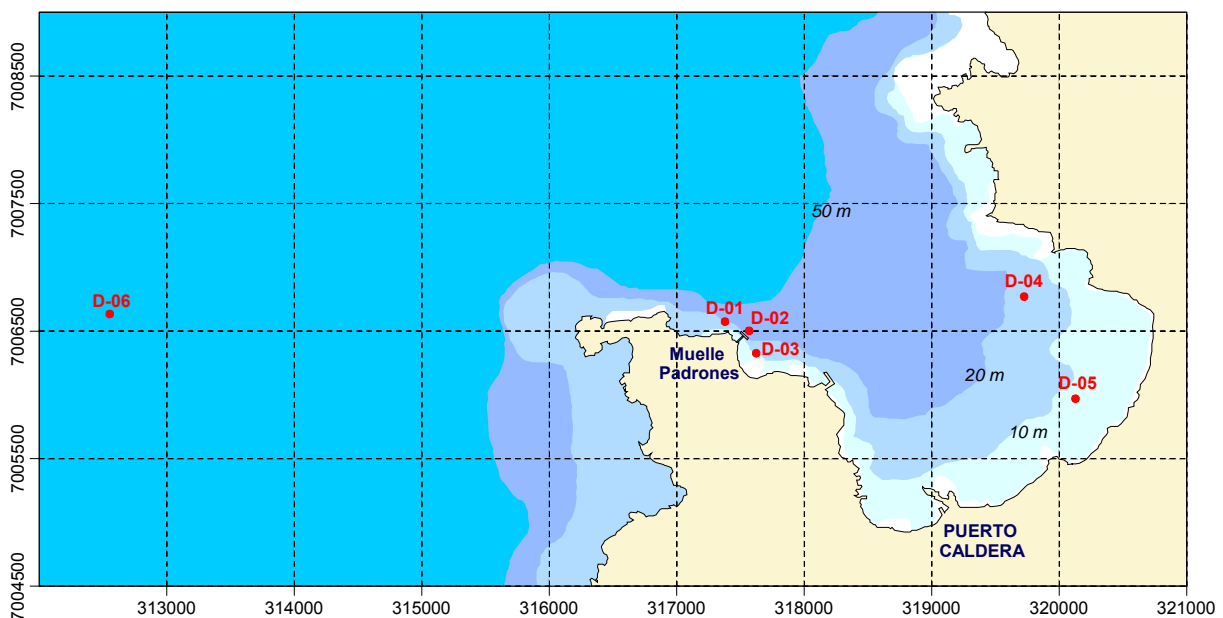
Una vez obtenidas las muestras, estas fueron almacenadas y debidamente fijadas, etiquetadas y rotuladas, para posteriormente ser transportadas al laboratorio. La determinación analítica de los elementos traza se realizó en el Laboratorio de Química Bio-Inorgánica y Analítica Ambiental del Departamento de Química de la Facultad de Ciencias Básicas de la Universidad de Antofagasta. Por su parte, las determinaciones de DQO, nitrógeno amoniacal, aceites y grasas, fosfato, fósforo total, nitratos y nitrógeno total fueron analizadas por el Laboratorio Químico Ambiental (Biotecmar Servicios) de la Universidad Católica de la Santísima Concepción. Finalmente, aquellos parámetros que requerían un análisis antes de 24 horas desde la colecta de la muestra (e.g. DBO<sub>5</sub>, conformes totales, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, pH, potencial redox e hidrocarburos aromáticos policíclicos), fueron derivados al laboratorio Analytica Chañar, en Copiapó.

Los resultados obtenidos se presentan a través de tablas y gráficos, con la finalidad de evaluar la existencia de posibles diferencias estadísticas, los resultados obtenidos son re-clasificados en las siguientes categorías: Estación (compara entre puntos de muestreo), Estrato (compara entre los niveles de muestreo superficie y fondo) y Campañas (compara entre los períodos de muestreo, invierno - verano). Para el contraste estadístico se consideró la utilización de análisis no paramétricos de Kruskal-Wallis.

#### 5.9.2.4 Calidad de sedimentos

La evaluación de los sedimentos marinos fue desarrollada en terreno durante el día 15 de Septiembre de 2009 y el 28 de Diciembre de 2009. La distribución de estaciones en este estudio consideró el mismo diseño aplicado para la caracterización de la calidad del agua de mar (**Figura 5.9-9**).

**Figura 5.9-9**  
**Ubicación Espacial de las Estaciones de Muestreo para la Evaluación de Calidad de Sedimentos Marinos. Campañas Invernal 2009 y Estival 2010.**  
**Estación D-06 Considerada como de Referencia.**



En cada una de las estaciones de muestreo emplazadas en el área de estudio, se procedió a coleccionar sedimentos superficiales mediante una draga KC-Denmark tipo Van Veen de 0,1 m<sup>2</sup> de mascada. Posteriormente, mediante corers de 7 cm de diámetro por 6 cm de alto previamente tratados, se recolectó muestras de sedimento desde el interior de la draga, para su posterior almacenamiento y envío al laboratorio. De los puntos de muestreo emplazados en el área de estudio, 5 se encontraron ubicados al interior de Bahía Caldera; en tanto que la estación denominada D-06, que es considerada como de referencia, se encuentra localizada fuera de la bahía, distante 2 millas al oeste de Punta Padrones.

El análisis de las características granulométricas se llevó a cabo según la metodología de Folk & Ward (1957) y Folk (1974), mientras que la estimación del tamaño medio de grano se realizó de acuerdo a la escala de Wentworth (Wentworth, 1922). Posteriormente, para la caracterización granulométrica para cada una de las estaciones de muestreo, se utilizará el programa Gradistat (Blott & Kenneth, 2001), el cual realiza la caracterización de la media, clasificación, asimetría y curtosis basándose en Folk & Ward y en el método de los momentos (Cupul *et al.*, 2006).

De las variables evaluadas en los sedimentos marinos, los elementos traza fueron analizados por el Laboratorio de Química Bio-Inorgánica y Analítica Ambiental del Departamento de Química de la Facultad de Ciencias Básicas de la Universidad de Antofagasta. Al respecto, cabe destacar que las variables que poseen un mayor interés histórico al interior de Bahía Caldera debido a la cantidad de información pre-existente; estos es, cobre, cadmio, plomo, hierro y zinc, fueron recolectadas considerando la toma de una réplica por estación de muestreo. En tanto el resto de las variables evaluadas como, mercurio, oro, aluminio (más el óxido), plata, magnesio (más el óxido), arsénico, bismuto, molibdeno, níquel, cobalto, estroncio, selenio, estaño y vanadio, fueron analizadas en muestras puntuales (sin réplicas), en cada una de las seis estaciones emplazadas en el área de estudio.

Primeramente, con la información recopilada, se realizó un análisis de componentes principales o ACP, con la finalidad de evaluar la variabilidad de la información en su conjunto. Esta herramienta permite identificar las posibles segregaciones y/o agrupaciones de puntos a través de la representación gráfica de las componentes principales generadas, teniendo como principal ventaja, que esta técnica no necesita cumplir con algún supuesto distribucional de las variables evaluadas. El ACP se realizó utilizando el paquete estadístico Minitab v. 14, en el módulo Stat/Multivariate/Principal Components.

En conjunto con lo anterior, los resultados son tabulados y presentados gráficamente indicando la estación y campaña de muestreo. Cuando corresponda, se evaluará la existencia de posibles diferencias estadísticas entre las campañas invernal y estival, mediante experimentos no paramétricos de Kruskal-Wallis utilizando el paquete estadístico Minitab v. 14 y considerando una significancia del 95% ( $\alpha=0,05$ ).

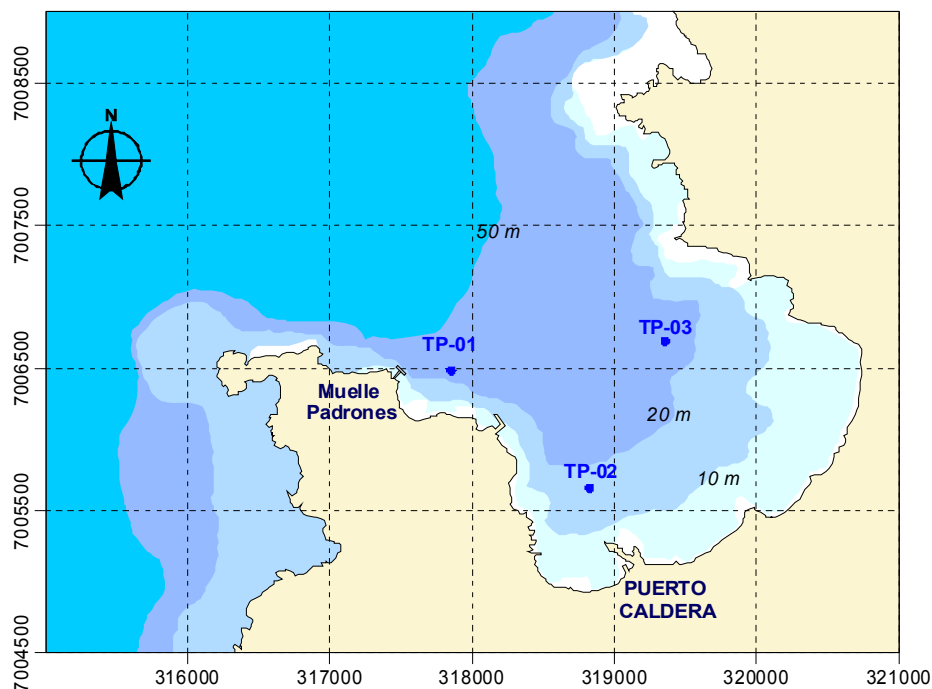
Cuando corresponda, los resultados obtenidos en ambas campañas serán contrastados con los índices o directrices de calidad de sedimentos utilizados a nivel internacional; estos son ERL, ERM, TEL y PEL. Cabe destacar que los ERLs y TELs representan las concentraciones químicas bajo las cuales los efectos biológicos raramente son observados; mientras que los índices ERMs y PELs se asocian con niveles o concentraciones sobre los cuales es más frecuente observar algún efecto sobre las comunidades (Long *et al.*, 1998). Si bien a nivel nacional actualmente no existe ninguna directriz de carácter regulatorio, el Programa de Observación del Ambiente Litoral (POAL), que desarrolla la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante de la Armada de Chile, ha propuesto como estándares de referencia de calidad ambiental de los sedimentos, los niveles asociados al índice PEL, los cuales además son utilizados como directrices de calidad por el Ministerio de Medio Ambiente del Gobierno de Canadá (Canadian Environmental Quality Guidelines, 1999).

#### 5.9.2.5 Comunidades planctónicas

El estudio de las comunidades planctónicas en Bahía Caldera, enfocado a la caracterización de sus fracciones fito y zooplanctónica, fue ejecutado en terreno durante el 16 de Septiembre y el 29 de Diciembre de 2009.

El diseño de muestro consideró la evaluación de las comunidades planctónicas presentes (fito y zooplancton), en tres estaciones de muestreo (**Figura 5.9-10, Tabla 5.9-4**). En cada estación se realizó dos arrastres (réplicas) tanto para fito como para zooplancton.

**Figura 5.9-10**  
**Ubicación Geográfica de las Estaciones de Evaluación de Comunidades Planctónicas para el Línea Base Ambiental de Minera Candelaria**



**Tabla 5.9-4**  
**Ubicación Geográfica (en UTM) de los Sitios de Evaluación de Comunidades**  
**Planctónicas al Interior de Bahía Caldera.**

Estación	Coordenadas UTM	
	Norte (m)	Este (m)
TP – 01	7.006.498	317.839
TP – 02	7.005.683	318.837
TP – 03	7.006.683	319.286

**a) Fitoplancton**

Las muestras fitoplanctónicas fueron recolectadas por medio de una red Hydrobios de 18 cm de diámetro de boca, provista de una malla de 44  $\mu\text{m}$  de abertura de poro, sobre un transecto lineal de 50 metros. Las muestras fueron tamizadas y fijadas *in situ* por medio de una solución de lugol, siendo almacenadas en frascos plásticos con tapa y contratapa debidamente etiquetados para su envío a Laboratorio.

La identificación y cuantificación del fitoplancton presente en las muestras se realizó bajo un microscopio fotónico estándar ZEISS, según la metodología establecida en Guillard (1978).

**b) Zooplancton**

El análisis de las comunidades zooplanctónicas en Bahía Caldera consideró la obtención de muestras a partir de arrastres realizados utilizando una red Hydrobios de 18 cm de diámetro de boca, provista de una malla de 303  $\mu\text{m}$  de abertura de poro. Los lances zooplanctónicos fueron realizados sobre un transecto lineal de 50 metros.

Una vez lograda la muestra del copo colector de la red, ésta fue tamizada y fijada mediante la adición de una solución de formalina al 5% de agua de mar neutralizada con borax (disodio tetraborato) con el objeto de evitar la autólisis de los individuos capturados.

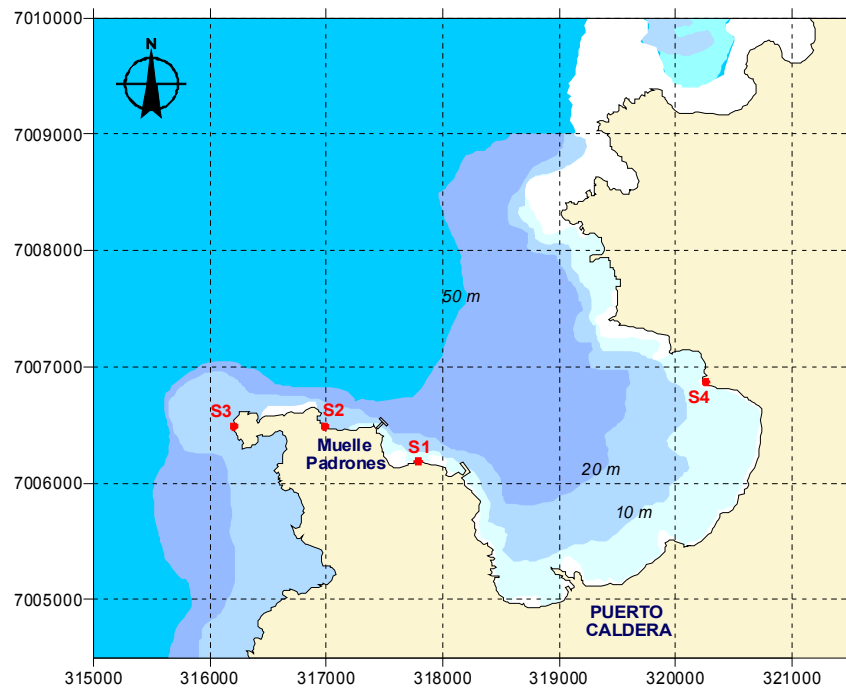
Las muestras de zooplancton colectadas fueron trasvasiadas a frascos plásticos de 0,5 L de capacidad debidamente etiquetados y rotulados y enviados para su determinación taxonómica en laboratorio, donde fue identificado y cuantificado mediante un estereomicroscopio Zeiss.

#### 5.9.2.6 Comunidades Bentónicas Intermareales

Los sectores rocosos de la línea de costa de Bahía Caldera, principalmente grandes bolones y plataformas rocosas, se encuentran principalmente en los extremos norte y sur de la bahía. A partir de éstos, se seleccionaron 4 sectores de muestreo bajo la premisa de incluir zonas que representaran de buena forma la diversidad biológica del ambiente intermareal rocoso de Bahía Caldera. Estos sectores seleccionados se caracterizaron por presentar plataformas rocosas continuas en toda la extensión intermareal, y con proyección hacia el ambiente submareal. La elección de este tipo de plataformas facilitó la delimitación de la zona intermareal, y favoreció la visualización de patrones de zonación en estos ambientes.

La **Figura 5.9-11** y **Tabla 5.9-5** presenta la ubicación geográfica de los transectos seleccionados.

**Figura 5.9-11**  
**Disposición Espacial de los Transectos Considerados para el Estudio de Comunidades de Playa Intermareal.**



**Tabla 5.9-5**  
**Ubicación Geográfica (en UTM) de los Transectos Para el Estudio de Comunidades de Intermareal de Fondos Duros Evaluados al interior de Bahía Caldera.**

Transecto	Coordenadas UTM WGS 84	
	Norte (m)	Este (m)
S1	7.006.176	317.707
S2	7.006.508	316.980
S3	7.006.460	316.236
S4	7.006.822	320.316

- Evaluación de la diversidad, distribución y abundancia

Se consideró como ambiente de estudio la extensión vertical de la zona intermareal rocosa, la cual se encuentra acotada a los límites de distribución de los organismos representativos de este tipo de comunidades (ver Otaíza & Santelices 1985, Otaíza 1986, Santelices et al. 1986, Santelices 1989). El límite inferior del intermareal está característicamente asociado a la presencia del alga parda *Lessonia nigrescens* y a la mayor cobertura de algas incrustantes de tipo calcáreo, las que son dominantes en las zonas submareales someras. Por su parte la zona alta está comúnmente habitada por el cirripedio *Jeahlis cirratus* y por el herbívoro pulmonado *Echinolittorina peruviana*.

Una vez establecidos los límites de la zona intermareal se trazó un transecto vertical en cada uno de los cuatro sectores seleccionados. Para cada transecto se estableció y midió la abundancia (cobertura de especies sésiles y densidad de especies móviles) de 3 cuadrantes, uno en cada nivel intermareal (Alto, Medio y Bajo). El muestreo realizado fue de tipo no destructivo, donde cada uno de los cuadrantes analizados se marcó sobre la roca con masilla epóxica con el fin de realizar un muestreo posterior durante el periodo estival en los mismos cuadrantes seleccionados. Debido al uso de esta metodología, que utiliza unidades muestrales permanentes en el tiempo, la replicación de éstas (cuadrantes) no resulta relevante para establecer posibles cambios en la estructura comunitaria al nivel de la unidad muestral.

En cada sector se identificó al nivel taxonómico más bajo posible respecto de aquellas especies reconocibles a ojo desnudo (tanto algas como invertebrados) y se evaluó su abundancia por medio de cuadrantes permanentes de  $0,25 \text{ m}^2$  ( $50 \times 50 \text{ cm}$ ). Para cada cuadrante se registró la densidad de organismos de cada una de las especies móviles por conteo directo ( $\text{ind } 0,25\text{m}^2$ ), y el porcentaje de cobertura de cada unas de las especies sésiles por medio del grillado de 100 puntos de intersección de cada cuadrante (%).

A través de la técnica punto-intercepto (cuadrante grillado), es posible determinar el uso del espacio (como % de cobertura) por parte de las especies que son ocupantes obligados del sustrato (e.g., especies sésiles, tanto algales como animales), las que a su vez pueden constituir en sí mismas sustrato para otras especies al generar hábitats particulares debido a sus agregaciones (e.g., ingenieros ecosistémicos), por lo que pueden llegar a ser relevantes en los patrones de diversidad de las comunidades (Thiel *et al.*, 2007).

Frente a cada sector muestreado se determinó la densidad de grampones por metro cuadrado ( $\text{G m}^{-2}$ ) de *Lessonia nigrescens* Bory. Para tal objetivo se muestreó 5 cuadrantes de  $1 \text{ m}^2$  por el límite inferior del intermareal, espaciados cada 2 metros, con lo que se abarcó 13 metros lineales de costa frente a cada sector muestreado.

Adicionalmente se decidió establecer un cuadrante permanente de muestreo en el único punto en donde se registró un parche significativo del bivalvo *Perumytilus purpuratus* (Lamarck, 1819), el cual se encontró cercano al Sector 4. Con tal objetivo, se utilizó la técnica ya descrita de punto-intercepto por medio de un cuadrante grillado de  $0,25 \text{ m}^2$ . Este muestreo se realizó con el objetivo de llevar un seguimiento de este bivalvo en el tiempo, ya que es un conspicuo representante de la zona intermareal en toda la costa del Pacífico Sudamericano, y sus agregaciones constituyen un importante hábitat para otras especies, por lo que pueden llegar a ser relevantes en la modulación de la diversidad de estos sistemas.

A partir de la clasificación taxonómica registrada se determinaron los atributos comunitarios de riqueza específica (número de especies -  $S$ ), abundancia de cada especie (número de individuos móviles; cobertura de individuos sésiles - %) y composición específica. Con estos datos se pudo calcular los índices de diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ), la uniformidad ( $J'$ ) y dominancia de Simpson ( $D$ ). Estos índices se calcularon usando el programa PAST 1.78 (Hammer *et al.*, 2001).

Se realizaron curvas de acumulación de especies con el objetivo de determinar la cantidad teórica de especies presentes en la comunidad intermareal de Bahía Caldera. Estas curvas se construyen a partir de la “suavización” de los datos obtenidos, mediante la aleatorización de la entrada del esfuerzo de muestreo basada en 1.000 permutaciones, obteniendo un promedio estimado de especies para cada unidad de esfuerzo muestral (i.e., cantidad de cuadrantes muestreados). Esta “suavización” fue realizada con el programa EstimateS 8.0 (Colwell, 2006). Los datos suavizados se ajustaron a la ecuación de Clench, desde la cual se obtuvieron los parámetros necesarios para estimar valores asintóticos teóricos en función de la cantidad de muestras tomadas ( para mayor detalle sobre la metodología usada ver Jiménez-Valverde & Hortal, 2003).

Se realizaron análisis estadísticos multivariados sobre matrices de similitud obtenidas a partir de datos de abundancia y presencia-ausencia por especie y por cuadrante (Bray & Curtis, 1957). Posteriormente se realizó un análisis de Escalamiento Multidimensional (MDS) para determinar la existencia de algún patrón de agrupamiento entre los cuadrantes muestreados en función de la composición de especies registrada en cada uno de ellos (Shepard, 1962; Kruskal, 1964). Para comparar la similitud de eventuales grupos formados se utilizó un Análisis de Similitud (ANOSIM), obtenido mediante 10.000 iteraciones (Clarke, 1993). Tanto la ordenación MDS como la prueba ANOSIM fueron realizadas en el programa PRIMER 5.2.9 (“Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research”).

#### 5.9.2.7 Comunidades bentónicas submareales

El estudio de las comunidades bentónicas submareales en fondos blandos de Bahía Caldera fue realizada en terreno terreno durante el día 15 de Septiembre de 2009 y el 28 de Diciembre de 2009, en las campañas invernal y estival, respectivamente.

Se consideró un diseño de muestreo similar a lo establecido para la calidad química en agua y sedimentos, en 6 estaciones de muestreo (Ver Figura 5.9-6 y Tabla 5.9-3) en cada una de las cuales se colectaron tres muestras o réplicas de sedimento por medio de una draga de tipo Van Veen de 0,1 m<sup>2</sup> de superficie de mascada, la que fue operada desde una lancha artesanal.

Las muestras fueron lavadas y tamizadas mediante cernidores de 0,5 mm de abertura de malla, guardándose el residuo en bolsas de polietileno donde fueron fijadas con formalina diluida con agua de mar hasta un 10%, para su posterior traslado a laboratorio de Ecometric Mediciones Ambientales ubicado en San Pedro de la Paz, donde se realizó la separación, identificación y recuento de las diferentes especies o taxa mediante un estéreomicroscopio y un microscopio fotónico. Los individuos de cada taxón fueron contados y pesados para cálculos de abundancia específica y biomasa seca libre de cenizas (AFDW). Esta última fue estimada a partir de los valores de biomasa húmeda utilizando los factores de conversión obtenidos por Ricciardi & Bourget (1988), Brey *et al.* (1988) y Rumhor *et al.* (1987).

Con los datos de abundancia y biomasa se realizaron los análisis estadísticos y se calcularon los índices ecológicos pertinentes. Los índices consistieron principalmente en cálculos de Riqueza de especies, Índice de Diversidad de Shannon (H') e Índice de Equidad de Pielou (J')

a) índice de diversidad específica de Shannon & Weaver, *fide* Pielou (1966):

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

b) la relación o medida de equidad o uniformidad (Pielou, 1966):

$$J' = H' / \ln S$$

El análisis de clasificación numérica se realizó utilizando datos transformados a  $\sqrt{x}$  y como coeficiente de asociación comunitaria el índice de Bray-Curtis a través de la estrategia aglomerativa jerárquica de la media no ponderada (UPGMA). Para determinar si la estructura era significativa, se utilizó el test SIMPROF (Clarke y Gorley, 2005), con un nivel de significancia del 5%. Así mismo, se efectuó el test SIMPER para definir la contribución de cada una de las especies a dichas agrupaciones (Clarke y Gorley, 2005).

La ordenación comunitaria, se realizó a través de un análisis de escalación no métrica multidimensional (NMDS). Para ello se utilizó el índice de similitud de Bray-Curtis, sobre la matriz de abundancia transformada a la raíz cuarta. Posteriormente se realizó una superposición del análisis de conglomerados para definir los grupos estadísticamente significativos ( $p < 0,05$ ).

Además de los análisis estadísticos señalados anteriormente, se realizaron las curvas conjuntas de abundancia y biomasa "ABC" (abundance biomass comparison) que permiten hacer consideraciones sobre el estado sucesional y tensional de los conjuntos faunísticos del área de estudio (Warwick, 1986), estableciendo el estrés ambiental de las comunidades a través del estadístico W (Warwick y Clarke, 1994).

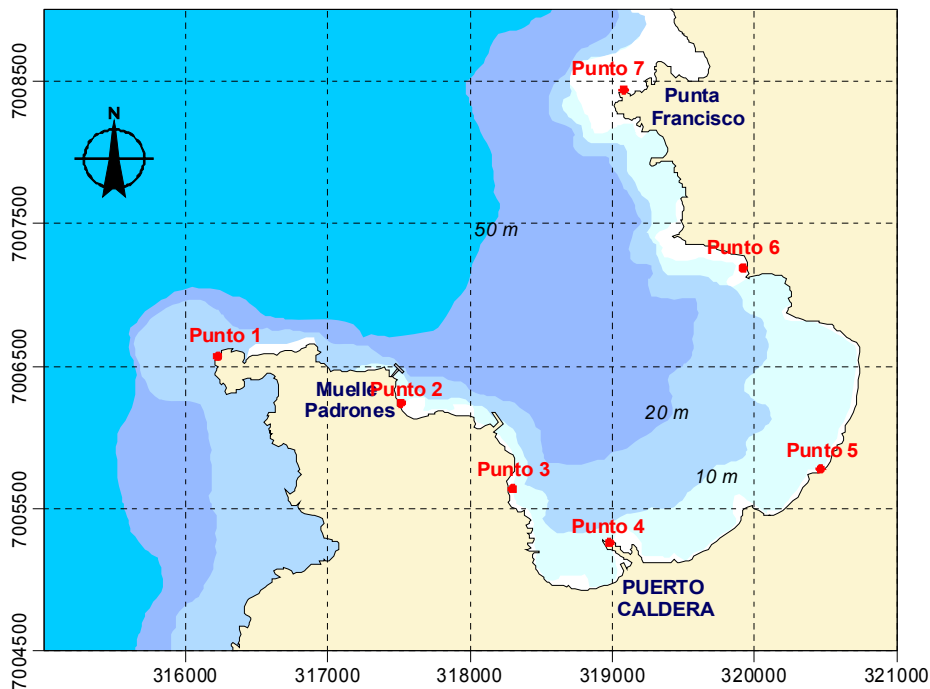


5.9.2.8 Mamíferos y avifauna

La prospección en terreno para inventariar la fauna de reptiles, aves marinas y mamíferos marinos asociados al borde costero de Bahía Caldera fue realizada en dos períodos estacionales, los días 13 y 14 de Septiembre de 2009 (campaña invernal) y los días 28 y 29 de Diciembre de 2009 (campaña invernal).

El área de estudio abarcó desde el Faro Punta Caldera al extremo norte de la Bahía Caldera), donde se dispuso de 7 puntos de observación, de acuerdo a lo señalado en la **Tabla 5.9-6** y en la **Figura 5.9-12**.

**Figura 5.9-12**  
**Distribución de los Puntos de Observación de Fauna al Interior de Bahía Caldera**



**Tabla 5.9-6**  
**Coordenadas Geográficas y Coordenadas UTM de los Sitios Monitoreados en Bahía Caldera**

Punto	Sitio de muestreo	Coordenadas UTM	
		Norte (m)	Este (m)
1	Faro punta Caldera e islotes asociados	7.006.621	316.276
2	Costado norte Empresa minera Condelario	7.006.139	317.661
3	Ex terminal de Hierro	7.005.505	318.290
4	Caleta de pescadores	7.005.006	319.186
5	Playa escorial	7.005.631	320.345
6	Empresas petroleras	7.006.889	320.242
7	Extremo norte Bahía de Caldera	7.008.322	310.902



**Fotografía 5.9-1:** Punto 1: Faro sur e islotes asociados



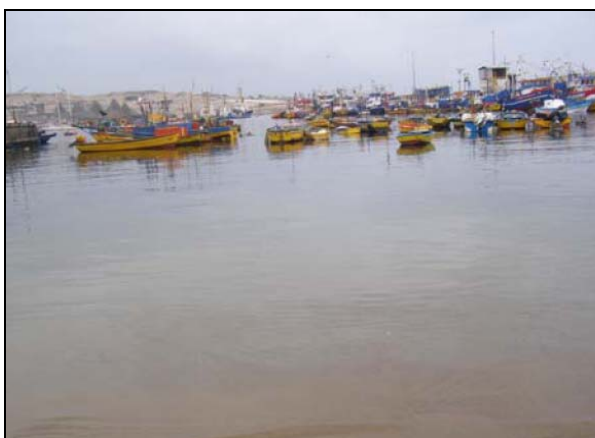
**Fotografía 5.9-2:** Punto 1: sector norte del Faro asociados



**Fotografía 5.9-3:** Punto 2 sector norte contiguo a Compañía Contractual Minera Candelaria



**Fotografía 5.9-4:** Punto 3



**Fotografía 5.9-5:** Punto 4: caleta de pescadores en Caldera



**Fotografía 5.9-6:** Punto 5: playa escorial. Muelle abandonado ex terminal de Hierro



**Fotografía 5.9-7:** Punto 6: sector norte de la bahía a la altura de las empresas petroleras

**Fotografía 5.9-8:** Punto 7: extremo norte de Bahía de Caldera en Punta Francisco

Las prospecciones de fauna se enfocaron en la observación de los siguientes grupos de vertebrados:

**a) Reptiles**

Sólo se informa la riqueza específica (y no sus abundancias) de lagartijas y eventualmente otros reptiles como culebras. Estos herpetozoos fueron registrados mediante búsqueda activa en todos los puntos donde se realizó conteos de aves.

**b) Aves**

Se registró la riqueza de aves definida como el número de especies presentes en el área estudiada. El número de individuos por especie se expresó como abundancia promedio y la representación porcentual (%) de cada especie se obtuvo al dividir la abundancia promedio de la especie sobre el promedio total de registros multiplicado por 100. Finalmente la frecuencia corresponde a la presencia y/o ausencia de la especie (independiente de su abundancia) para el total de puntos evaluados ( $n = 7$ ) multiplicado por 100. Sólo se contabilizó aquellas aves posadas en la playa y sobre el agua; en la última situación se considero sólo aves a 100 metros desde la línea de marea. En bote se contabilizó además las aves y en particular los pingüinos de los islotes asociados al Faro Punta Caldera. La identificación de las especies se realizó a través de prismáticos (Tasco 10 x 50) y registros fotográficos (Nikon Coolpix 5000). Aquellas especies dudosas fueron corroboradas con literatura especializada, la misma que se usó para la sistemática del grupo (Araya & Millie 2000; Jaramillo *et al.* 2003).

### c) Mamíferos Marinos

Tanto en el agua como en la costa se constató y anotó la presencia de mamíferos marinos pertenecientes a los ordenes cetácea (ballenas y delfines) y carnívora (nutrias y lobos marinos). Para los cetáceos se recorrió la costa en bote y los individuos avistados se contaron y fotografiaron para su posterior reconocimiento a través de caracteres propios de cada especie. Las nutrias de mar o chungungos fueron prospectadas con especial atención en la costa del sector del Faro Punta Caldera e islotes asociados, ya que este sector presenta condiciones ideales para el desarrollo de este mustélido (Castilla y Bahamondes, 1979; Sielfeld y Castilla 1999). Finalmente a través de conteos por tierra y agua (en bote), se estimó la abundancia del lobo marino común (*Otaria flavescens*) presente en la zona del Faro Punta Caldera e islotes asociados. Para el total de registros se estimó la proporción de sexos, machos adultos, machos sub-adultos, hembras, juveniles e indeterminados de acuerdo a Sielfeld (1983; 1999). Al igual que en aves, se calculó la abundancia promedio y representación porcentual de los individuos por clases etáreas y sexos. El tratamiento sistemático de los representantes de la clase mammalia se basó en la propuesta de Wozencraft (2005).

Finalmente por puntos se calculó el índice de diversidad de Shannon-Wiener cuya expresión matemática es la siguiente:

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

Donde H: diversidad de especies

S: N° de especies

Pi: proporción de individuos de una especie sobre el total de la muestra

Finalmente por puntos se calculó el índice de diversidad de Shannon-Wiener cuya expresión matemática es la siguiente:

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

Donde H: diversidad de especies

S: N° de especies

Pi: proporción de individuos de una especie sobre el total de la muestra

#### 5.9.2.9 Fauna Íctica

Para realizar una caracterización de las comunidades ícticas presentes en Caldera se realizaron censos visuales mediante buceo semi-autónomo (Hooka) en el sector de Punta Padrones en Caldera (**Figura 5.9-13**).



**Figura 5.9-13**  
**Ubicación Espacial de los Transectos para la Caracterización de las Comunidades Icticas Presentes en Punta Padrones, Caldera.**



Fuente: Arcadis 2010 a partir de Google Earth.

En cada uno de los sectores, mediante una embarcación menor se dispuso una serie de transectos de 200 m<sup>2</sup> (100 metros de largo por 2 metros de ancho), los cuales fueron recorridos por un buzo científico a una velocidad de 10 metros por minuto y a 3 metros del sustrato observando y registrando en una planilla de acrílico el tipo de sustrato y las diferentes especies presentes a lo largo y ancho de cada transecto. La identificación de los peces se realizó según las descripciones de Pequeño 1989, 1997; Sáez & Pequeño 2009 y en los casos que la identificación no fue posible a nivel visual, se anotaron las características de la especie registrando el número de individuos para la posterior identificación.

#### a) **Análisis de la información**

La información de abundancia obtenida se utilizó para calcular la estadística básica, el aporte porcentual de los grupos principales y los índices ecológicos de riqueza de especies (Margalef, 1958), dominancia específica, índice de diversidad de Shannon (H') e índice de equidad de Pielou (J') mediante las siguientes ecuaciones:

a) índice de diversidad específica de Shannon & Weaver (1949), fide Pielou (1969):

$$H' = - \sum_{i=1}^N \frac{n_i}{n} \ln \left( \frac{n_i}{n} \right)$$

Donde,

$n_i$ : número de individuos de la especie  $i$   
 $n$ : número de individuos totales

b) El índice de equidad de Pielou ( $J'$ ) correspondiente a la proporción entre  $H'$  (índice de diversidad de Shannon) y la diversidad máxima ( $H_{\max}$ ) que existiría si todas las especies estuvieran en una condición de igualdad de abundancia (Pielou, 1969):

$$J' = \frac{H'}{H_{\max}}$$

c) El índice de dominancia de Simpson (1949) definido como:

$$D = 1 - \sum_{i=1}^N \frac{n_i (n_i - 1)}{N (N - 1)}$$

Donde,

$n_i$ : número de individuos de la especie  $i$   
 $N$ : número de individuos totales

Para determinar la similitud entre estaciones de muestreo, se efectuaron análisis de clasificación numérica con valores de abundancia transformada a la raíz cuarta y como coeficiente de asociación comunitaria se utilizó el índice de Bray-Curtis, a través de la estrategia de aglomeración jerárquica de la media no ponderada (UPGMA). Se utilizó esta transformación para disminuir el peso de las especies dominantes.

### 5.9.3 Resultados

A continuación se entregan los resultados obtenidos en cada uno de los estudios comprometidos en el levantamiento de la Línea Base Ambiental del Ambiente Marino de Planta Desalinizadora de Compañía Contractual Minera Candelaria.

#### 5.9.3.1 Dinámica y dispersión

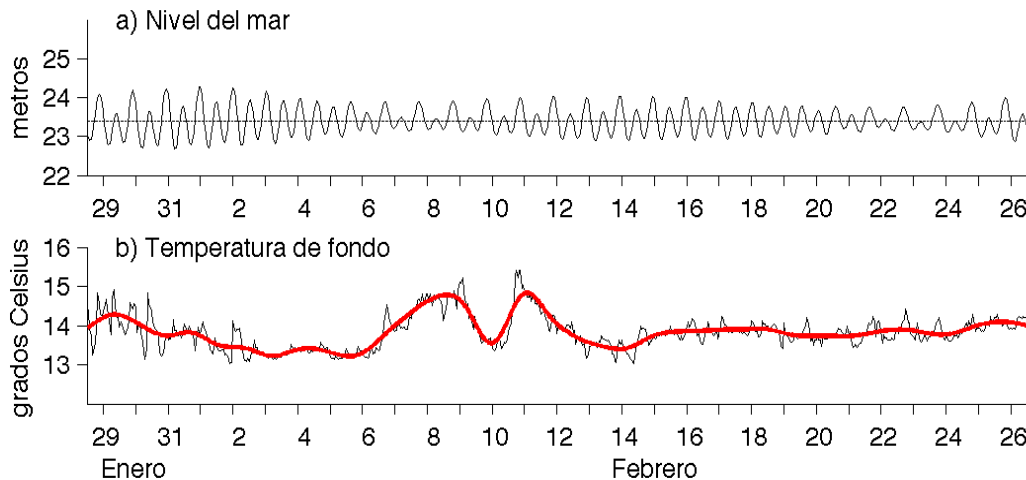
##### a) Correntometría euleriana

###### a.1) Condiciones generales de nivel del mar y temperatura de fondo

Durante el período de evaluación, el nivel del mar en el sitio de anclaje del correntómetro ADCP presentó un nivel promedio de 23,4 m de profundidad, donde se verificaron máximas amplitudes de marea cercanas a 1,7 m durante sicigias, y mínima alrededor de 0,6 m durante cuadraturas (**Figura 5.9-14**). El régimen mareal se puede clasificar como mixto con predominio de la marea semidiurna.

La temperatura de fondo fluctuó aproximadamente entre 13,0 y 15,5 °C con abruptas fluctuaciones del orden de 2 a 3 días. Sin embargo, el registro muestra una tendencia a mantenerse linealmente creciente entre 13,0 y 14,5 °C. La amplitud del ciclo diario fue cercana a 0,4 y 0,8 °C durante la primera y cuarta semana de Febrero respectivamente (**Figura 5.9-14**).

**Figura 5.9-14**  
**Series de Tiempo Originales de a) Nivel del Mar y b) Temperatura del Fondo Marino**



a.2) *Magnitud de la velocidad de la corriente*

La **Tabla 5.9-13** muestra los estadísticos descriptivos básicos de las series temporales de las componentes ortogonales de corriente. EC se refiere a la energía cinética o intensidad dinámica de las series de tiempo, y es proporcional a la varianza de las series en cuestión. Tanto el ángulo del eje de máxima varianza (EMV) como el ángulo del eje de flujo medio (EFM) están orientados con respecto al norte geográfico incrementándose en el mismo sentido que giran las manecillas del reloj.

**Tabla 5.9-13**  
**Estadística Descriptiva de las Corrientes en el Área de Estudio**

Z	Um	Vm	Ude	Vde	Ur	Vr	EC	Angulo EMV	Angulo
-3	-1,41	1,49	4,33	4,35	51,0	38,1	18,8	-45(71,6)	317
-4	-1,34	1,68	4,23	4,16	46,5	33,4	17,6	-46(70,9)	321
-5	-1,14	1,33	4,13	3,79	56,2	28,7	15,7	-49(69,3)	319
-6	-0,95	0,98	3,83	3,53	47,1	25,7	13,5	-48(70,2)	316
-7	-0,79	0,59	3,57	3,41	40,2	24,0	12,2	-47(73,3)	307
-8	-0,65	0,30	3,32	3,32	23,1	24,8	11,0	-45(74,5)	295
-9	-0,58	0,05	3,26	3,24	22,4	23,0	10,5	-45(75,6)	275
-10	-0,49	-0,15	3,22	3,25	22,7	22,9	10,4	-45(75,9)	252
-11	-0,29	-0,33	3,15	3,31	22,0	22,6	10,4	-43(76,5)	221
-12	-0,12	-0,54	3,11	3,36	20,9	23,6	10,5	-42(77,8)	192
-13	0,06	-0,71	3,09	3,41	19,9	23,7	10,6	-42(78,9)	175

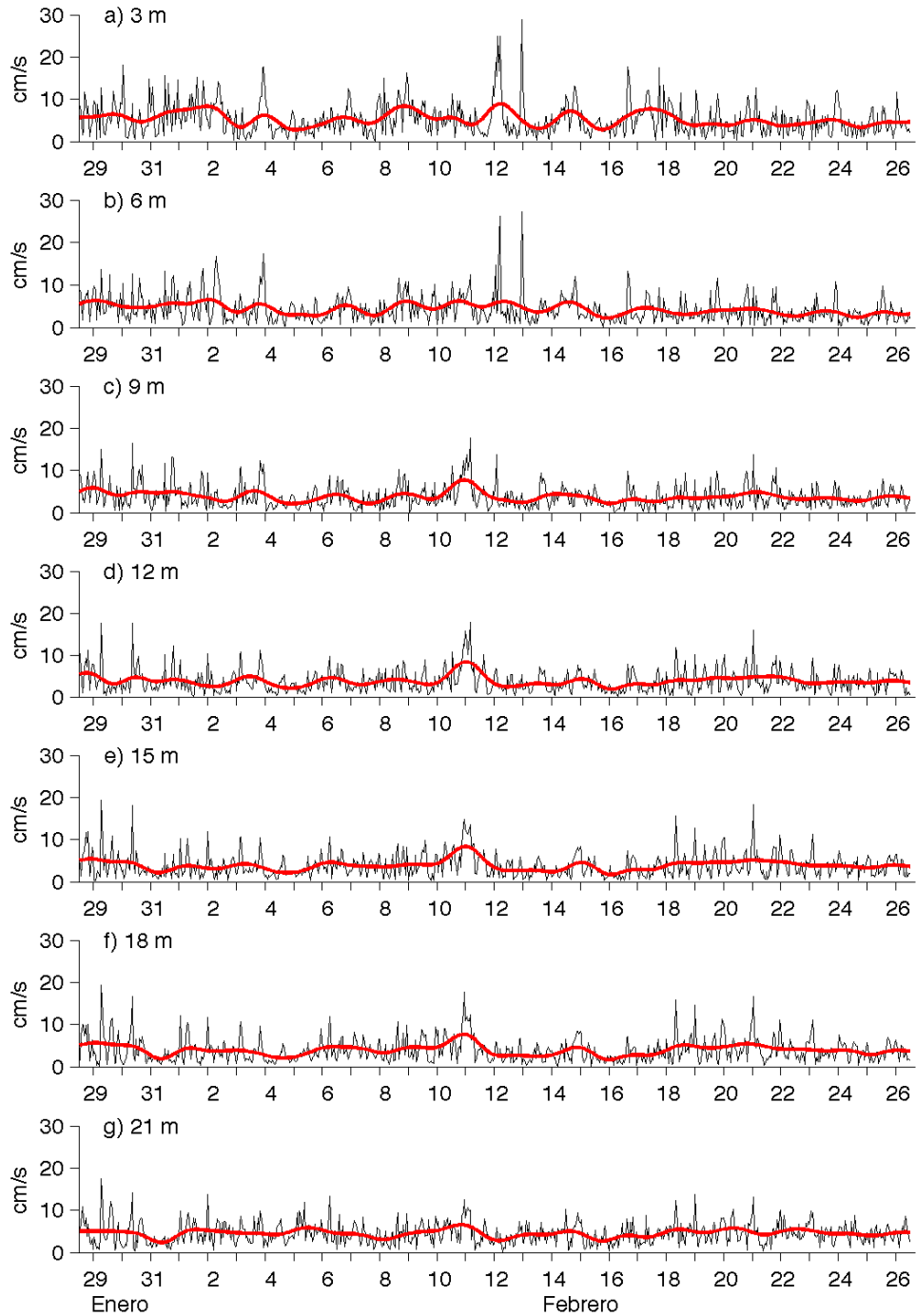
Z	Um	Vm	Ude	Vde	Ur	Vr	EC	Angulo EMV	Angulo
-14	0,24	-0,87	3,10	3,43	20,0	23,6	10,7	-42(79,6)	165
-15	0,42	-1,00	3,10	3,44	19,7	23,2	10,7	-42(80,2)	158
-16	0,57	-1,11	3,11	3,44	18,8	22,7	10,8	-42(80,3)	153
-17	0,73	-1,18	3,10	3,44	19,2	22,4	10,7	-42(80,2)	148
-18	0,88	-1,24	3,06	3,41	18,7	22,3	10,5	-41(80,0)	145
-19	0,99	-1,28	3,00	3,37	19,7	21,5	10,1	-41(79,9)	142
-20	1,15	-1,26	2,90	3,25	19,8	20,8	9,5	-41(78,8)	137
-21	2,25	0,58	3,05	3,48	19,2	21,3	10,7	-36(61,3)	76
<b>Media</b>	<b>-0,02</b>	<b>-0,14</b>	<b>3,35</b>	<b>3,49</b>	<b>27,7</b>	<b>24,6</b>	<b>11,8</b>	<b>-43(75,5)</b>	<b>217</b>

Los valores de intensidad de corriente en la columna de agua presentaron valores inferiores a los 30 cm/s, observándose una buena coherencia vertical entre las series de tiempo de magnitud de la corriente; no obstante, los primeros metros de la columna se comportan como una capa parcialmente independiente del resto de la columna de agua (**Figura 5.9-15**).

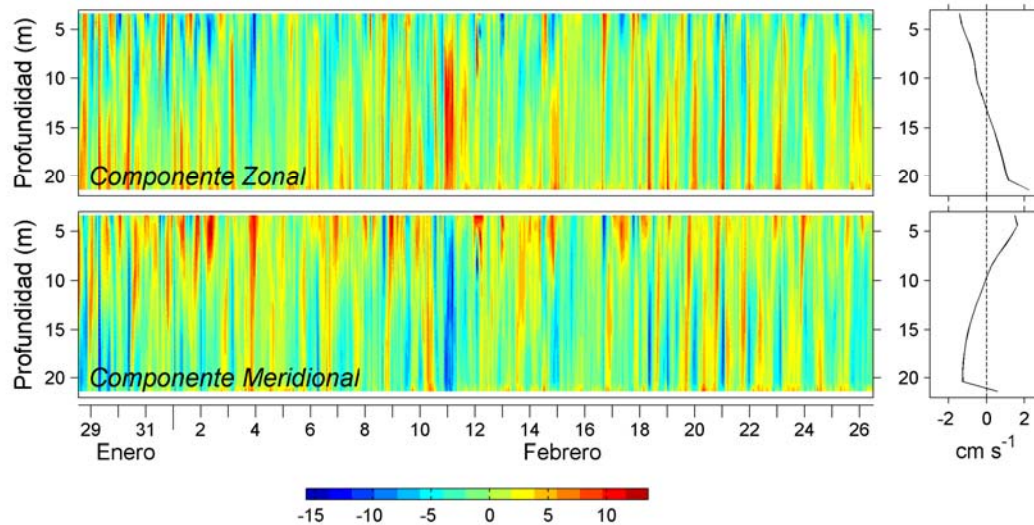
La alta variabilidad en el rango de las horas corresponde a fluctuaciones típicas asociadas principalmente con los constituyentes diurnos y semidiurnos de marea (**Figura 5.9-16**).



**Figura 5.9-15**  
**Series de Tiempo Originales (Línea Negra) y No-Mareasles (línea roja) de Magnitud de la**  
**Corriente en 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 m de Profundidad.**



**Figura 5.9-16**  
**Series de Tiempo Originales para Todas la Profundidades Medidas de la Componente zonal (oeste-este) y Meridional (norte-sur) de la Corriente**



La estructura vertical del flujo medio zonal (oeste-este) de la corriente se caracteriza por tener valores negativos y positivos en la mitad superior e inferior de la columna respectivamente. En general, la componente zonal del flujo muestra sus mayores magnitudes en las cercanías de sus capas límites (superficial y de fondo), alcanzando 2,3 cm/s en el estrato más cercano al fondo marino. En promedio, en esta componente, la columna de agua monitoreada no presentó un flujo neto significativo (**Tabla 5.9-13** y **Figura 5.9-17**).

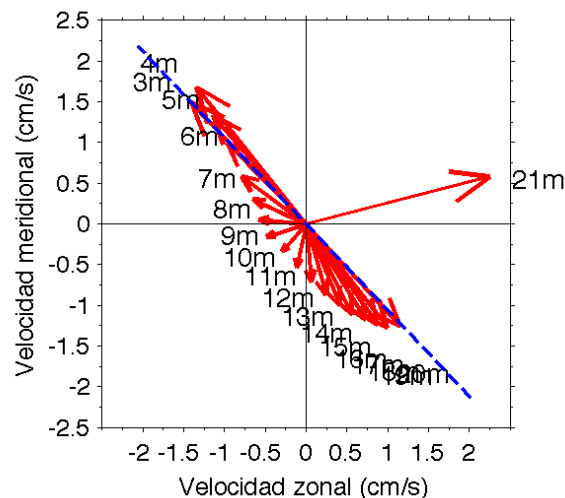
La componente meridional (norte-sur) del flujo medio también mostró dos capas de circulación con una superficial (3 a 9 m) con dirección hacia el norte y una subsuperficial (10 a 20 m) con dirección hacia el sur. Al igual que la componente zonal, las mayores velocidades medias se observan en los límites de la columna de agua. La mayor magnitud, en esta componente del flujo medio, alcanza 1,7 cm/s en el estrato de 4 m de profundidad. El valor promedio, en la columna de agua, de esta componente presenta un pequeño flujo neto de -0,1 cm/s hacia el sur (**Tabla 5.9-13** y **Figura 5.9-17**).

El rango de las corrientes (diferencia entre el valor máximo y mínimo temporal) en general disminuyó con la profundidad siendo claramente mayor en la componente zonal (56,2 cm/s) versus la componente meridional (38,1 cm/s) en los estratos superiores de la columna. A medida que nos acercamos a los estratos más profundos, los rangos de corrientes meridionales tienden a ser levemente superiores a los zonales (**Tabla 5.9-13**).

Las desviaciones estándar de la corrientes zonales son similares a las meridionales, siendo estas últimas levemente inferiores/superiores en la mitad superior/inferior de la columna de agua (**Tabla 5.9-13**).

Por otra parte, la energía cinética de las series, la cual es proporcional al grado de turbulencia de la columna, disminuyó exponencialmente con la profundidad pasando desde  $18,8 \text{ cm}^2/\text{s}^2$  hasta  $9,5 \text{ cm}^2/\text{s}^2$  cerca de superficie y fondo respectivamente (**Tabla 5.9-13**).

**Figura 5.9-17**  
**Velocidad Promedio Temporal en toda la Columna de Agua (Fechas Rojas). También se Muestra el Eje Promedio de Máxima Varianza (Línea Azul).**



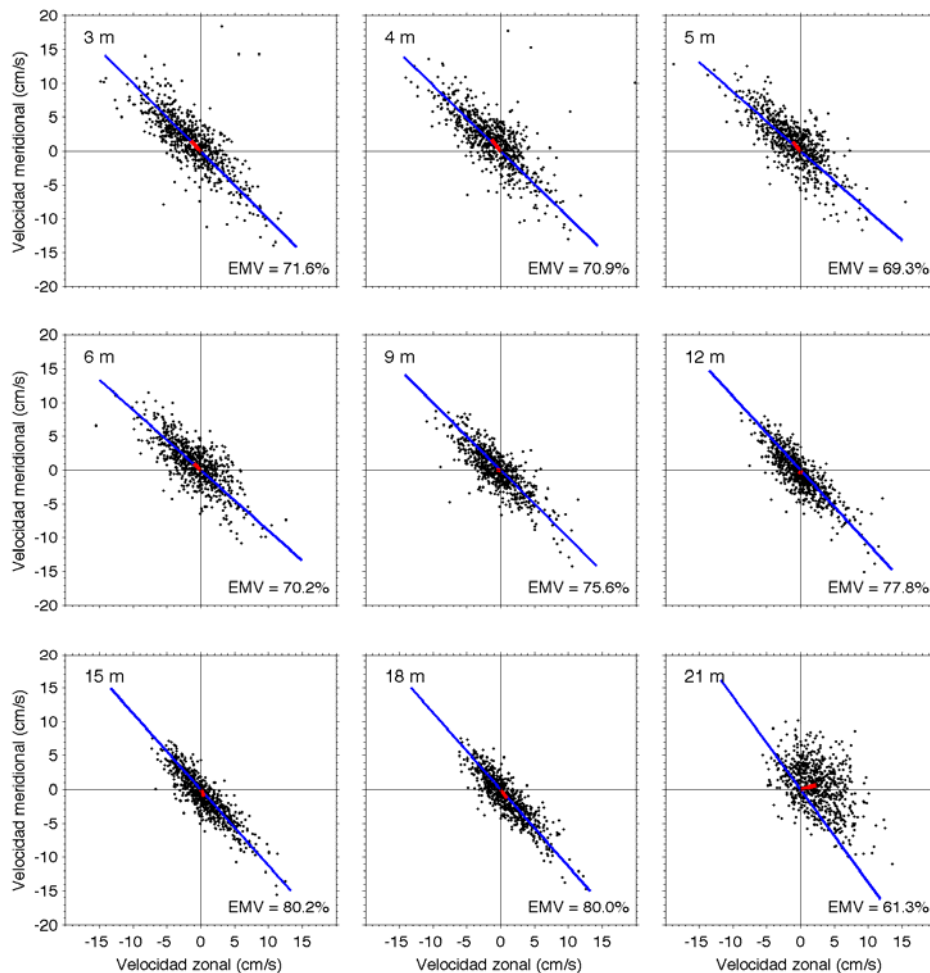
a.3) *Diagramas de dispersión, ejes de máxima varianza (EMV) y ejes de flujo medio (EFM) de la corriente*

Los EMV de la corriente indican la dirección predominante (con respecto al norte geográfico en sentido reloj) a lo largo de la cual la corriente costera se encuentra direccionada. Junto con indicar la dirección y magnitud de las oscilaciones predominantes, también muestra qué porcentaje de todas las observaciones de la corriente son representadas por este EMV (**Figura 5.9-18** y entre paréntesis en **Tabla 5.9-13**). Mientras más grande es este valor mejor es el alineamiento de las corrientes con este CMV, y por lo tanto menor es su dispersión. Por otro lado, el EFM indica la dirección y magnitud de la corriente media para cada estrato de profundidad. Debido a que las magnitudes del flujo medio son muy pequeñas en comparación a las observaciones, éstas se grafican tanto en la **Figura 5.9-18** como en la **Figura 5.9-19** (líneas color rojo).

Los EMV y EFM se grafican en la **Figura 5.9-18** como líneas azules y rojas respectivamente. En todos estos gráficos el Norte apunta hacia arriba y el Este hacia la derecha. En líneas generales la dispersión de las corrientes disminuye con la profundidad, aunque esta aumenta drásticamente en el estrato más cercano al fondo. Lo anterior tiene asidero producto de la presencia de una capa límite de fondo. Esta capa límite ejerce fricción sobre la componente barotrópica de la corriente, lo que a su vez produce variaciones en la dirección de la corriente más cercana al fondo (capa friccional de fondo). Los porcentajes de varianza explicada por los EMV muestran un aumento desde aproximadamente un 70%, en los niveles superficiales, hasta un 80%, en los niveles de fondo. Junto con ello, todos los EMV tienden a orientarse en la dirección noroeste-sureste. Esta orientación de los EMV se relaciona directamente con la disposición de las isóbatas locales.

Por su parte, las magnitudes del flujo medio presentan un valor mínimo de 0,44 cm/s en 11 m de profundidad. Dicho valor mínimo, ubicado en torno al centro de la columna de agua, se incrementa progresivamente hacia las capas límites presentando valores máximos de 2,15 cm/s y 2,32 cm/s, en 4 y 21 m de profundidad respectivamente. Lo anterior se distingue con mayor claridad en la **Figura 5.9-19**, donde se muestra el perfil vertical del valor medio de la corriente. La dirección de la corriente presentó una importante componente hacia el noroeste en superficie, la cual rota gradualmente en sentido antireloj a medida que aumenta la profundidad. De este modo, en los niveles más cercanos al fondo la corriente presenta una dirección hacia el sureste. El patrón espiral del perfil de la corriente media evidencia la intersección de las capas friccionales de superficie y fondo, en torno a los 11 m de profundidad.

**Figura 5.9-18**  
**Diagramas Dispersión de la Corriente (Puntos Negros), Ejes de Máxima Varianza (línea azul), y Velocidad Promedio Temporal (Líneas Rojas)**  
**en 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 m de Profundidad.**



#### a.4) Componentes ortogonales de la corriente total y no-mareal (filtrada)

Con el objetivo de mostrar la variabilidad temporal de la corriente en el sentido longitudinal y transversal respecto de la costa se rotaron las direcciones de la corriente un ángulo de 43 grados. Este ángulo es el valor promedio de los EMV en la columna de agua, y representa la dirección en que está alineada la costa monitoreada (**Tabla 5.9-13**). La descomposición vectorial de las magnitudes y las nuevas direcciones entrega las componentes a lo largo y transversales a la costa.

Debido a que las corrientes son afectadas por la marea rotatoria, que no contribuye eficazmente con el transporte de sustancias en suspensión o disueltas en la columna de agua, se obtiene también las componentes filtradas o no-mareales de la corriente (línea roja en **Figura 5.9-19** y **Figura 5.9-20**). Estas componentes, como su nombre lo indica, no incluyen las corrientes de marea y responden principalmente al efecto del viento. Estas componentes no-mareales son las principales responsables del transporte advectivo de sustancias en suspensión o disueltas en la columna de agua en las zonas costera.

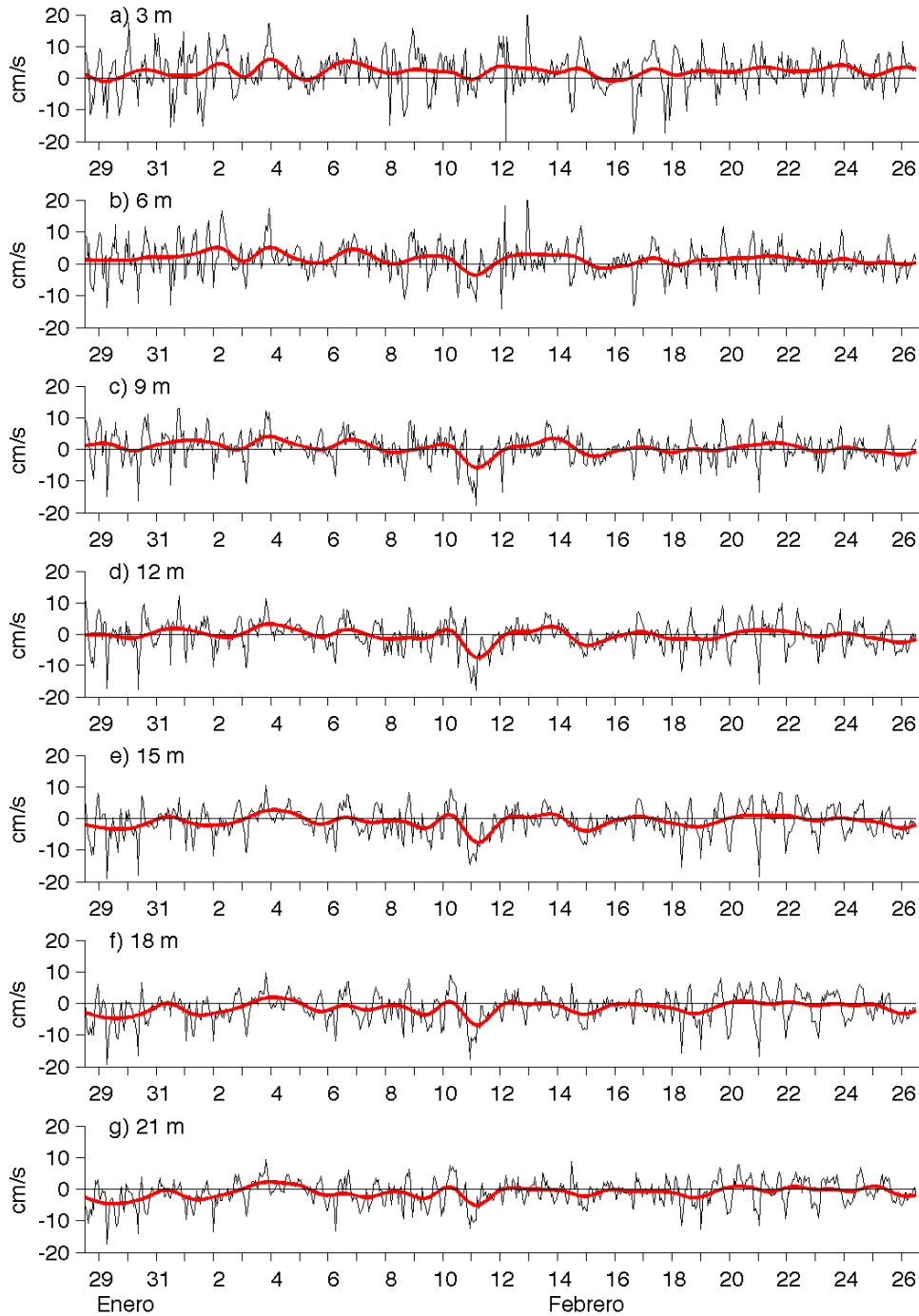
La **Figura 5.9-19** y la **Figura 5.9-20** muestran la variabilidad temporal de la corriente a lo largo y transversal a la costa, respectivamente, en siete estratos (3, 6, 9, 12, 15, 18, y 21 m) provenientes del registro de ADCP.

La corriente superficial a lo largo de la costa oscila aproximadamente entre -10 y 10 cm/s, mostrando pulsos esporádicos y repentinos del orden de -20 y 20 cm/s. En general, la corriente sub-mareal (líneas rojas) muestra una muy buena coherencia vertical; aunque, tal como fue mencionado con anterioridad, los estratos superiores (primeros metros) parecen co-oscilar de manera ligeramente diferente al resto de la columna. Por otro lado, es posible distinguir una relación inversa entre la temperatura y los registros de corriente cercanos al fondo, lo que parece evidenciar la presencia de un gradiente de presión en toda la columna. Si bien no se poseen registros específicos de viento, un pulso submareal de viento hacia el sur podría generar una convergencia costera, la que incrementaría la temperatura y produciría un gradiente de presión transversal a la costa y velocidades hacia el sureste en la columna. Cerca de la superficie esta relación inversa entre la temperatura y la corriente sería enmascarada por efecto del esfuerzo del viento (**Figura 5.9-19**).

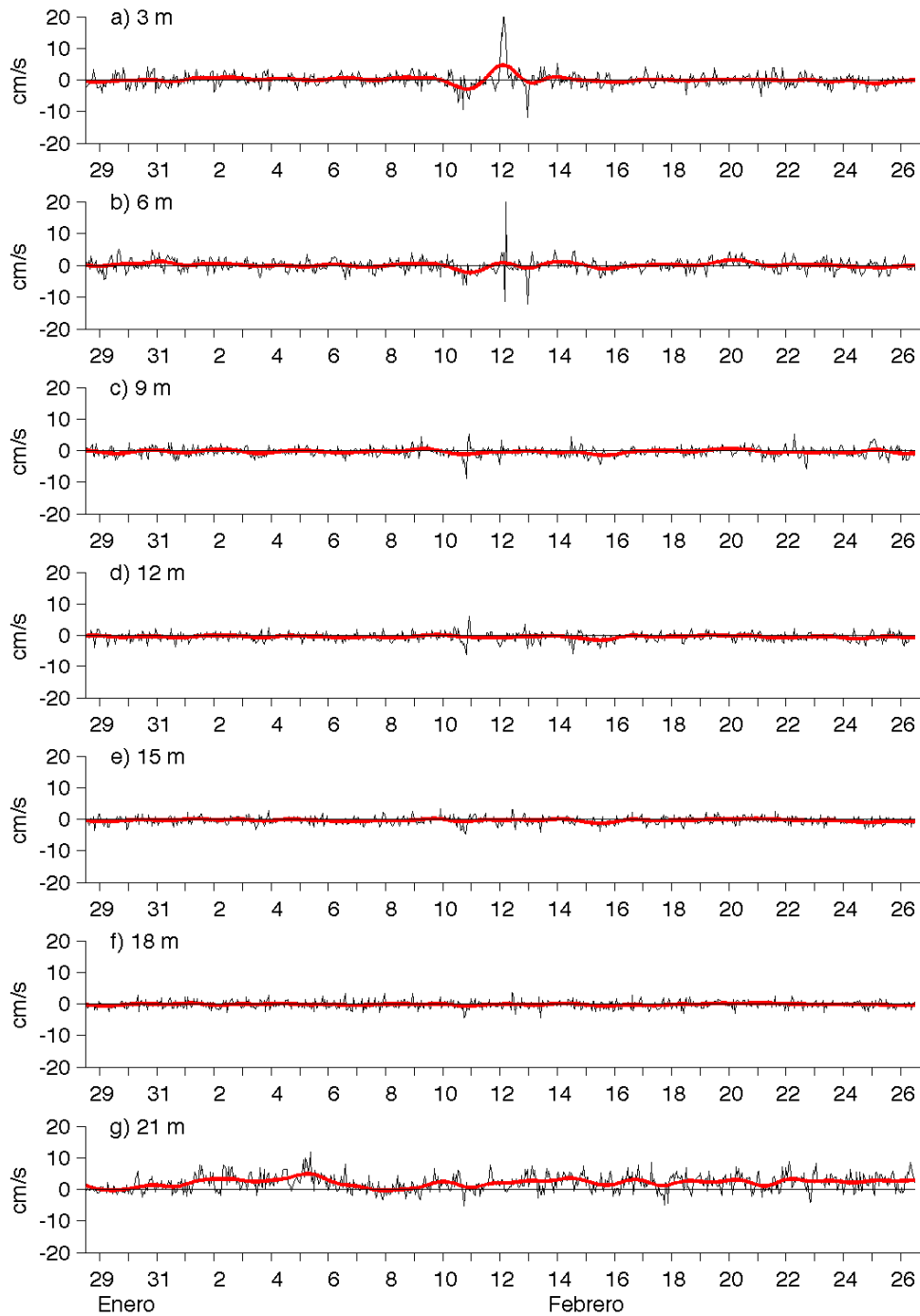
Aunque las oscilaciones mareales de la corriente a lo largo de la costa están omnipresentes en toda la columna de agua, éstas se presentan principalmente en los estratos superiores donde la influencia del ciclo diario del viento (brisa marina) resulta ser evidentemente mayor (**Figura 5.9-19**).

Las velocidades superficiales transversales a la costa oscilan esencialmente entre -5 y 5 cm/s, con escasos valores repentinos comprendidos entre -10 y 20 cm/s. En los estratos subsuperficiales, la corriente transversal varía mayormente entre -3 y 3 cm/s. Tanto las perturbaciones sub-mareales como mareales de la corriente se incrementan drásticamente en el registro más cercano al fondo. Nuevamente, en los registros más profundos se observa una relación inversa entre la temperatura y la velocidad transversal a la costa, lo que refuerza la idea de un eventual gradiente de presión transversal a la costa.

**Figura 5.9-19**  
**Series de Tiempo Originales (Línea Negra) y No-Mareasles (Línea Roja) de la Corriente a lo Largo de la Costa en 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 m de Profundidad.**



**Figura 5.9-20**  
**Series de Tiempo Originales (Línea Negra) y No-Mareasles (Línea Roja) de la Corriente Transversal a la Costa en 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 m de Profundidad.**



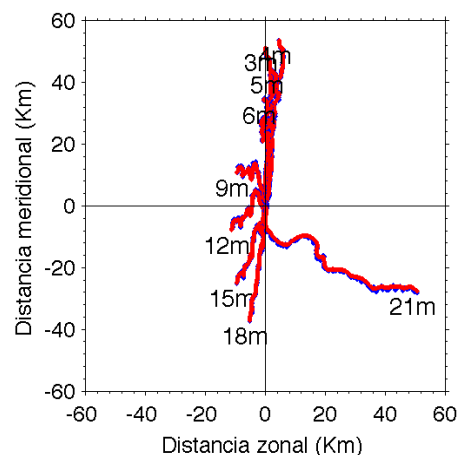
## a.5) Diagrama de vector progresivo (DVP)

Otra manera de representar la circulación del área de estudio es a través de diagramas de vector progresivo (DVP). Estos diagramas, al mantener la escala espacial en ambos ejes cartesianos, permiten estimar la tendencia residual de la circulación para el período en estudio. Como se trata de mediciones eulerianas, estos diagramas no indican trayectorias lagrangianas sino, más bien, muestran las características de la columna de agua que pasa través del correntómetro asumiendo un campo de corrientes horizontales uniforme. En estos diagramas el norte geográfico apunta hacia arriba y el este hacia la derecha. La escala del mapa es una referencia a la longitud de la columna de agua, en metros, que ha atravesado por cada nivel de profundidad.

La **Figura 5.9-21** muestra el flujo residual total (líneas azules) y no-mareal (líneas rojas) en diversos estratos de la columna de agua. En la figura se muestran los estratos verticales definidos anteriormente en las **Figuras 5.9-29** y **5.9-30** (3, 6, 9, 12, 15, 18, y 21 m). El flujo residual calculado a través de la corriente total y no-mareal coincide plenamente. Tal como se mencionó antes, el efecto mareal no es determinante en el transporte en la columna de agua. Los estratos superiores (3 a 6 m) mostraron un desplazamiento residual hacia el norte con un promedio de 46 Km durante el período de estudio. A mayor profundidad, la tendencia residual hacia el norte decrece paulatinamente hasta un valor de 30 k en torno a los 6 m de profundidad. En los estratos intermedios de la columna, se observa un desplazamiento hacia el oeste cercano a 10 km durante el registro. En los estratos más cercanos al fondo, la tendencia residual de la corriente fue hacia el sur, alcanzando un valor máximo aproximado de 40 km cerca de 20 m de profundidad. Sin embargo, en el estrato inferior la dirección residual fue hacia el oeste con un intenso desplazamiento de 58 km, lo que reafirma la hipótesis que existiría un importante efecto friccional en la dinámica de la capa más cercana al fondo.

En promedio la columna de agua, sin incluir el estrato de fondo, se movió 5,9 km hacia el oeste durante los 29 días de registro del ADCP.

**Figura 5.9-21**  
**Diagramas de Vector Progresivo de Corrientes Originales (Línea Azul) y No-Mareales (Línea Roja) en 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 m de profundidad.**





a.6) *Análisis espectral de las series de tiempo*

La **Figura 5.9-22** muestra el autoespectro de la presión de fondo medida por el ADCP o nivel del mar, y la **Figura 5.9-23** muestra los autoespectros rotatorios de la corriente total en las profundidades de 5, 10, 15, y 20 m. En cada uno de los gráficos de esta última figura 5.9-23 se muestra tanto el espectro rotatorio reloj (línea segmentada) como el anti-reloj (línea entera). Los símbolos K1 y M2 insertos en las figuras indican la frecuencia del armónico de marea principal diurno (1/23,93 ciclos/horas) y semi-diurno (1/12,42 ciclos/horas), respectivamente.

La energía espectral del nivel del mar, muestra una clara predominancia de los armónicos de marea principales, siendo la marea semidiurna la de mayor energía o que prevalece en el registro en cuestión.

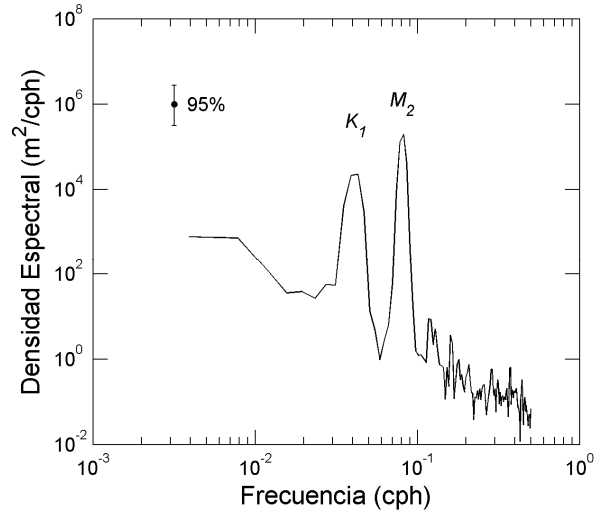
En el estrato de 5 m de profundidad, el predominio de la energía se concentra en torno a las mareas principales y en segundo plano a la variabilidad sub-mareal (oscilaciones con períodos mayores a 40 horas). La marea diurna K1 rota en sentido horario, mientras que la semidiurna M2 lo hace en sentido anti-horario.

A 10 m de profundidad, la energía espectral (o varianza) en todas las frecuencias decrece respecto al estrato de 5 m, lo que concuerda en general con lo observado en las Figuras 5.9-22 y 5.9-23. En este estrato la variabilidad sub-mareal y la marea semidiurna M2 acaparan la mayor densidad espectral, relegando a un nivel inferior de energía a la marea diurna K1. Sólo la marea M2 muestra una componente rotatoria al prevalecer la energía espectral rotatoria con-reloj.

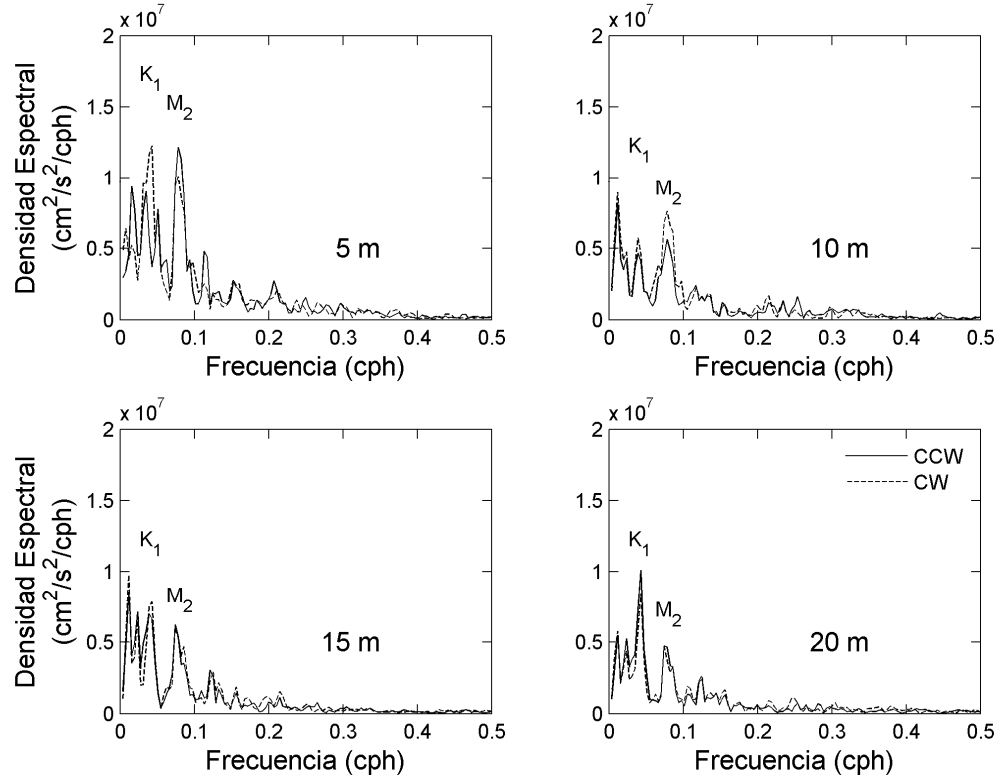
En la capa correspondiente a 15 m de profundidad la energía espectral promedio se mantiene similar a la observada a 10 m. Sin embargo, la variabilidad sub-mareal prevalece por sobre las mareas K1 y M2. Sólo el armónico diurno de marea muestra una energía rotatoria prevaleciente.

En el estrato de 20 m de profundidad se distingue un acentuado predominio de la energía del armónico diurno K1. Tanto la variabilidad sub-inercial como la marea semidiurna M2 muestran bajos niveles de densidad espectral. En todo el espectro no se observa el predominio de ninguna componente rotatoria, i.e. la corriente tendería a alinearse en un eje de máxima variabilidad (ver **Figura 5.9-18**).

**Figura 5.9-22**  
**Autoespectro de Nivel del Mar. La Pequeña Línea Vertical en el Borde Superior Izquierdo Representa el Intervalo al 95% de Confianza para c/ Estimación Espectral.**



**Figura 5.9-23**  
**Autoespectros Rotatorios en Sentido Reloj (Línea Segmentada) y Anti-Reloj (Línea Entera) de la Corriente a 5, 10, 15, y 20 m de Profundidad.**



a.7) *Estructura vertical de la corriente*

Siguiendo la metodología de Emery & Thomson (2001), se calcularon las funciones ortogonales empíricas (FOE) a la corriente registrada por el ADCP para determinar los modos de co-oscilación de la columna de agua. En este caso se trabajó sólo con la corriente a lo largo de la costa, ya que esta componente posee esencialmente toda la variabilidad observada en el registro.

La **Figura 5.9-24** muestra la estructura vertical de los primeros tres modos ortogonales empíricos, con sus respectivos porcentajes de varianza explicada de la corriente total.

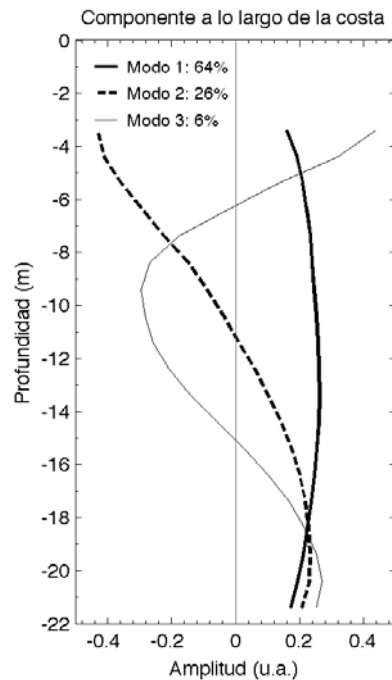
El primer modo ortogonal empírico explicó cerca del 65 % de la variabilidad observada en los 19 niveles de profundidad (3 a 21 m) registrados por el ADCP. Su estructura vertical es prácticamente barotrópico (homogéneo en profundidad) a lo largo de la costa, con intensidades que disminuyen levemente en los límites de la columna.

La disminución de la velocidad cerca del fondo observada en los tres primeros se debe al efecto de la fricción de fondo sobre el flujo. En apariencia este hecho favorece un menor transporte de partículas suspendidas que se encuentren en el fondo, pero es necesario recordar que, justamente esta capa friccional parece explicar el marcado transporte transversal y hacia la costa en esta profundidad (ver **Figuras 5.9-17 y 5.9-20**).

A diferencia del primer modo, el segundo modo muestra una estructura vertical baroclínica, observándose dos capas de circulación. Este modo explica alrededor del 26 % de la variabilidad observada en la corriente a lo largo de la costa. El cambio de dirección de la corriente se produce entre 11 y 12 m de profundidad, i.e. en la mitad de la columna de agua.

El tercer modo ortogonal empírico explica cerca del 6 % de la variabilidad de la corriente, mientras que el primer y segundo modo explican en conjunto más del 90 % de la variabilidad. Es por esto último, que se considera innecesario el análisis de este tercer modo de oscilación.

**Figura 5.9-24**  
**Estructura Vertical del Primer (Línea Gruesa Entera), Segundo (Línea Gruesa Segmentada), y Tercer (línea Delgada Entera) Modo Ortogonal Empírico de la Corriente a lo Largo de la Costa.**



## b) Correntometría Lagrangiana

### b.1) Sector 1

- Campaña invernal

Las evaluaciones de dinámica lagrangiana realizadas en el sector 1, ubicado al oeste de Punta Padrones, durante la mañana del 14 de septiembre de 2009 bajo condiciones de marea vaciante se desarrollaron en presencia de bajas intensidades de viento ( $1$  a  $2 \text{ ms}^{-1}$ ) procedente de WSW.

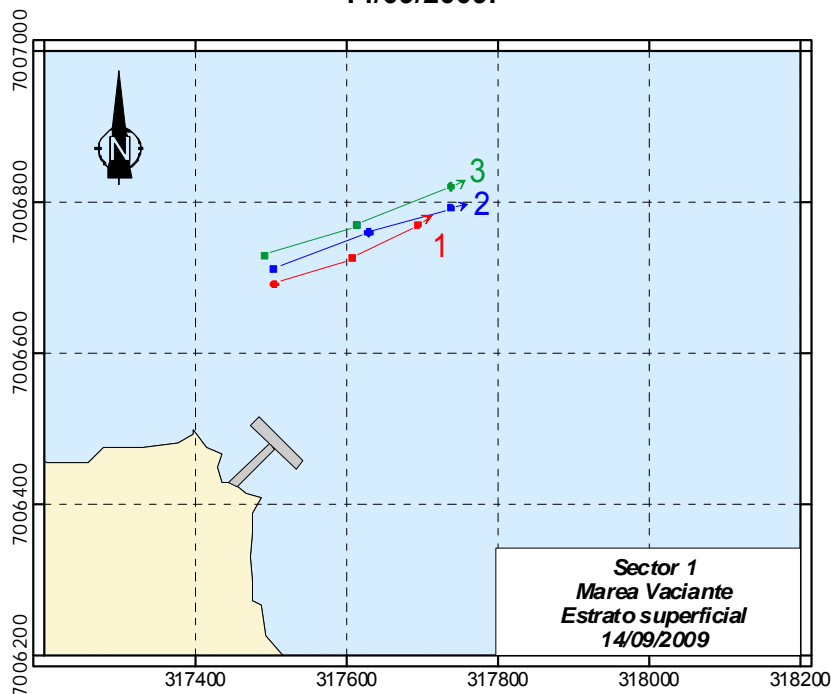
Durante este período, el agua superficial del sector 1 presentó flujos dirigidos hacia el ENE, describiendo un desplazamiento promedio de  $239,5 \pm 29,5 \text{ m}$ , registrándose una rapidez promedio asociada de  $0,114 \pm 0,009 \text{ m s}^{-1}$  (Tabla 5.9-14; Figura 5.9-25).

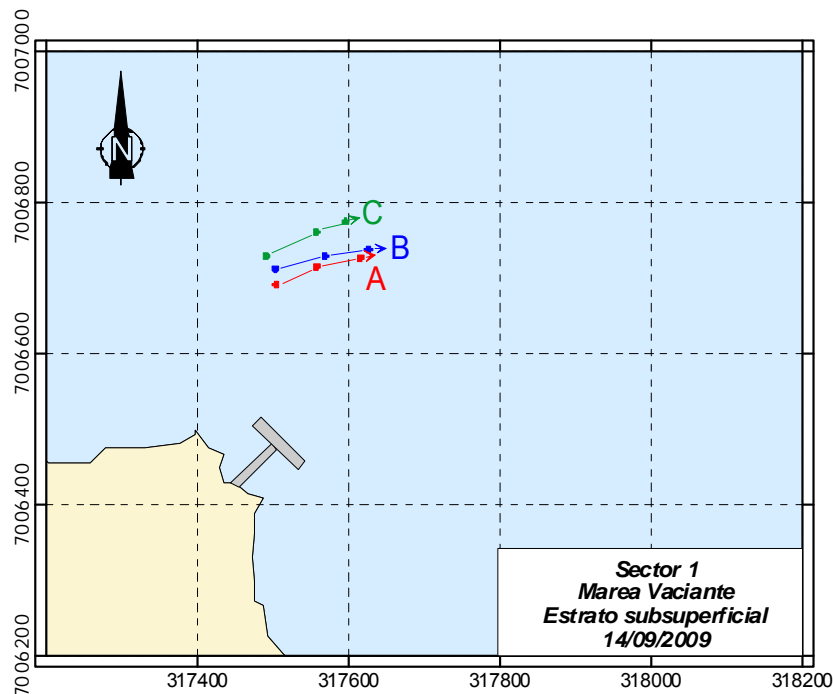
En el estrato de 8 m, se verificó un flujo con la misma dirección que el descrito para el estrato superficial, pero de menor magnitud, estableciendo velocidades y desplazamientos menores a los descritos para el estrato superficial (desplazamiento=  $118,8 \pm 6,0 \text{ m}$ ; rapidez =  $0,058 \pm 0,004 \text{ m s}^{-1}$ ) (Tabla 5.9-14; Figura 5.9-25).

**Tabla 5.9-14**  
**Estadística de los experimentos con derivadores realizados en el Sector 1, en condiciones de marea vaciante. Derivadores superficiales (1, 2 y 3) y estrato de 8 m (A, B y C). (14/09/2009).**

Derivador	Distancia (m)	Dirección (°)	Rapidez (m s <sup>-1</sup> )	Componente este-oeste (m s <sup>-1</sup> )	Componente norte-sur (m s <sup>-1</sup> )
1	205	67	0,104	0,096	0,041
2	258	71	0,120	0,113	0,039
3	255	70	0,118	0,111	0,040
Promedio	239,5		0,114	0,106	0,040
D. estándar	29,5		0,009	0,010	0,001
Derivador	Distancia (m)	Dirección (°)	Rapidez (m s <sup>-1</sup> )	Componente este-oeste (m s <sup>-1</sup> )	Componente norte-sur (m s <sup>-1</sup> )
A	117	70	0,056	0,052	0,019
B	126	76	0,063	0,062	0,015
C	114	67	0,056	0,051	0,022
Promedio	118,8		0,058	0,055	0,019
D. estándar	6,0		0,004	0,006	0,003

**Figura 5.9-25**  
**Experimentos Lagrangianos Realizados en Condiciones de Marea Vaciante Durante el 14/09/2009.**





En marea llenante, las actividades lagrangianas fueron realizadas en condiciones de viento de intensidad moderada ( $3 \text{ a } 4 \text{ ms}^{-1}$ ) procedente del SW.

Bajo condiciones de marea llenante, las aguas superficiales establecieron flujos hacia el ENE, con valores de rapidez y recorrido similares a los verificados durante la marea vaciante, verificándose una velocidad promedio de  $0,175 \text{ m s}^{-1}$ , con un desplazamiento asociado de  $293,8 \pm 25,6 \text{ m}$  (Tabla 5.9-15; Figura 5.9-26).

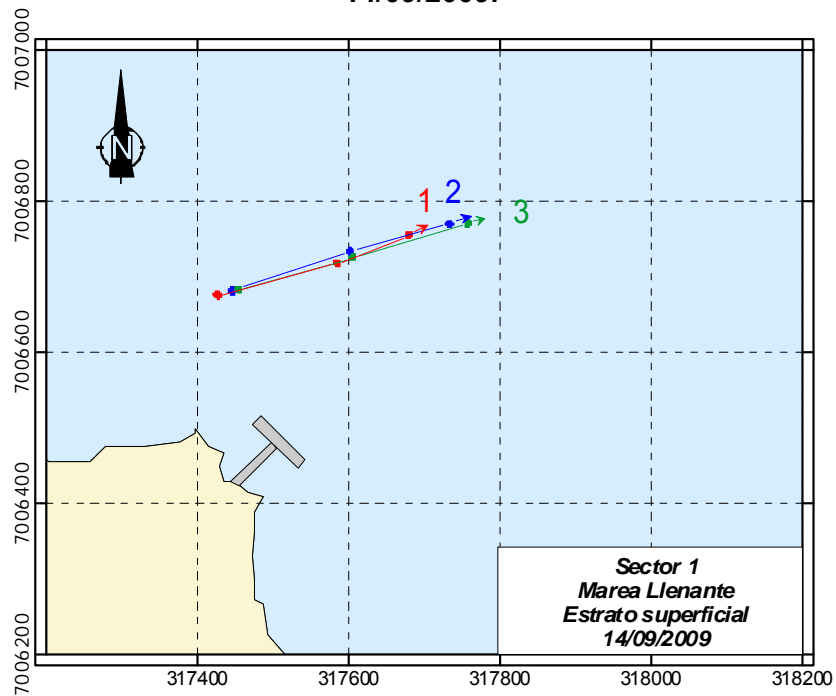
En el estrato subsuperficial, bajo las mismas condiciones mareales (llenante), las aguas describieron trayectorias dirigidas hacia el NE, donde tanto las magnitudes en los desplazamientos descritos por los derivadores (promedio=  $22,6 \pm 2,1 \text{ m}$ ) así como la rapidez (promedio=  $0,012 \pm 0,001 \text{ m s}^{-1}$ ), fueron significativamente menores a los observados en el estrato superficial (Tabla 5.9-15; Figura 5.9-26).

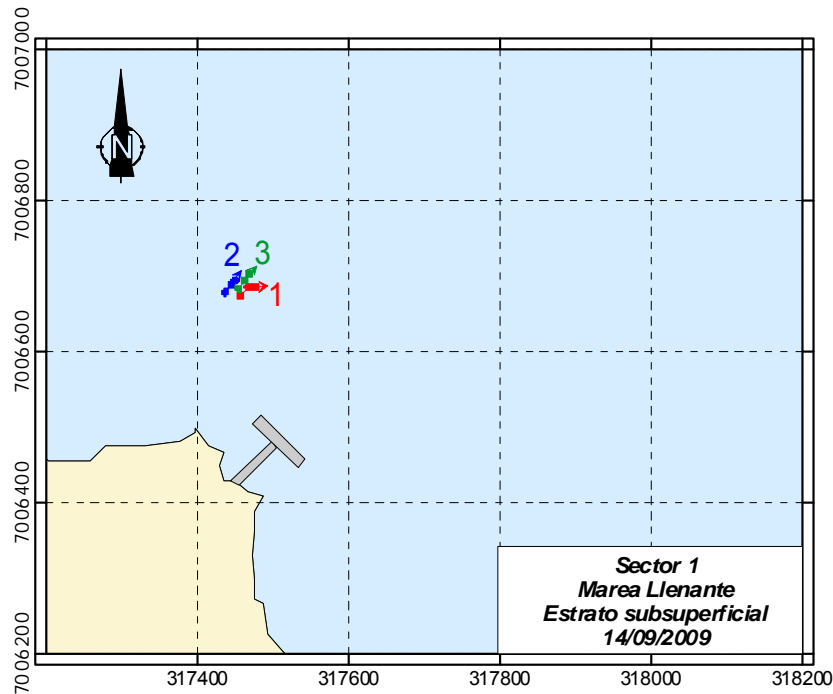
**Tabla 5.9-15**  
**Estadística de los Experimentos con Derivadores Realizados en el Sector 1, en Condiciones de Marea Llenante. Derivadores Superficiales (1, 2 y 3) y Estrato de 8 m (A, B y C). (14/09/2009).**

Derivador	Distancia (m)	Dirección (°)	Rapidez ( $\text{m s}^{-1}$ )	Componente este-oeste ( $\text{m s}^{-1}$ )	Componente norte-sur ( $\text{m s}^{-1}$ )
1	266	72	0,158	0,150	0,049
2	301	73	0,179	0,171	0,052
3	315	75	0,188	0,181	0,049
Promedio	293,8		0,175	0,168	0,050
D. estándar	25,6		0,015	0,016	0,002

Derivador	Distancia (m)	Dirección (°)	Rapidez (m s <sup>-1</sup> )	Componente este-oeste (m s <sup>-1</sup> )	Componente norte-sur (m s <sup>-1</sup> )
A	23	55	0,011	0,009	0,007
B	20	35	0,011	0,006	0,009
C	24	37	0,013	0,008	0,011
Promedio	22,6		0,012	0,008	0,009
D. estándar	2,1		0,001	0,002	0,002

**Figura 5.9-26**  
**Experimentos Lagrangianos Realizados en Condiciones de Marea Llenante Durante el 14/09/2009.**





- Campaña estival

Durante el período estival, los experimentos lagrangianos realizados al oeste de Punta Padrones, durante la mañana del 28 de Diciembre de 2009 bajo condiciones de marea vaciante se desarrollaron en presencia de bajas intensidades de viento ( $3,8 \text{ ms}^{-1}$ ) procedente de WSW.

Durante este período, el agua superficial del sector 1 presentó flujos dirigidos hacia el ENE, describiendo un desplazamiento promedio de  $207,5 \pm 16,9 \text{ m}$ , registrándose una rapidez promedio asociada de  $0,112 \pm 0,009 \text{ m s}^{-1}$  (Tabla 5.9-16; Figura 5.9-27).

Hacia el estrato de 8 m, se verificó un flujo con la misma dirección que el descrito para el estrato superficial, pero de menor magnitud, estableciendo velocidades y desplazamientos menores a los descritos para el estrato superficial (desplazamiento=  $70,5 \pm 4,9 \text{ m}$ ; rapidez =  $0,036 \pm 0,002 \text{ m s}^{-1}$ ) (Tabla 5.9-16; Figura 5.9-27).

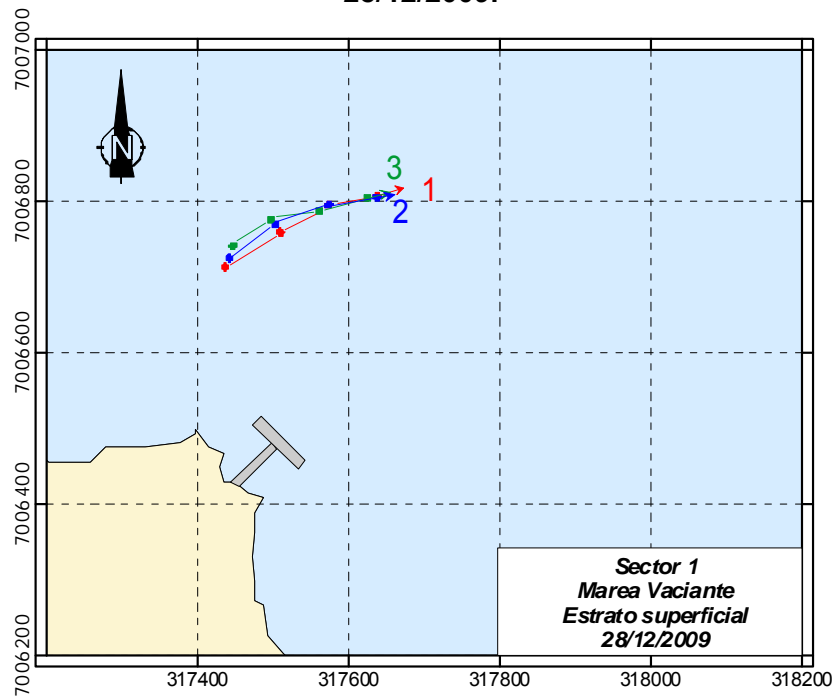
**Tabla 5.9-16**  
**Estadística de los Experimentos con Derivadores Realizados en el Sector 1, en Condiciones de Marea Vaciante. Derivadores Superficiales (1, 2 y 3) y Estrato de 8 m (A, B y C). (28/12/2009).**

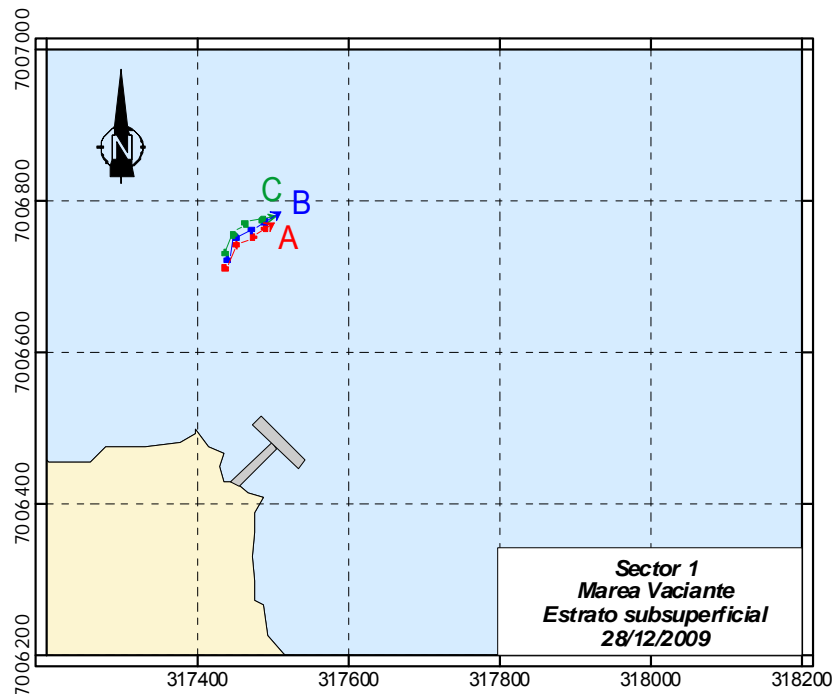
Derivador	Distancia (m)	Dirección (°)	Rapidez ( $\text{m s}^{-1}$ )	Componente este-oeste ( $\text{m s}^{-1}$ )	Componente norte-sur ( $\text{m s}^{-1}$ )
1	222	67	0.119	0.110	0.047
2	212	71	0.114	0.108	0.037
3	189	70	0.102	0.095	0.035
Promedio	207.5		0.112	0.104	0.039



Derivador	Distancia (m)	Dirección (°)	Rapidez (m s <sup>-1</sup> )	Componente este-oeste (m s <sup>-1</sup> )	Componente norte-sur (m s <sup>-1</sup> )
D. estándar	16.9		0.009	0.008	0.006
A	76	70	0.038	0.036	0.013
B	70	76	0.035	0.034	0.009
C	66	67	0.033	0.031	0.013
Promedio	70.5		0.036	0.034	0.012
D. estándar	4.9		0.002	0.003	0.003

**Figura 5.9-27**  
**Experimentos Lagrangianos Realizados en Condiciones de Marea Vaciente Durante el 28/12/2009.**





En horas de la tarde, bajo condiciones de marea llenante, las actividades lagrangianas fueron realizadas en condiciones de viento de intensidad moderada ( $5,9 \text{ ms}^{-1}$ ) procedente del WSW.

Bajo condiciones de marea llenante, las aguas superficiales establecieron flujos hacia el E, con valores de rapidez y recorrido mayores a los verificados durante la marea vaciante, verificándose una velocidad promedio de  $0,242 \text{ m s}^{-1}$ , con un desplazamiento asociado de  $450,3 \pm 10,9 \text{ m}$  (Tabla 5.9-17; Figura 5.9-28).

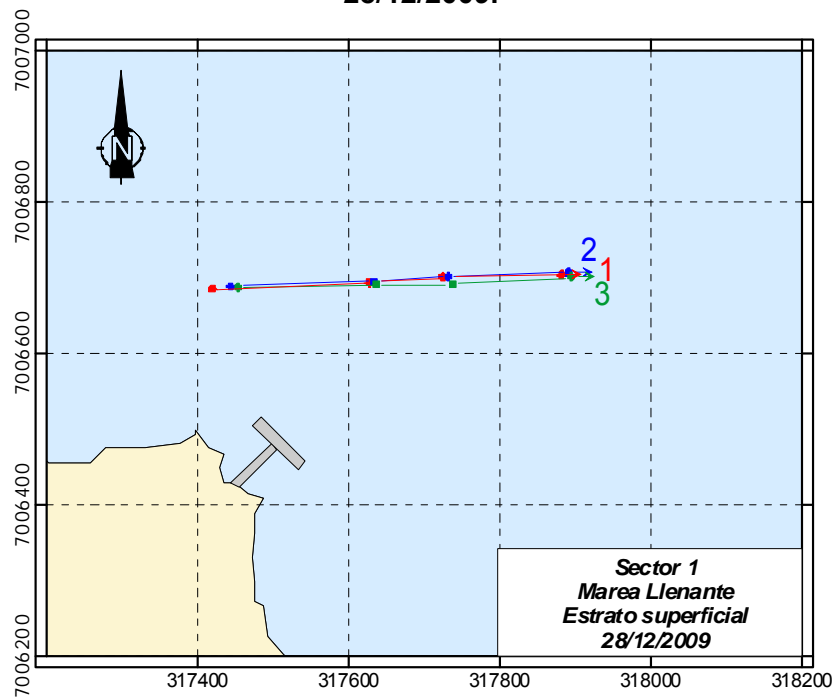
En el estrato subsuperficial y bajo las mismas condiciones mareales, las aguas describieron trayectorias dirigidas hacia el ENE, donde tanto las magnitudes en los desplazamientos descritos por los derivadores (promedio=  $79,5 \pm 30,5 \text{ m}$ ) así como la rapidez (promedio=  $0,038 \pm 0,015 \text{ m s}^{-1}$ ) fueron significativamente menores a los observados en el estrato superficial (Tabla 5.9-17; Figura 5.9-28).

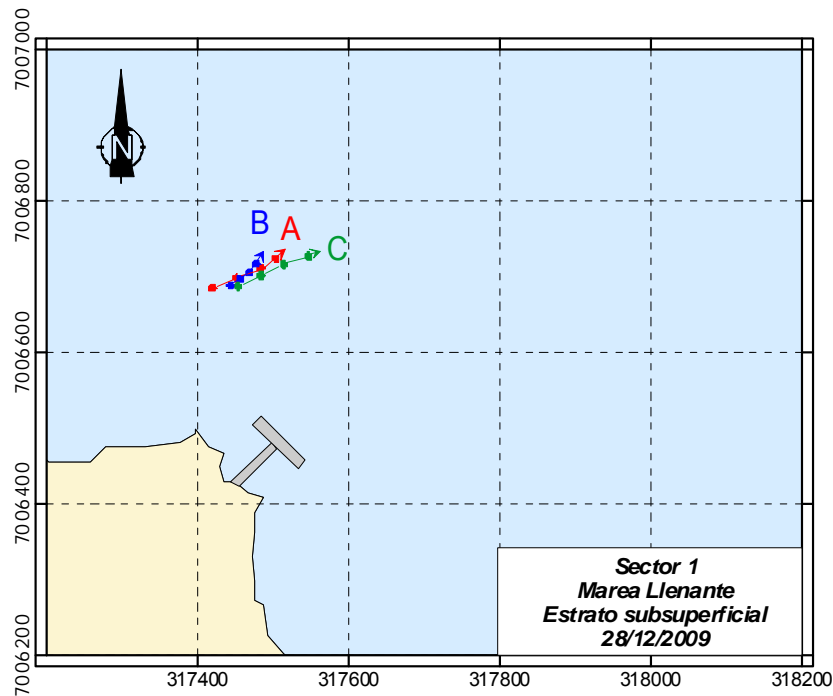
**Tabla 5.9-17**  
**Estadística de los Experimentos con Derivadores Realizados en el Sector 1, en Condiciones de Marea Llenante. Derivadores Superficiales (1, 2 y 3) y Estrato de 8 m (A, B y C). (28/12/2009).**

Derivador	Distancia (m)	Dirección (°)	Rapidez ( $\text{m s}^{-1}$ )	Componente este-oeste ( $\text{m s}^{-1}$ )	Componente norte-sur ( $\text{m s}^{-1}$ )
1	462	87	0.249	0.248	0.013
2	447	86	0.241	0.240	0.017
3	441	88	0.237	0.237	0.008
Promedio	450.3		0.242	0.242	0.013
D. estándar	10.9		0.006	0.006	0.004

Derivador	Distancia (m)	Dirección (°)	Rapidez (m s <sup>-1</sup> )	Componente este-oeste (m s <sup>-1</sup> )	Componente norte-sur (m s <sup>-1</sup> )
A	93	60	0.044	0.038	0.022
B	45	42	0.021	0.014	0.016
C	101	65	0.048	0.044	0.020
Promedio	79.5		0.038	0.032	0.019
D. estándar	30.5		0.015	0.016	0.003

**Figura 5.9-28**  
**Experimentos Lagrangianos Realizados en Condiciones de Marea Llenante Durante el 28/12/2009.**





b.2) Sector 2

- Campaña invernal

Las experiencias lagrangianas en marea vaciante se desarrollaron en horas de la mañana del 14 de Septiembre de 2009, en presencia de bajas intensidades de viento ( $1$  a  $2 \text{ m s}^{-1}$ ) procedente del WSW.

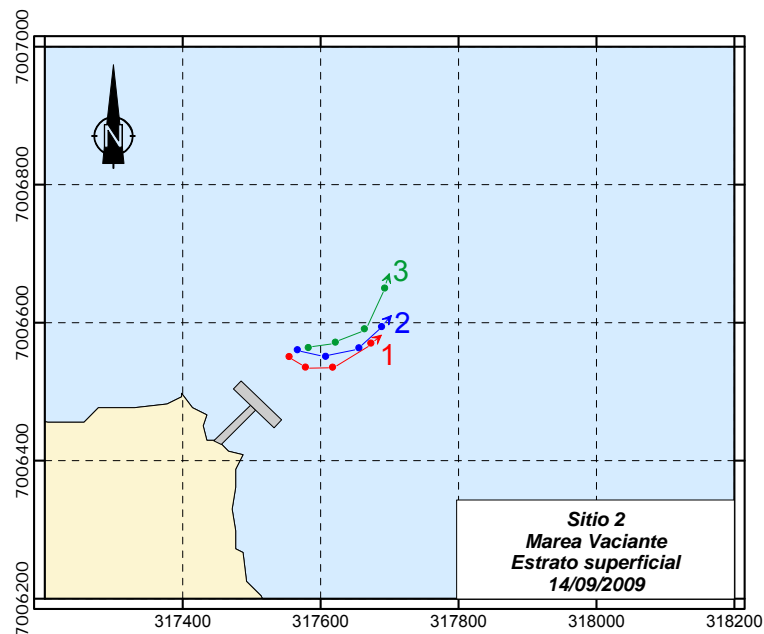
Bajo esta condición mareal, las corrientes observadas establecen que el estrato superficial evidenció trayectorias dirigidas hacia el NE y NNE, describiendo un desplazamiento promedio de  $129,1 \pm 10,3 \text{ m}$ . Durante este período, se verificó una rapidez promedio  $0,047 \pm 0,004 \text{ m s}^{-1}$  (**Tabla 5.9-18; Figura 5.9-29**).

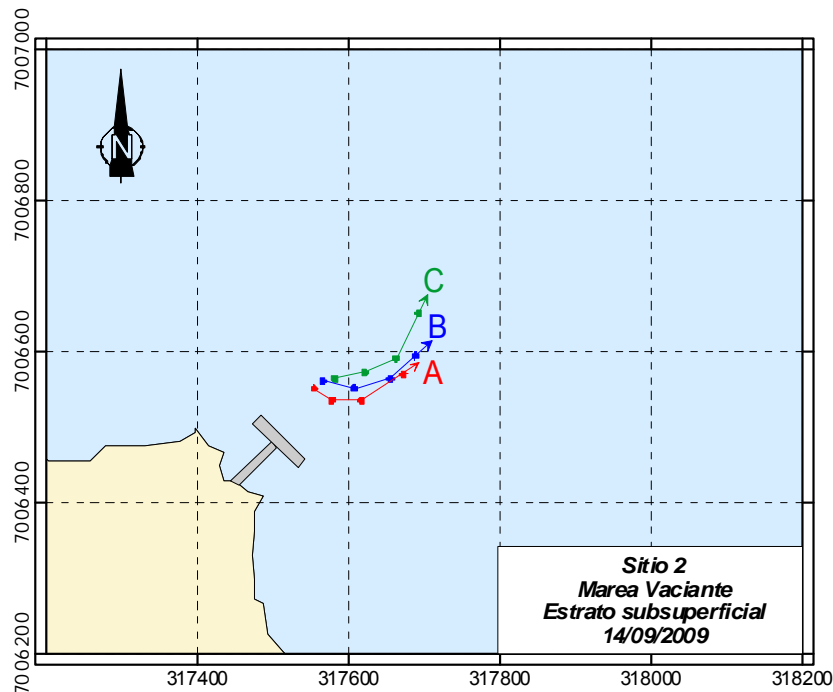
El estrato subsuperficial (8 m), por su parte, presentó trayectorias dirigidas hacia E, describiendo velocidades y desplazamientos menores a los descritos para el estrato superficial (desplazamiento=  $70,4 \pm 1,7 \text{ m}$ ; rapidez =  $0,027 \pm 0,001 \text{ m s}^{-1}$ ) (**Tabla 5.9-18; Figura 5.9-29**).

**Tabla 5.9-18**  
**Estadística de los Experimentos con Derivadores Realizados en el Sector 2, en**  
**Condiciones de Marea vaclante. Derivadores Superficiales (1, 2 y 3) y Estrato de 8 m**  
**(A, B y C). (14/09/2009).**

Derivador	Distancia (m)	Dirección (°)	Rapidez (m s <sup>-1</sup> )	Componente este-oeste (m s <sup>-1</sup> )	Componente norte-sur (m s <sup>-1</sup> )
1	120	77	0,044	0,042	0,010
2	127	75	0,047	0,045	0,012
3	140	52	0,052	0,041	0,032
Promedio	129,1		0,047	0,043	0,018
D. estándar	10,3		0,004	0,002	0,012
Derivador	Distancia (m)	Dirección (°)	Rapidez (m s <sup>-1</sup> )	Componente este-oeste (m s <sup>-1</sup> )	Componente norte-sur (m s <sup>-1</sup> )
A	71	92	0,027	0,027	-0,001
B	69	95	0,027	0,027	-0,002
C	72	80	0,028	0,027	0,005
Promedio	70,4		0,027	0,027	0,001
D. estándar	1,7		0,001	0,001	0,004

**Figura 5.9-29**  
**Experimentos Lagrangianos Realizados en Condiciones de Marea Vaciente Durante el**  
**14/09/2009.**





En marea llenante, las actividades lagrangianas fueron realizadas en condiciones de viento de intensidad moderada ( $3 \text{ a } 4 \text{ m s}^{-1}$ ) procedente del SW.

Bajo condiciones de marea llenante las condiciones dinámicas en el estrato superficial establecieron flujos principalmente dirigidos hacia el NE, con una rapidez promedio de  $0,159 \text{ m s}^{-1}$  y un desplazamiento promedio de  $387,7 \pm 3,8 \text{ m}$  (Tabla 5.9-19; Figura 5.9-30).

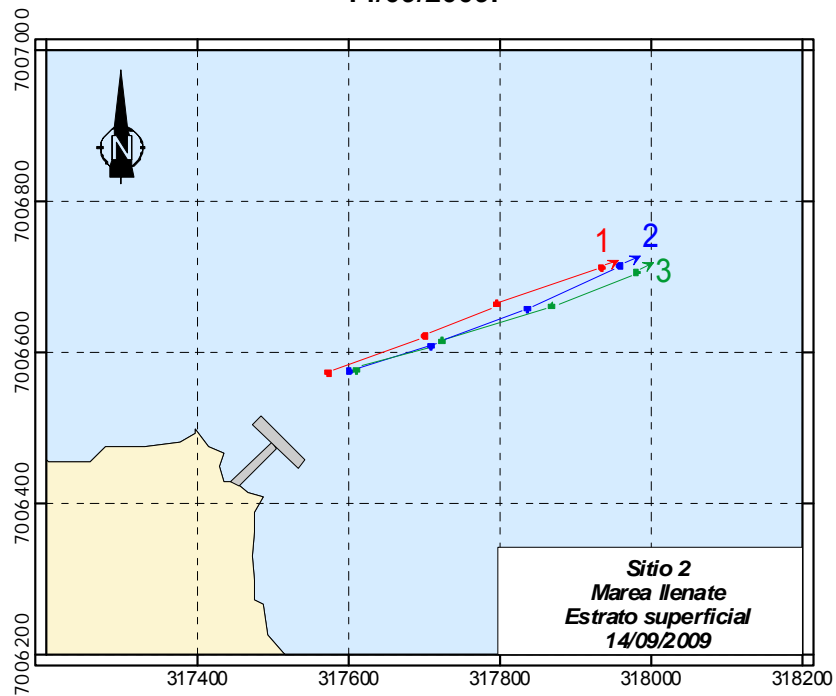
Asimismo, en el estrato subsuperficial bajo las mismas condiciones mareales (llenante), las aguas de este estrato (8 m) describieron trayectorias dirigidas hacia el ESE, donde tanto las magnitudes en los desplazamientos descritos por los derivadores (promedio=  $59,5 \pm 35,1 \text{ m}$ ) así como la rapidez (promedio=  $0,022 \pm 0,012 \text{ m s}^{-1}$ ) fueron significativamente menores a los observados en el estrato superficial (Tabla 5.9-19; Figura 5.9-30).

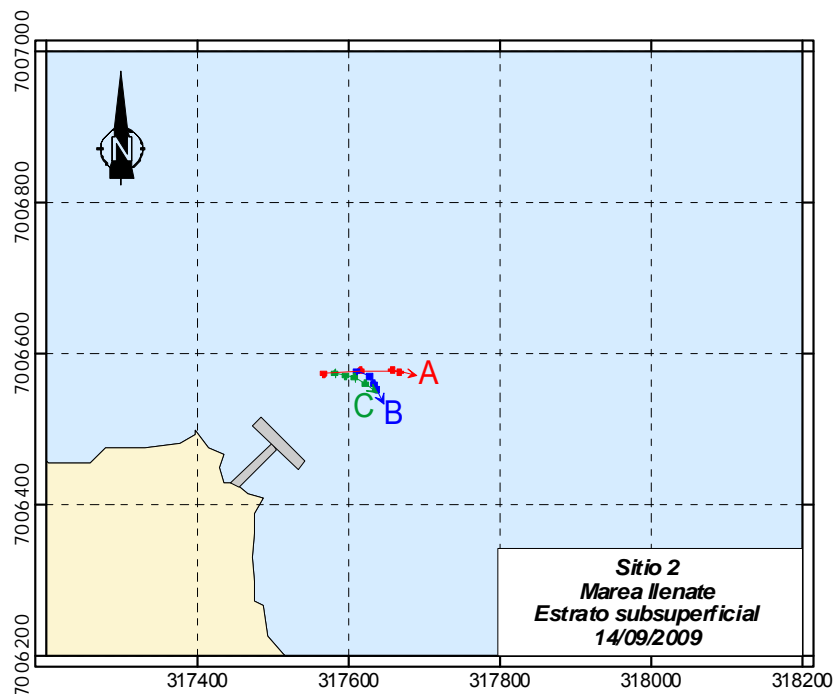
**Tabla 5.9-19**  
**Estadística de los experimentos con derivadores realizados en el Sector 2, en condiciones de marea llenante. Derivadores superficiales (1, 2 y 3) y estrato de 8 m (A, B y C). (14/09/2009).**

Derivador	Distancia (m)	Dirección (°)	Rapidez ( $\text{m s}^{-1}$ )	Componente este-oeste ( $\text{m s}^{-1}$ )	Componente norte-sur ( $\text{m s}^{-1}$ )
1	387	68	0,150	0,139	0,056
2	385	68	0,160	0,149	0,060
3	392	70	0,167	0,157	0,057
Promedio	387,7		0,159	0,148	0,058
D. estándar	3,8		0,009	0,009	0,002
A	100	88	0,035	0,035	0,001
B	37	135	0,014	0,010	-0,010
C	42	112	0,016	0,014	-0,006

Derivador	Distancia (m)	Dirección (°)	Rapidez (m s <sup>-1</sup> )	Componente este-oeste (m s <sup>-1</sup> )	Componente norte-sur (m s <sup>-1</sup> )
Promedio	59,5		0,022	0,020	-0,005
D. estándar	35,1		0,012	0,014	0,006

**Figura 5.9- 30**  
**Experimentos Lagrangianos Realizados en Condiciones de Marea Llenante Durante el 14/09/2009.**





- Campaña estival

Durante el la campaña de verano, el sector 2 bajo condiciones de marea vaciante presentó intensidades moderadas de viento ( $5 \text{ ms}^{-1}$ ) procedente del W.

El estrato superficial presentó flujos dirigidos hacia el E, describiendo un desplazamiento promedio de  $171,7 \pm 9,7 \text{ m}$ , registrándose una rapidez promedio asociada de  $0,072 \pm 0,004 \text{ m s}^{-1}$  (Tabla 5.9-20; Figura 5.9- 31).

Hacia el estrato subsuperficial (8 m), se verificó un flujo con la misma dirección que el descrito para el estrato superficial, pero de menor magnitud, estableciendo velocidades y desplazamientos menores a los descritos para el estrato superficial (desplazamiento=  $96,2 \pm 1,3 \text{ m}$ ; rapidez =  $0,037 \pm 0,001 \text{ m s}^{-1}$ ) (Tabla 5.9-20; Figura 5.9- 31).

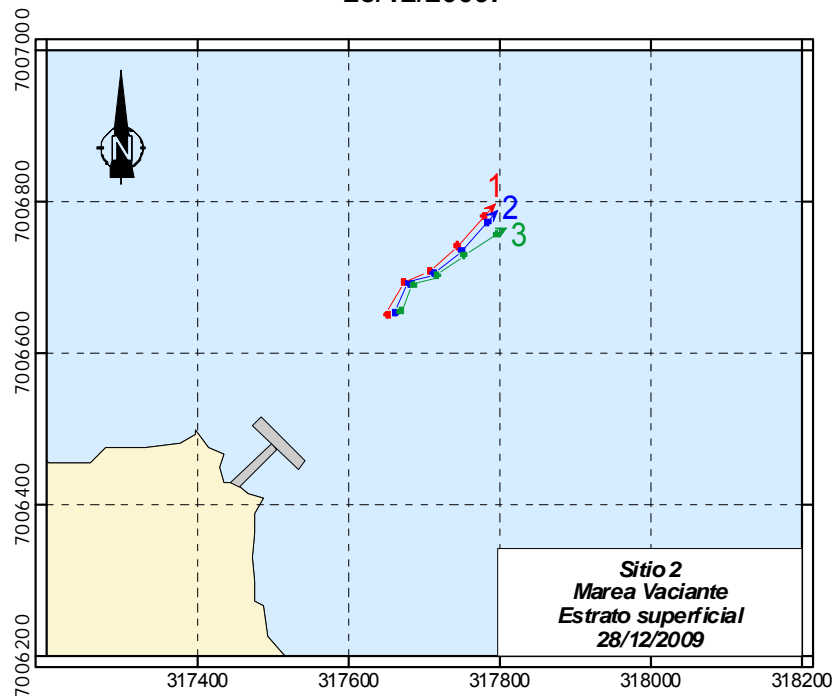
**Tabla 5.9-20**  
**Estadística de los experimentos con derivadores realizados en el Sector 2, en condiciones de marea vaciante. Derivadores superficiales (1, 2 y 3) y estrato de 8 m (A, B y C). (28/12/2009).**

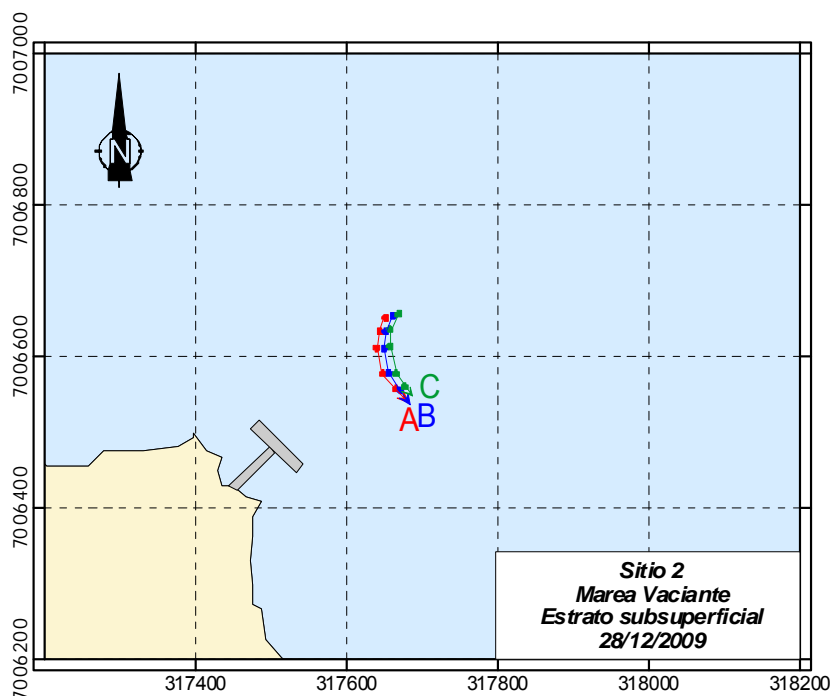
Derivador	Distancia (m)	Dirección (°)	Rapidez ( $\text{m s}^{-1}$ )	Componente este-oeste ( $\text{m s}^{-1}$ )	Componente norte-sur ( $\text{m s}^{-1}$ )
1	182	94	0.076	0.076	-0.005
2	171	93	0.071	0.071	-0.004
3	162	91	0.068	0.068	-0.001
Promedio	171.7		0.072	0.071	-0.003
D. estándar	9.7		0.004	0.004	0.002



Derivador	Distancia (m)	Dirección (°)	Rapidez (m s <sup>-1</sup> )	Componente este-oeste (m s <sup>-1</sup> )	Componente norte-sur (m s <sup>-1</sup> )
A	95	85	0.037	0.037	0.003
B	97	88	0.038	0.038	0.001
C	96	88	0.037	0.037	0.001
Promedio	96.2		0.037	0.037	0.002
D. estándar	1.3		0.000	0.001	0.001

**Figura 5.9-31**  
**Experimentos Lagrangianos Realizados en Condiciones de Marea Vaciente Durante el 28/12/2009.**





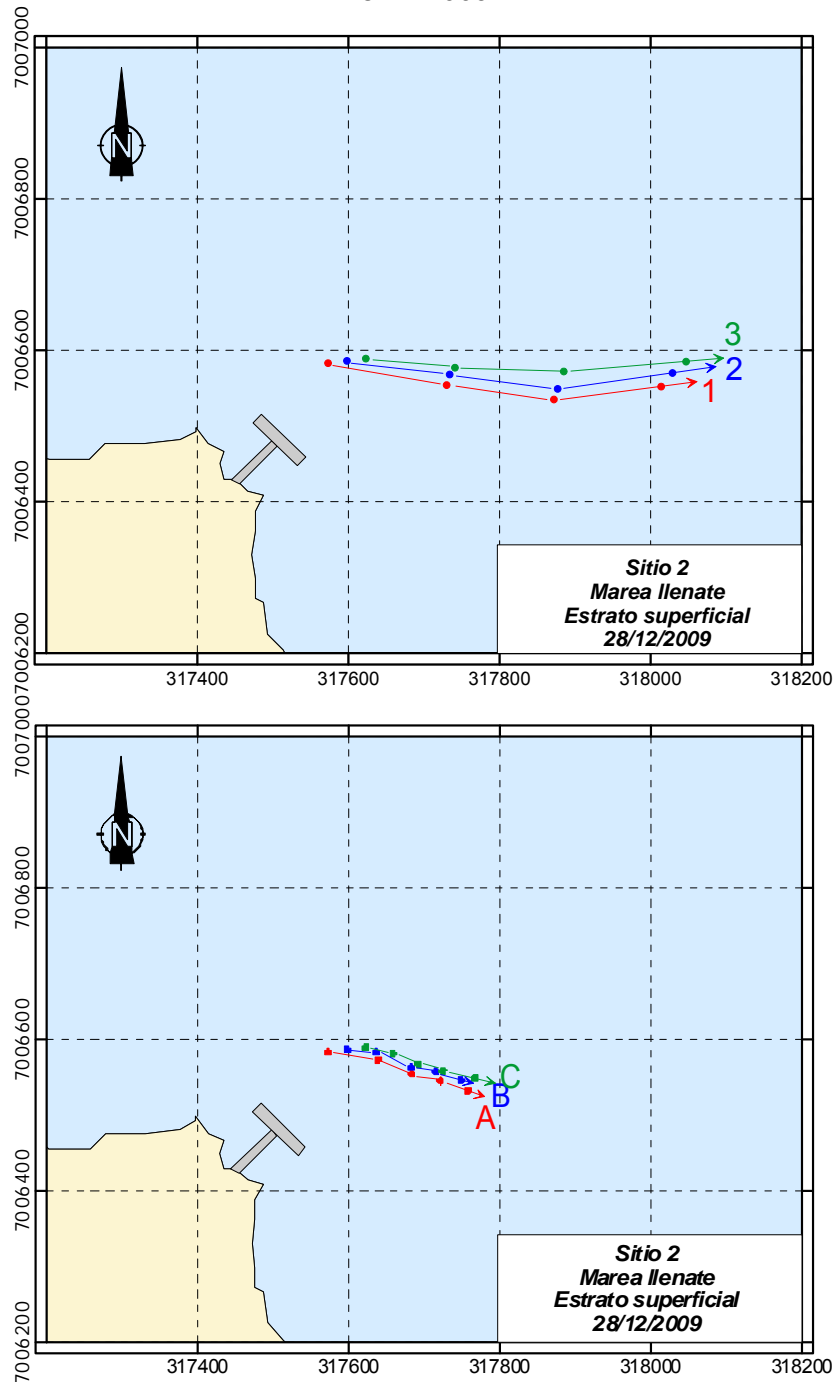
Bajo condiciones de marea llenante, el agua superficial del sector 2 presentó flujos dirigidos hacia el NE, describiendo un desplazamiento promedio de  $432,5 \pm 9,1$  m, registrándose una rapidez promedio asociada de  $0,240 \pm 0,005$  m s<sup>-1</sup> (Tabla 5.9-21; Figura 5.9-32).

En el estrato de 8 m, se verificó un flujo hacia el NNW, estableciendo velocidades y desplazamientos menores a los descritos para el estrato superficial (desplazamiento=  $127,2 \pm 24,2$  m; rapidez =  $0,048 \pm 0,009$  m s<sup>-1</sup>) (Tabla 5.9-21; Figura 5.9-32).

**Tabla 5.9-21**  
**Estadística de los experimentos con derivadores realizados en el Sector 2, en condiciones de marea llenante. Derivadores superficiales (1, 2 y 3) y estrato de 8 m (A, B y C). (28/12/2009).**

Derivador	Distancia (m)	Dirección (°)	Rapidez (m s <sup>-1</sup> )	Componente este-oeste (m s <sup>-1</sup> )	Componente norte-sur (m s <sup>-1</sup> )
1	442	43	0.246	0.168	0.180
2	431	46	0.240	0.172	0.166
3	424	52	0.236	0.186	0.145
Promedio	432.5		0.240	0.175	0.164
D. estándar	9.1		0.005	0.009	0.017
A	154	349	0.058	-0.011	0.057
B	122	352	0.046	-0.006	0.046
C	106	350	0.040	-0.007	0.040
Promedio	127.2		0.048	-0.008	0.047
D. estándar	24.2		0.009	0.003	0.009

**Figura 5.9-32**  
**Experimentos Lagrangianos Realizados en Condiciones de Marea Llenante Durante el 28/12/2009.**



b.3) Sector 3

- Campaña invernal

Las experiencias lagrangianas realizadas en el sector 3, se desarrollaron con bajas intensidades de viento ( $1$  a  $2 \text{ ms}^{-1}$ ), lo cuales procedieron desde el WSW.

Durante la marea vaciante, se registró corrientes superficiales dirigidas hacia el ENE, con un desplazamiento promedio de  $207,6 \pm 9,0 \text{ m}$ , donde los derivadores desarrollaron una rapidez promedio  $0,076 \pm 0,002 \text{ m s}^{-1}$  (**Tabla 5.9-22; Figura 5.9-33**).

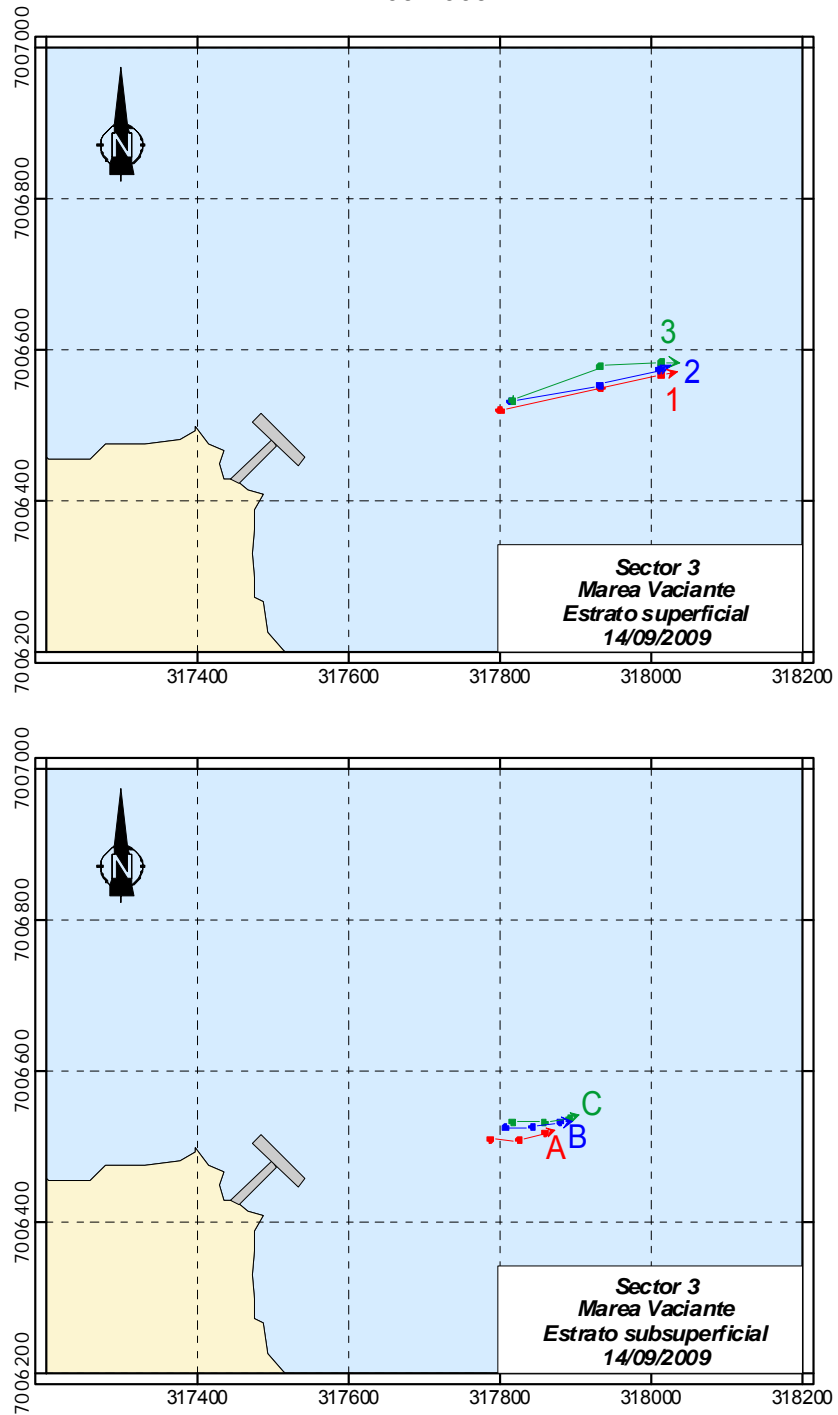
El estrato subsuperficial ( $8 \text{ m}$ ), por su parte, presentó trayectorias dirigidas hacia E, describiendo velocidades y desplazamientos menores a los señalados para el estrato superficial (desplazamiento=  $73,9 \pm 1,6 \text{ m}$ ; rapidez =  $0,029 \pm 0,001 \text{ m s}^{-1}$ ) (**Tabla 5.9-22; Figura 5.9-33**).

**Tabla 5.9-22**

**Estadística de los experimentos con derivadores realizados en el Sector 3, en condiciones de marea vaciante. Derivadores superficiales (1, 2 y 3) y estrato de 8 m (A, B y C) (D, E y F). (14/09/2009).**

Derivador	Distancia (m)	Dirección (°)	Rapidez ( $\text{m s}^{-1}$ )	Componente este-oeste ( $\text{m s}^{-1}$ )	Componente norte-sur ( $\text{m s}^{-1}$ )
1	218	79	0,079	0,077	0,015
2	202	79	0,075	0,073	0,014
3	203	76	0,075	0,073	0,018
Promedio	207,6		0,076	0,075	0,016
D. estándar	9,0		0,002	0,003	0,002
A	73	81	0,028	0,028	0,004
B	73	83	0,028	0,028	0,003
C	76	86	0,029	0,029	0,002
Promedio	73,9		0,029	0,028	0,003
D. estándar	1,6		0,001	0,001	0,001

**Figura 5.9-33**  
**Experimentos Lagrangianos Realizados en Condiciones de Marea Vaciante Durante el 14/09/2009.**



En marea llenante, las actividades lagrangianas se desarrollaron con vientos precedentes del SW y de moderada intensidad ( $3$  a  $4 \text{ ms}^{-1}$ ).

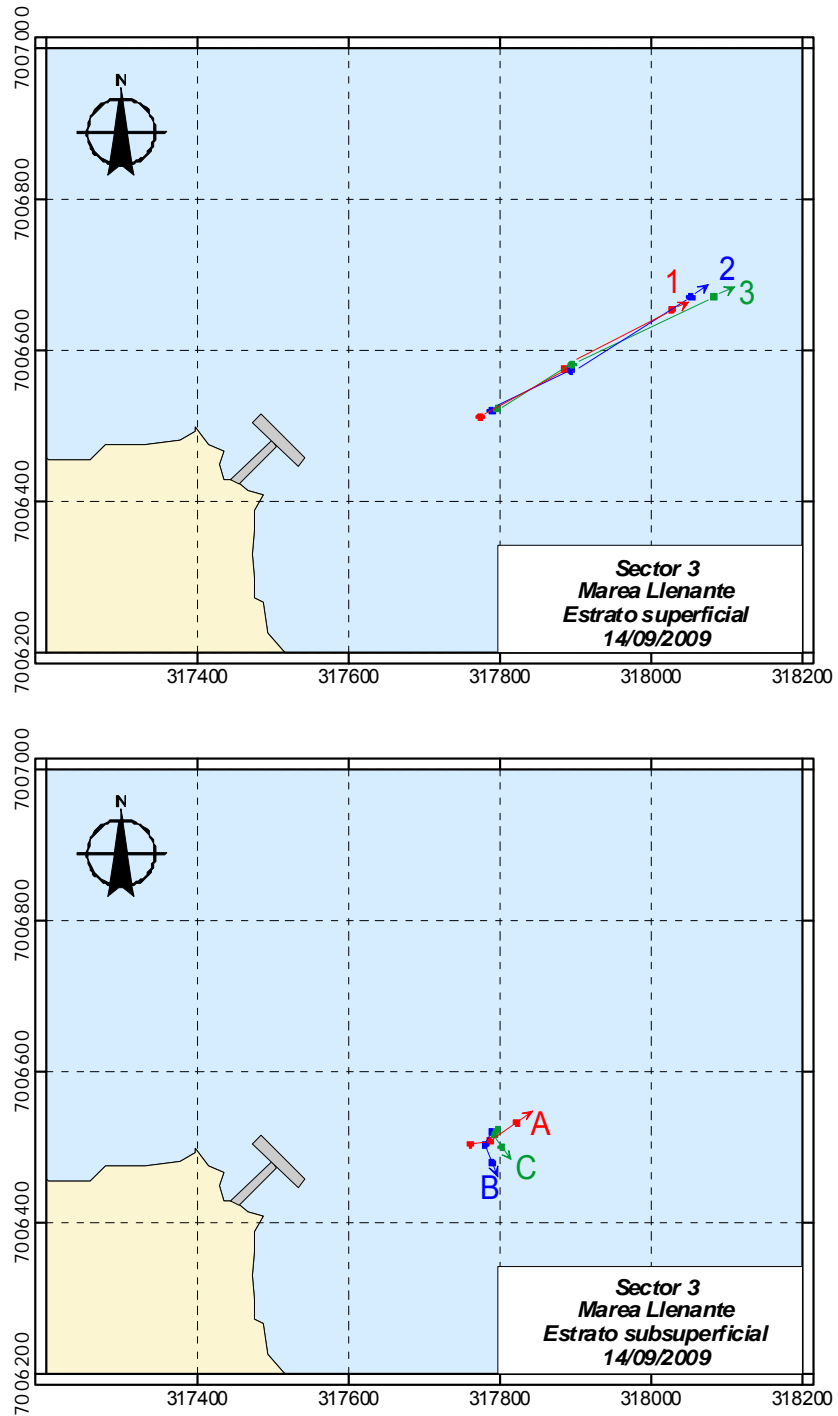
Bajo condiciones de marea llenante las condiciones dinámicas en el estrato superficial establecieron flujos principalmente dirigidos hacia el NE, con una rapidez promedio de  $0,135 \text{ m s}^{-1}$  y un desplazamiento promedio de  $305,3 \pm 16,3 \text{ m}$  (**Tabla 5.9-23; Figura 5.9-34**).

Asimismo, en el estrato subsuperficial bajo las mismas condiciones mareales (llenante), las aguas de este estrato ( $8 \text{ m}$ ) describieron trayectorias dirigidas hacia el S, donde tanto las magnitudes en los desplazamientos descritos por los derivadores (promedio=  $43,9 \pm 22,4 \text{ m}$ ) así como la rapidez (promedio=  $0,019 \pm 0,009 \text{ m s}^{-1}$ ) fueron significativamente menores a los observados en el estrato superficial (**Tabla 5.9-23; Figura 5.9-34**).

**Tabla 5.9-23**  
**Estadística de los Experimentos con Derivadores Realizados en el Sector 3, en**  
**Condiciones de Marea Llenante. Derivadores Superficiales (1, 2 y 3) y estrato de 8 m**  
**(A, B y C). (14/09/2009).**

Derivador	Distancia (m)	Dirección (°)	Rapidez ( $\text{m s}^{-1}$ )	Componente este-oeste ( $\text{m s}^{-1}$ )	Componente norte-sur ( $\text{m s}^{-1}$ )
1	290	60	0,138	0,120	0,069
2	304	60	0,149	0,129	0,074
3	322	63	0,119	0,106	0,054
Promedio	305,3		0,135	0,118	0,066
D. estándar	16,3		0,015	0,011	0,010
A	68	62	0,028	0,024	0,013
B	40	175	0,018	0,002	-0,018
C	24	165	0,010	0,003	-0,010
Promedio	43,9		0,019	0,010	-0,005
D. estándar	22,4		0,009	0,013	0,016

**Figura 5.9-34**  
**Experimentos Lagrangianos Realizados en Condiciones de Marea Llenante Durante el 14/09/2009.**



- Campaña estival

La campaña estival realizada durante la mañana del 28 de Diciembre de 2009 bajo condiciones de marea vaciante se desarrollaron en presencia de intensidades moderadas de viento ( $5 \text{ ms}^{-1}$ ) procedente de WSW.

El sector 3 durante este periodo presentó flujos dirigidos hacia el E, describiendo un desplazamiento promedio de  $177,0 \pm 9,7 \text{ m}$ , registrándose una rapidez promedio asociada de  $0,092 \pm 0,005 \text{ m s}^{-1}$  (Tabla 5.9-24; Figura 5.9-35).

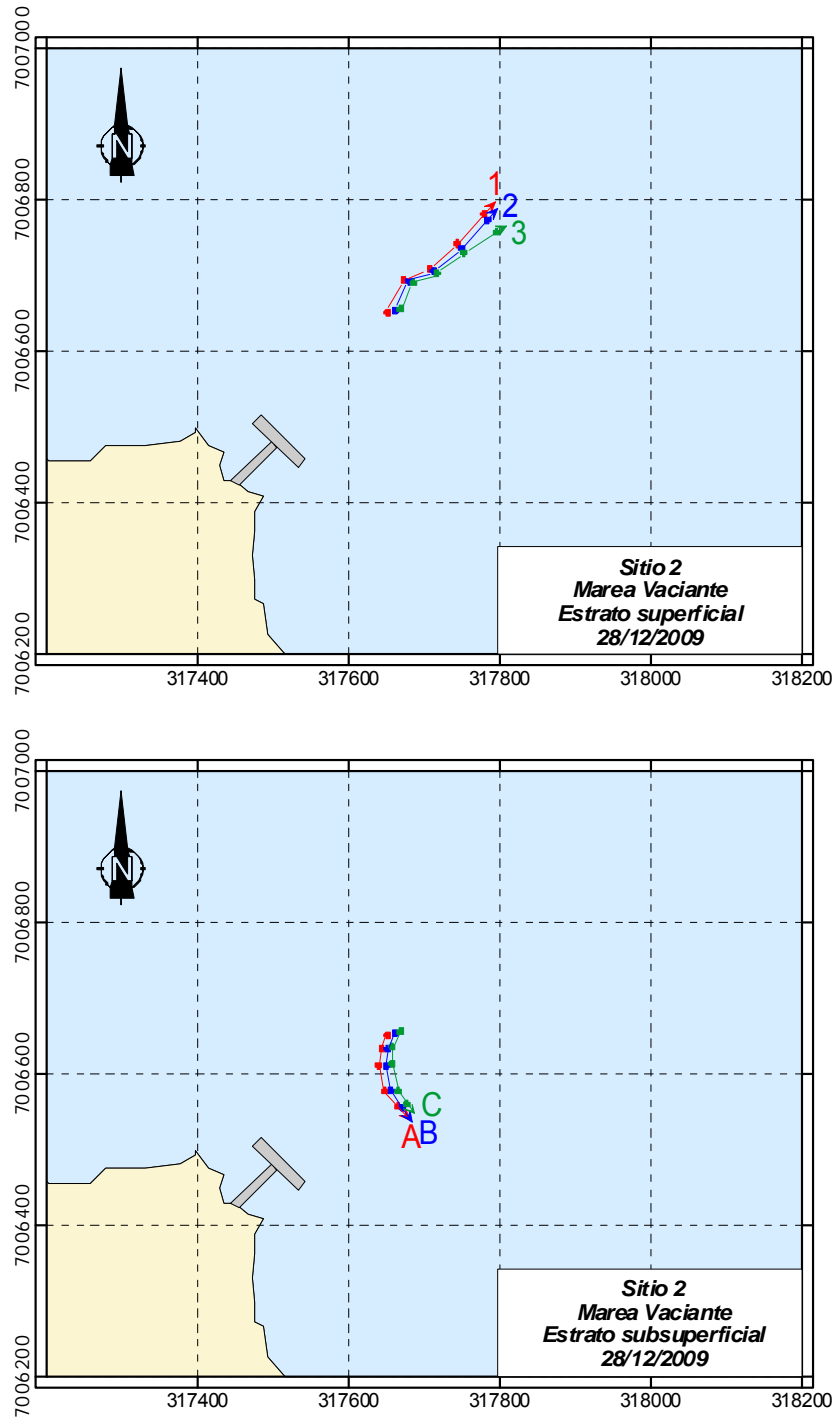
En el estrato de 8 m, se verificó un flujo hacia el ENE, estableciendo velocidades y desplazamientos menores a los descritos para el estrato superficial (desplazamiento=  $61,7 \pm 1,1 \text{ m}$ ; rapidez =  $0,030 \pm 0,001 \text{ m s}^{-1}$ ) (Tabla 5.9-24; Figura 5.9-35).

**Tabla 5.9-24**  
**Estadística de los Experimentos con Derivadores Realizados en el Sector 3, en**  
**Condiciones de Marea Vaciante. Derivadores Superficiales (1, 2 y 3) y Estrato de 8 m**  
**(A, B y C). (28/12/2009).**

Derivador	Distancia (m)	Dirección (°)	Rapidez ( $\text{m s}^{-1}$ )	Componente este-oeste ( $\text{m s}^{-1}$ )	Componente norte-sur ( $\text{m s}^{-1}$ )
1	187	88	0.097	0.097	0.003
2	167	89	0.087	0.087	0.002
3	177	88	0.092	0.092	0.003
Promedio	177.0		0.092	0.092	0.003
D. estándar	9.7		0.005	0.005	0.001
Derivador	Distancia (m)	Dirección (°)	Rapidez ( $\text{m s}^{-1}$ )	Componente este-oeste ( $\text{m s}^{-1}$ )	Componente norte-sur ( $\text{m s}^{-1}$ )
A	62	60	0.031	0.026	0.015
B	62	71	0.031	0.029	0.010
C	60	52	0.030	0.023	0.018
Promedio	61.7		0.030	0.026	0.014
D. estándar	1.1		0.001	0.003	0.004



**Figura 5.9-35**  
**Experimentos Lagrangianos Realizados en Condiciones de Marea Vaciante Durante el**  
**28/12/2009.**



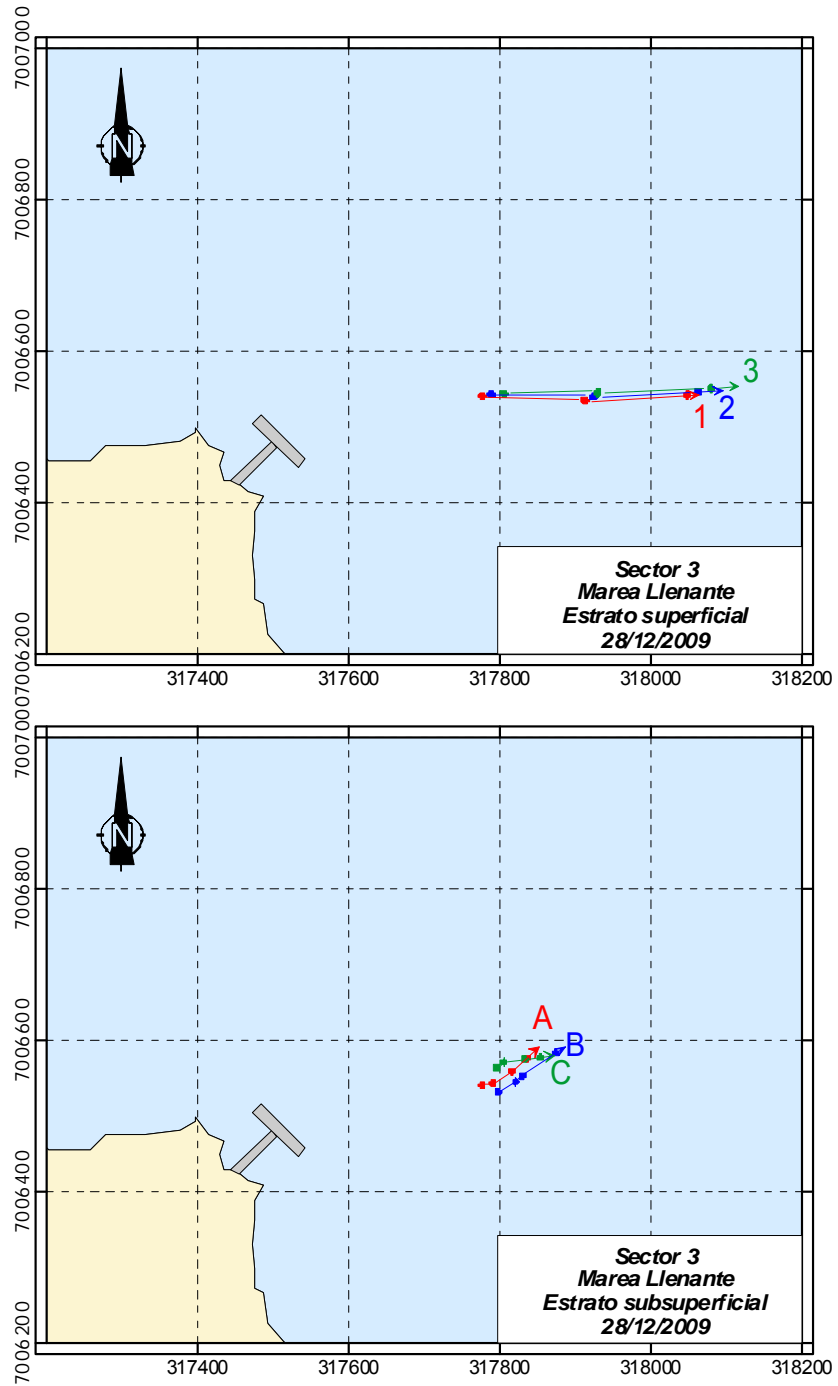
Bajo condiciones de marea llenante, el agua superficial del sector 3 presentó flujos dirigidos hacia el NE, describiendo un desplazamiento promedio de  $490,8 \pm 49,4$  m, registrándose una rapidez promedio asociada de  $0,273 \pm 0,027$  m s<sup>-1</sup> (Tabla 5.9-25; Figura 5.9-36).

En el estrato de 8 m, se verificó un flujo con dirección ENE, donde se verificaron menores magnitudes de velocidad y desplazamiento respecto del estrato superficial (desplazamiento=  $81,9 \pm 10,1$  m; rapidez =  $0,037 \pm 0,005$  m s<sup>-1</sup>) (Tabla 5.9-25; Figura 5.9-36).

**Tabla 5.9-25**  
**Estadística de los Experimentos con Derivadores Realizados en el Sector 3, en**  
**Condiciones de Marea Llenante. Derivadores Superficiales (1, 2 y 3) y Estrato de 8 m**  
**(A, B y C). (28/12/2009).**

Derivador	Distancia (m)	Dirección (°)	Rapidez (m s <sup>-1</sup> )	Componente este-oeste (m s <sup>-1</sup> )	Componente norte-sur (m s <sup>-1</sup> )
1	543	44	0.302	0.210	0.217
2	445	50	0.247	0.189	0.159
3	484	50	0.269	0.206	0.173
Promedio	490.8		0.273	0.202	0.183
D. estándar	49.4		0.027	0.011	0.030
Derivador	Distancia (m)	Dirección (°)	Rapidez (m s <sup>-1</sup> )	Componente este-oeste (m s <sup>-1</sup> )	Componente norte-sur (m s <sup>-1</sup> )
A	73	70	0.033	0.031	0.011
B	93	72	0.042	0.040	0.013
C	79	72	0.036	0.034	0.011
Promedio	81.9		0.037	0.035	0.012
D. estándar	10.1		0.005	0.004	0.001

**Figura 5.9-36**  
**Experimentos Lagrangianos Realizados en Condiciones de Marea Llenante Durante el 28/12/2009.**

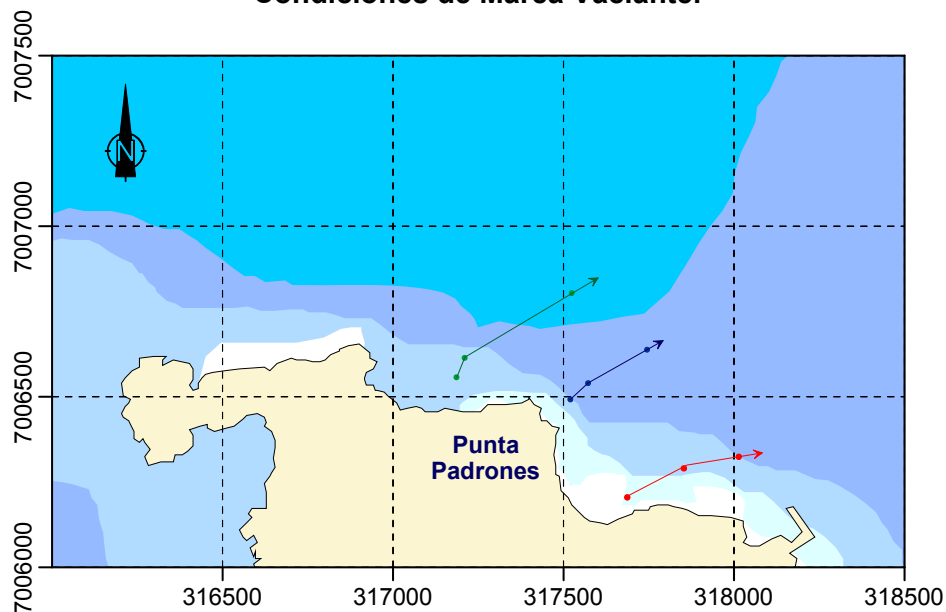


## c) Deriva litoral

El estudio de deriva litoral realizado en el sector de Puerto Padrones fue realizado el día 15 de abril de 2010, en ambas fases de mareas.

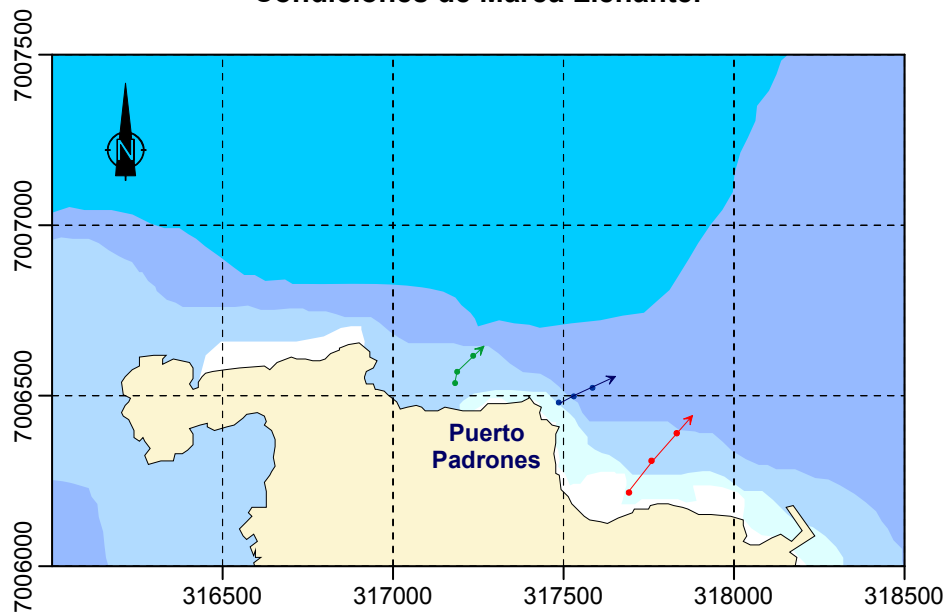
Bajo condiciones de marea vaciante, las botellas de deriva presentaron un flujo dirigido hacia el ENE (**Figura 5.9-37**), describiendo una velocidad promedio de  $0,112 \pm 0,057$  m/s, con una distancia recorrida de 344 m en el lapso de tiempo que involucró el seguimiento.

**Figura 5.9-37**  
**Desplazamiento de las Botellas de Deriva en el Sector del Futuro Emisario, Bajo Condiciones de Marea Vaciente.**



Durante la marea llenante, las botellas de deriva incorporadas al sector costero frente a Puerto Padrones, presentaron un flujo dirigido hacia el NE y ENE, esto es hacia el centro de la bahía (**Figura 5.9-38**). El flujo descrito por las botellas presentó una velocidad promedio de  $0,165 \pm 0,034$  m/s, donde las botellas recorrieron en promedio, una distancia de 142 m en el lapso de tiempo que involucró el seguimiento.

**Figura 5.9-38**  
**Desplazamiento de las Botellas de Deriva en el Sector del Futuro Emisario, Bajo**  
**Condiciones de Marea Llenante.**

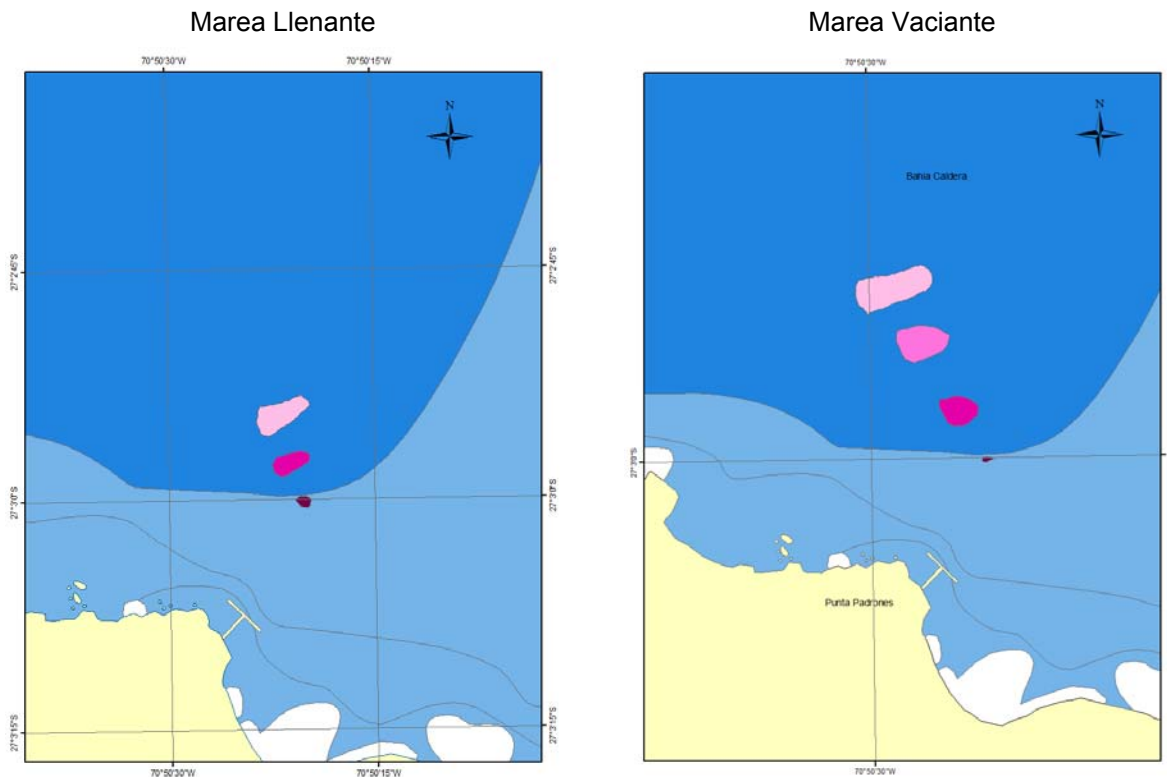


**d) Dispersión con Trazador Químico**

En la condición de marea llenante, el desplazamiento de la mancha de rodamina evidenció una dirección neta en sentido NNO (nornoroeste), registrando una rapidez de 5,6 m/min, desplazándose alrededor de 415 m hasta desaparecer. Desde el punto de vista de la dispersión, los valores fluctuaron entre 2,3 y 2,5  $\text{m}^2/\text{s}$ , con un promedio de 2,4  $\text{m}^2/\text{s}$  (**Figura 5.9-39a**).

En la condición de marea vaciante la trayectoria de la mancha tuvo un desplazamiento similar al de marea llenante; es decir, en dirección NO (noroeste), con una rapidez promedio de 7,9 m/min (**Figura 5.9-39b**). En esta condición mareal la dispersión fue bastante superior, con un promedio de 4,7  $\text{m}^2/\text{s}$  y un rango de fluctuación que varió entre 3,4 y 6,1  $\text{m}^2/\text{s}$ .

**Figura 5.9-39**  
**Diagrama de Area de la Mancha de Trazador (Rodamina  $\beta$ )**



Los valores de dispersión estimados presentaron dos situaciones distintas según la condición mareal. Por su parte, en llenante los registros evidenciaron valores moderados, mientras en la situación de vaciante los valores fueron altos.

En relación a las trayectorias netas, en ambas situaciones se evidenció trayectorias similares con tendencia a salir de la bahía. Al comparar los datos registrados de velocidad y dirección se evidencian registros similares a lo obtenido mediante metodologías eulerianas, tanto en la trayectoria en el estrato superficial como en la rapidez (ver Sección 5.9.3.1 de correntometría euleriana ADCP).

## e) Mareas y Olas

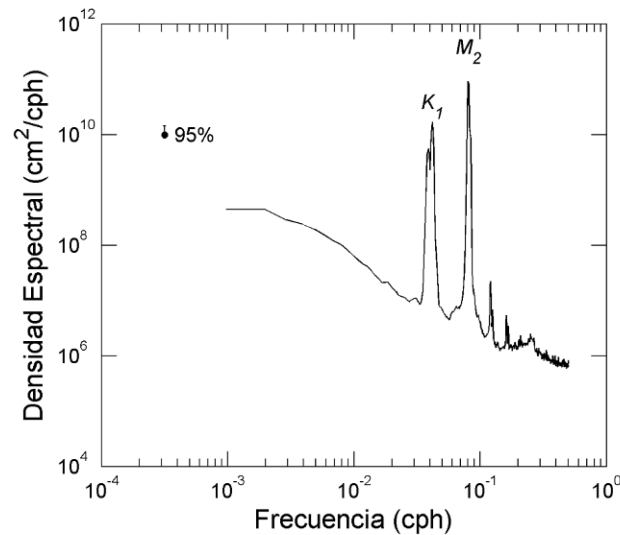
### e.1) Mareas

#### Marea Histórica

El registro histórico del nivel del mar, fue analizado en función del espectro de energía (**Figura 5.9-40**). Los resultados mostraron dos picos mayores de energía, en las bandas de frecuencia de 24 y 12 hrs. Estos picos de energía, corresponden a la componente diurna ( $K_1$ ) y semidiurna ( $M_2$ ) de la marea. Además, se observan dos picos de menor energía, pero significativos, los que reflejan las componentes de aguas someras.

En el sector de Caldera, durante el período de estudio (1980-1998), se observa un régimen de marea de 0.4, lo cual indica un régimen de marea mixto semidiurno, (Tabla 5.9-26).

**Figura 5.9-40**  
**Densidad Espectral de los Registros del Nivel del Mar (cm) en Caldera (400 grados de libertad)**



**Tabla 5.9-26**  
**Resultados del Análisis Armónico de Marea. Componentes Armónicas: M<sub>2</sub> (lunar semidiurna, 12.42 hrs), S<sub>2</sub> (solar semidiurna, 12.00 hrs), K<sub>1</sub> (solar diurna, 23.934 hrs), O<sub>1</sub> (lunar diurna, 25.819 hrs).**

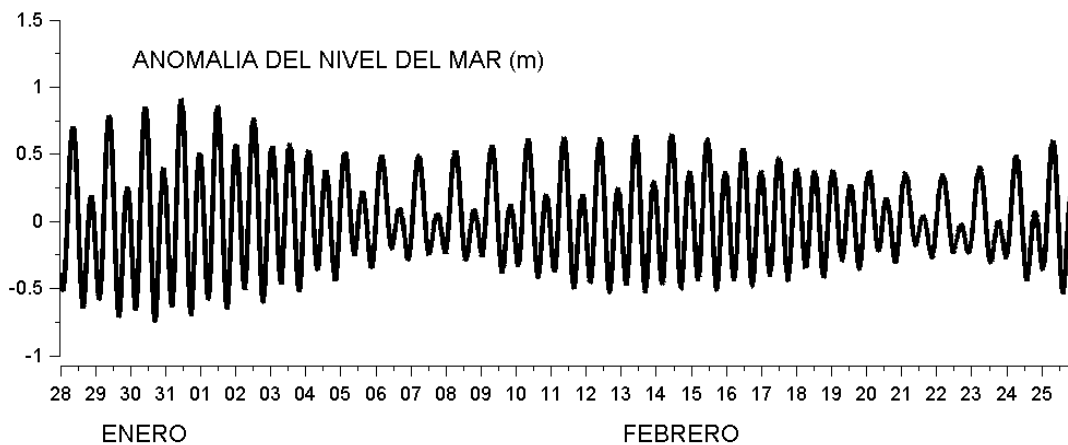
Año	M <sub>2</sub>		S <sub>2</sub>		O <sub>1</sub>		K <sub>1</sub>	
	Amplitud Cm	Fase Grados	Amplitud cm	Fase grados	Amplitud cm	Fase grados	Amplitud cm	Fase grados
1980	38.827	43.643	12.162	67.734	9.284	350.619	15.151	33.383
1981	39.130	43.896	11.992	66.905	9.148	349.724	15.219	34.449
1982	39.097	43.915	12.178	67.027	9.280	349.526	15.089	34.011
1983	39.373	45.726	12.108	69.504	9.261	350.728	15.270	35.126
1984	39.155	45.333	12.299	68.988	9.215	349.703	15.199	34.739
1985	39.091	44.526	12.294	67.601	9.366	350.155	15.264	34.869
1986	38.899	45.377	12.395	68.534	9.192	351.338	15.136	35.009
1987	37.521	46.378	12.042	70.203	8.959	350.972	14.573	35.776
1988	38.131	45.508	11.828	69.611	9.078	351.184	14.715	35.597
1989	38.158	44.556	11.701	68.722	9.150	350.308	14.734	35.166
1990	38.036	44.558	11.847	69.006	8.959	349.912	14.611	35.062
1991	38.645	43.131	12.115	69.442	9.150	349.465	14.857	33.769
1992	39.004	45.639	12.089	70.305	9.168	350.608	15.058	35.125
1993	38.895	43.905	12.250	68.242	9.085	350.492	14.893	34.752
1994	38.839	43.943	12.165	68.517	9.158	350.886	15.176	34.770

Año	M <sub>2</sub>		S <sub>2</sub>		O <sub>1</sub>		K <sub>1</sub>	
	Amplitud Cm	Fase Grados	Amplitud cm	Fase grados	Amplitud cm	Fase grados	Amplitud cm	Fase grados
1995	38.989	43.823	12.419	68.331	9.113	350.711	15.147	34.492
1996	38.994	44.065	12.247	68.020	9.232	351.403	15.243	34.853
1997	38.765	43.588	12.391	67.488	9.111	350.540	15.302	34.528
1998	38.939	43.998	12.191	68.685	9.271	349.190	15.281	34.724

### Marea In Situ

Las anomalías del nivel de mar, registrado *in situ*, por un período de un mes (**Figura 5.9-41**), confirma los resultados del espectro de los datos históricos, ya que muestran el dominio de las componentes semidiurna y diurna de la marea en el registro de nivel del mar.

**Figura 5.9-41.**  
Serie Temporal de Anomalia del Nivel del Mar en Bahía Caldera.

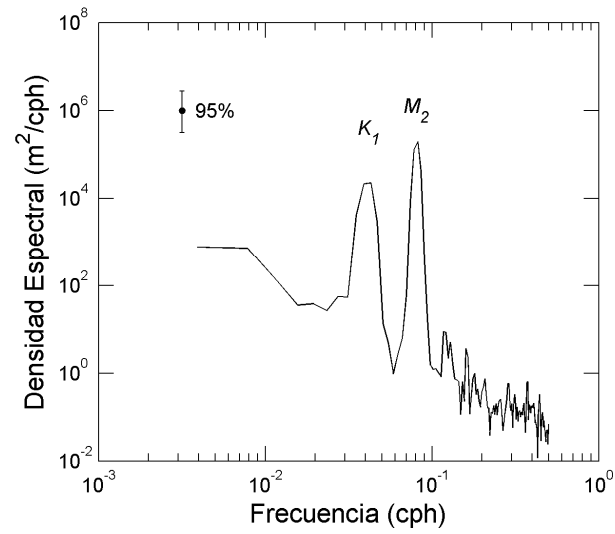


En la **Figura 5.9-42**, se muestra el análisis del nivel del mar *in situ*, en función del espectro energía. Al igual, que para el análisis histórico del nivel mar, se observan dos picos de mayor energía, en los períodos de 24 y 12 h. Estos picos son asociados a la componente de marea diurna y semidiurna, en el sector de Caldera.

El régimen de marea observado, a partir de los resultados r basados en el análisis de Foreman (**Tabla 5.9-27**), fue de 0,4, el cual muestra un régimen de marea mixto semidiurno.



**Figura 5.9-42.**  
**Análisis de Poder Espectral de la Anomalía del Nivel del Mar en Bahía Caldera.**



**Tabla 5.9-27**  
**Análisis de Foreman para la Anomalía del Nivel del Mar en Bahía Caldera.**

Tide	Freq	Amp	Amp_err	Pha	Pha_err	SNR
*MSF	0.0028219	27.149	2.071	155.45	43.72	1.7
*2Q1	0.0357064	0.4647	0.17	233.15	19.45	7.5
*Q1	0.0372185	21.607	0.17	268.74	4.18	1.60E+02
*O1	0.0387307	91.916	0.17	300.2	0.98	2.90E+03
*NO1	0.0402686	16.397	0.17	307.07	4.66	93
*K1	0.0417807	140.419	0.17	359.13	0.66	6.80E+03
*J1	0.0432929	14.085	0.17	37.1	6.46	69
*OO1	0.0448308	0.6645	0.17	40.27	10.76	15
UPS1	0.046343	0.0828	0.17	31.54	87.78	0.24
*N2	0.0789992	92.982	1.421	269.94	8.89	43
*M2	0.0805114	384.535	1.421	304.91	2.14	7.30E+02
*S2	0.0833333	164.039	1.421	336.73	4.96	1.30E+02
ETA2	0.0850736	0.3168	1.421	53.99	227.1	0.05
MO3	0.1192421	0.0478	0.054	68.63	61.14	0.77
*M3	0.1207671	0.5204	0.054	99.77	6.09	92
*MK3	0.1222921	0.0971	0.054	90.62	30.91	3.2
*SK3	0.1251141	0.3196	0.054	107.74	9.27	35
*MN4	0.1595106	0.1285	0.05	71.17	22.85	6.6
*M4	0.1610228	0.108	0.05	142.57	27.12	4.7
*MS4	0.1638447	0.0679	0.05	269.84	42.56	1.9
S4	0.1666667	0.0441	0.05	199.34	64.74	0.78
2MK5	0.2028035	0.0091	0.034	269.15	207.2	0.073
*2SK5	0.2084474	0.097	0.034	158.17	18.89	8.3
2MN6	0.2400221	0.005	0.036	107.92	430.39	0.019
M6	0.2415342	0.0083	0.036	291.91	256.41	0.054
*2MS6	0.2443561	0.103	0.036	50.24	20.46	8.2
*2SM6	0.2471781	0.0551	0.036	276.09	37.76	2.4
3MK7	0.2833149	0.0222	0.029	239.35	74.18	0.58
*M8	0.3220456	0.0284	0.025	135.32	52.98	1.3
*M10	0.402557	0.0266	0.025	212.25	57.32	1.1

nobs = 696, ngood = 695, record length (days) = 29.00. Start time: 28-Jan-2010 13:00:00. Rayleigh criterion = 1.0. Greenwich phase computed with nodal corrections applied to amplitude  $\ln$  and phase relative to center time.  $x_0 = -0.031$ ,  $x \text{ trend} = -1.31$ ,  $\text{var}(x) = 1097.8425$   $\text{var}(xp) = 1087.6713$   $\text{var}(xres) = 11.9918$ , percent var predicted/var original = 99.1 %. Tidal amplitude and phase with 95% CI estimates

e.2) Olas

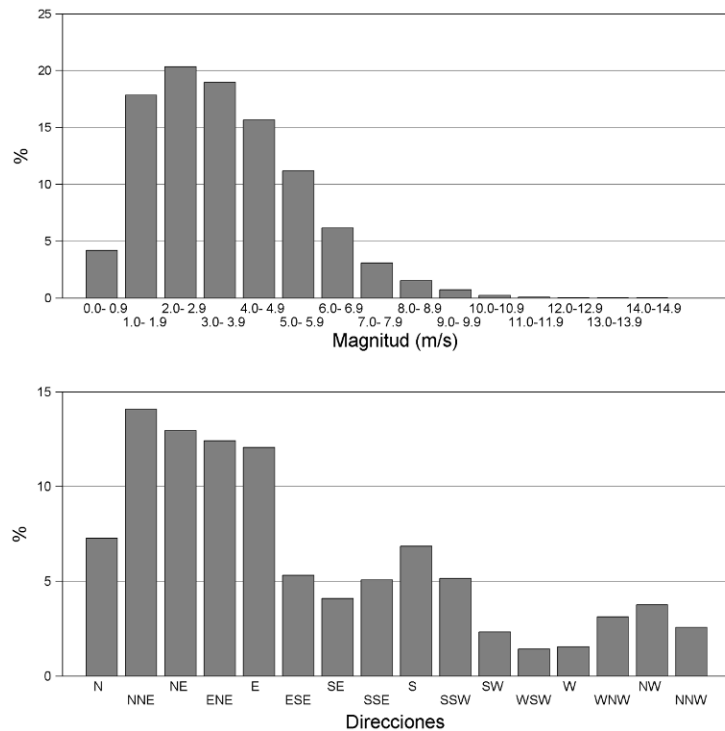
- **Análisis de vientos**

Los vientos medidos presentaron el predominio de la dirección hacia el NNE con un 14,09% de las observaciones, hacia el NE con un 12,96%, hacia el ENE con 12,41% y hacia el E con un 12,06% de las observaciones (**Figura 5.9-43**).

La mayor ocurrencia de magnitud se presentó en el rango de 2 a 2,9 m/s, con un 20,34%, seguida del rango 3 a 3.9 m/s (18,97% de las mediciones), y un 17,84% en el rango entre 1 a 1,9 m/s. El rango de 6 a 14,9.9 m/s agrupó un 11,8% de las observaciones (**Tabla 5.9-28, Figura 5.9-43**). Los mayores valores observados fueron cercanas a 14,9 m/s con una dirección hacia el Sur, pero con una representación de menos del 0.001% de las observaciones.

Los vientos registrados durante este período mostraron ser de mediana intensidad, donde solamente un 0,02 % de las observaciones fueron mayores a 12 m/s. Un 4,19% de las mediciones se ubicó en rangos menores a 0,9 m/s, es decir, calmas (**Tabla 5.9-28, Figura 5.9-43**).

**Figura 5.9-43**  
**Histograma de Magnitud y Dirección del Viento.**



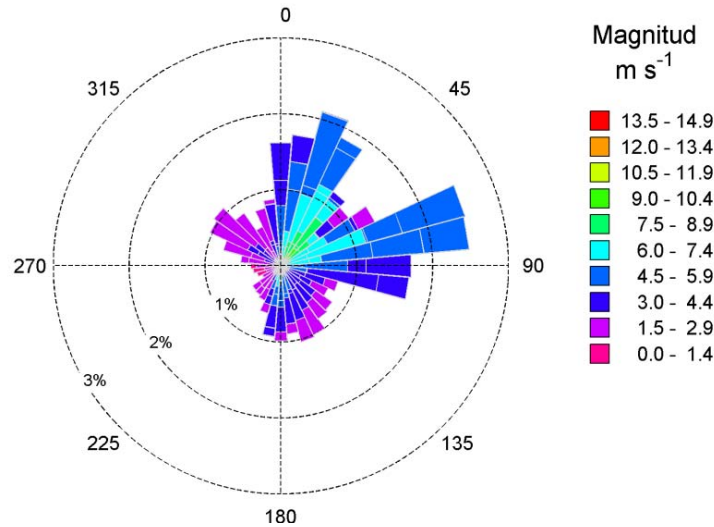
Nota: Las mediciones de viento fueron transformados al sistema oceanográfico, es decir, el viento está referido a la dirección hacia donde se dirige.

**Tabla 5.9-28**  
**Estadística por Rango de Magnitud y Dirección del Viento.**

Rango m/s	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	n	%
0.0 - 0.9	173	156	170	190	177	173	178	186	278	223	219	204	269	220	171	134	3121	4.19
1.0 - 1.9	847	734	876	1047	930	821	785	925	993	840	729	547	663	1000	864	701	13302	17.84
2.0 - 2.9	1207	1351	1276	1499	1492	1076	930	1146	1047	704	441	219	183	670	1173	748	15162	20.34
3.0 - 3.9	1417	2030	1395	1490	1948	1133	737	853	1024	720	189	69	25	322	518	272	14142	18.97
4.0 - 4.9	1142	2389	1349	1565	2279	591	320	442	751	516	88	11	3	103	75	45	11669	15.65
5.0 - 5.9	452	1872	1302	1772	1658	104	65	166	506	360	47	2	2	7	3	8	8326	11.17
6.0 - 6.9	135	1038	1186	1183	465	28	30	46	226	236	23	3	2	2	0	0	4603	6.17
7.0 - 7.9	34	538	977	395	44	17	7	7	141	117	4	0	1	1	0	0	2283	3.06
8.0 - 8.9	9	236	647	86	1	13	1	6	77	74	1	0	0	0	0	0	1151	1.54
9.0 - 9.9	3	87	370	24	0	4	0	2	35	26	0	0	0	0	0	0	551	0.74
10.0 - 10.9	1	49	88	1	0	1	0	0	15	12	0	0	0	0	0	0	167	0.22
11.0 - 11.9	0	20	26	0	0	0	0	0	6	9	0	0	0	0	0	0	61	0.08
12.0 - 12.9	0	4	0	0	0	0	0	0	6	2	0	0	0	0	0	0	12	0.02
13.0 - 13.9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.00
14.0 - 14.9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.00
n	5420	10504	9662	9252	8994	3961	3053	3779	5107	3839	1741	1055	1148	2325	2804	1908	74552	100.00
%	7.27	14.09	12.96	12.41	12.06	5.31	4.10	5.07	6.85	5.15	2.34	1.42	1.54	3.12	3.76	2.56		
Máx.	10.37	12.97	11.95	10.22	8.24	10.40	8.23	9.45	14.14	12.85	8.31	6.63	7.07	7.05	5.09	5.59		
Media	3.37	4.48	4.97	4.22	3.87	2.94	2.69	2.81	3.49	3.52	2.19	1.70	1.50	2.12	2.32	2.19		
Desv. Est.	1.41	1.84	2.35	1.82	1.44	1.27	1.20	1.29	1.93	2.03	1.26	0.84	0.71	0.96	0.85	0.86		

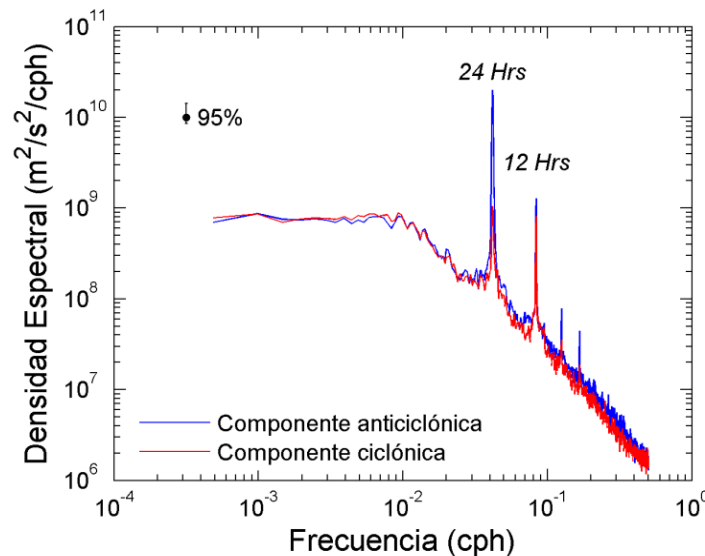
El histograma en coordenadas polares (**Figura 5.9-44**), muestra como la mayor parte de las direcciones se asociaron al primer cuadrante, es decir, el viento entre la dirección Norte y Este acumula la mayor parte de las observaciones y las más intensas.

**Figura 5.9-44**  
**Histograma en Coordenadas Polares de la Magnitud y Dirección del Viento.**



El espectro rotatorio del viento (**Figura 5.9-45**), mostró que la componente ciclónica y anticiclónica tiene el mismo aporte energético en las mismas bandas de frecuencia, presentando picos significativos importantes en las 24 hrs y a las 12 hrs, cuya intensidad es similar, por lo que el viento tiende a tener una limitada tendencia a girar.

**Figura 5.9-45**  
**Espectro Rotatorio Aplicado a Mediciones de Vientos en Caldera**  
**( 40 grados de libertad)**



- **Diagramas de Refracción**

Las **Figuras 5.9.46** a la **5.9.51** muestran el resultado de los diagramas de refracción, para los trenes de ondas de dirección 40°, 60°, 110°, 130°, 150° y 170°, que avanzan desde aguas profundas a los sectores costeros del área de estudio. Estos diagramas entregan una representación generalizada del comportamiento de las olas en el sector. Mientras más divergen dos rayos de olas adyacentes, la energía de éstas se reparte en una zona mayor, y por lo tanto las alturas de las olas disminuyen en ese sector. En el efecto contrario, cuando convergen especialmente en puntas o salientes rocosos, se producirá una mayor concentración de energía asociados a olas de mayor altura.

En la **Figura 5.9-46**, según la simulación, con un tren de ondas de dirección SW (40°), y en los tres periodos estudiados (6, 8 y 12 s), el oleaje no penetra en la Bahía de Caldera. La situación, para las olas con dirección SW (60°) e iguales periodos, muestra una leve penetración hacia Bahía Caldera, y muestra una concentración de energía en salientes rocosos que se encuentran hacia el sector norte del área de estudio (**Figura 5.9-47**).

La **Figura 5.9-48**, muestra el diagrama de refracción de olas, para un tren de onda con dirección NW (110°). Se observa, una incidencia del oleaje, hacia el interior de Bahía de Caldera, en todos los periodos. Además, en los periodos mayores (8 y 10 s), se observa una leve divergencia de los rayos, en el área costera del interior de la bahía, y algunas leves convergencia hacia salientes rocosos.

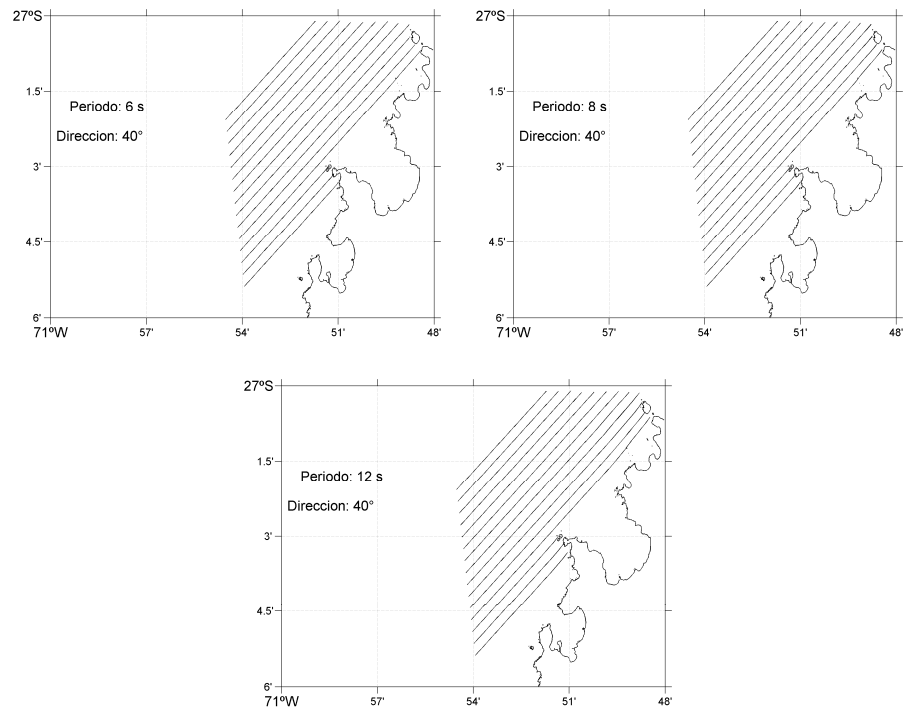
La simulación con trenes de onda con dirección NW (130°) (**Figura 5.9-49**), para los periodos de 8 y 10 s, presentan una mayor divergencia en el área costera de Bahía Caldera, y convergencia de rayos hacia las puntas del área de estudio.

El oleaje proveniente de entre los  $110^{\circ}$  y  $130^{\circ}$  en los diferentes periodos modelados, afectan directamente el área de los puertos de Caldera y Calderilla, mientras que la zona de Punta Padrones y Punta Caldereta (puntas que limitan al sur ambas bahías) reciben la influencia indirecta del oleaje, desplazando teóricamente cualquier material flotante hacia las zonas de los puertos de Caldera y Calderilla respectivamente.

En la **Figura 5.9-50**, respecto del tren de ondas con dirección NW ( $150^{\circ}$ ) para el período de 4 s, se observa que parte del oleaje alcanza a penetrar a Bahía Caldera, y no se visualizan áreas de divergencia o convergencia. Con un período de 6 s, se observa que la ola penetra en menor grado, pero se observan divergencias hacia el interior de la Bahía de Caldera, y hacia las puntas del sector Sur. Para los periodos de 8 y 10 s, en ambos casos hay una penetración parcial del oleaje al interior de la Bahía. El oleaje asociado al período de 8 s se esperaría convergencia en el interior de la Bahía y en las puntas del sector Sur. Esta situación presentaría una mayor energía dentro de la Bahía. Para el período de 10 s, se observó divergencia al interior de la Bahía, y convergencia hacia las puntas del área Sur.

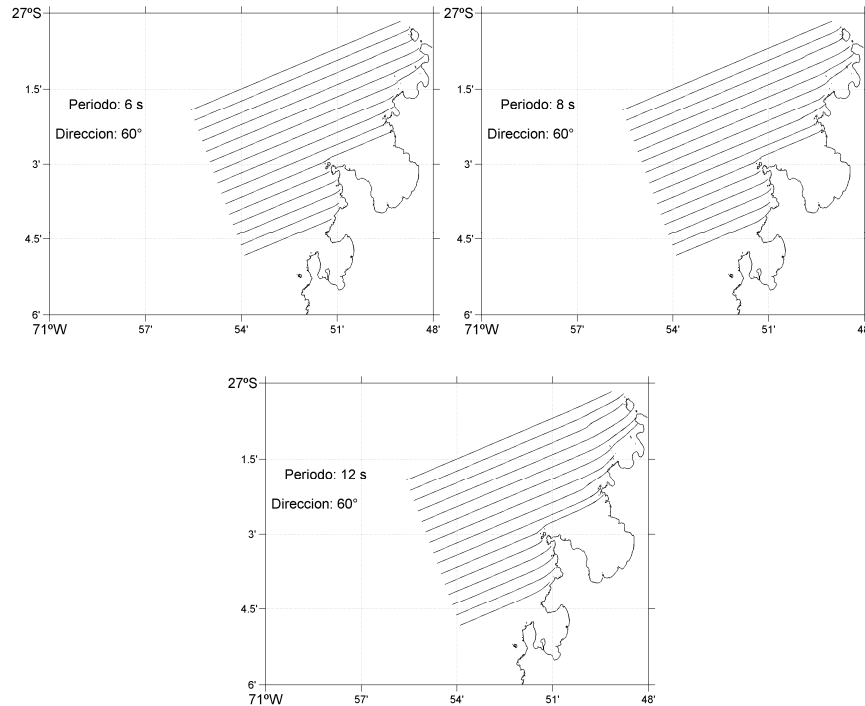
En la **Figura 5.9-50**, respecto del tren de ondas con dirección NW ( $170^{\circ}$ ) se muestra que el oleaje de alta frecuencia (4 s) se comporta en forma lineal, afectando directamente el sector de punta Padrones (Sur de Bahía Caldera). A partir de periodos de 6 segundos y especialmente el de 8 y 10 s, el oleaje que entra a Bahía Caldera y Bahía Calderilla además comienza a afectar el área de los puertos de Caldera y Calderilla. El oleaje proveniente de los  $150^{\circ}$  y  $170^{\circ}$  concentran la mayor parte de la energía en la zona abierta hacia el norte (Punta Padrones y Punta Caldereta), las cuales resentirían el efecto directo de olas de alta y baja frecuencia. Una parte significativa del oleaje de baja frecuencia (6, 8 y 10 s), que entra en ambas Bahías se desvía hacia el sector de los puertos de Caldera y Calderilla, pero como los rayos divergen, este sector sería afectado solamente por oleaje de menor altura y baja energía. Otra zona que concentraría este tipo de oleaje es alrededor de la punta Caldereta.

**Figura 5.9-46**  
**Diagramas de Refracción para Oleaje de la Dirección 40° con Período de 6, 8 y 12 Segundos.**

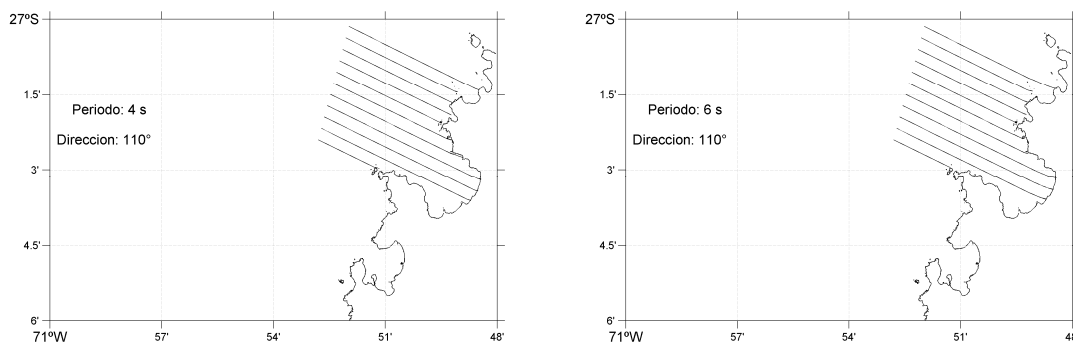


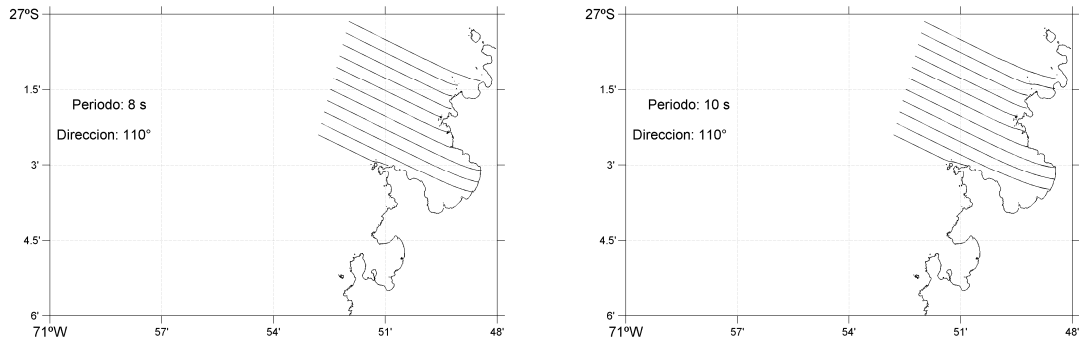


**Figura 5.9-47**  
**Diagramas de Refracción para Oleaje de la Dirección 60° con Período de 6, 8 y 12 Segundos.**

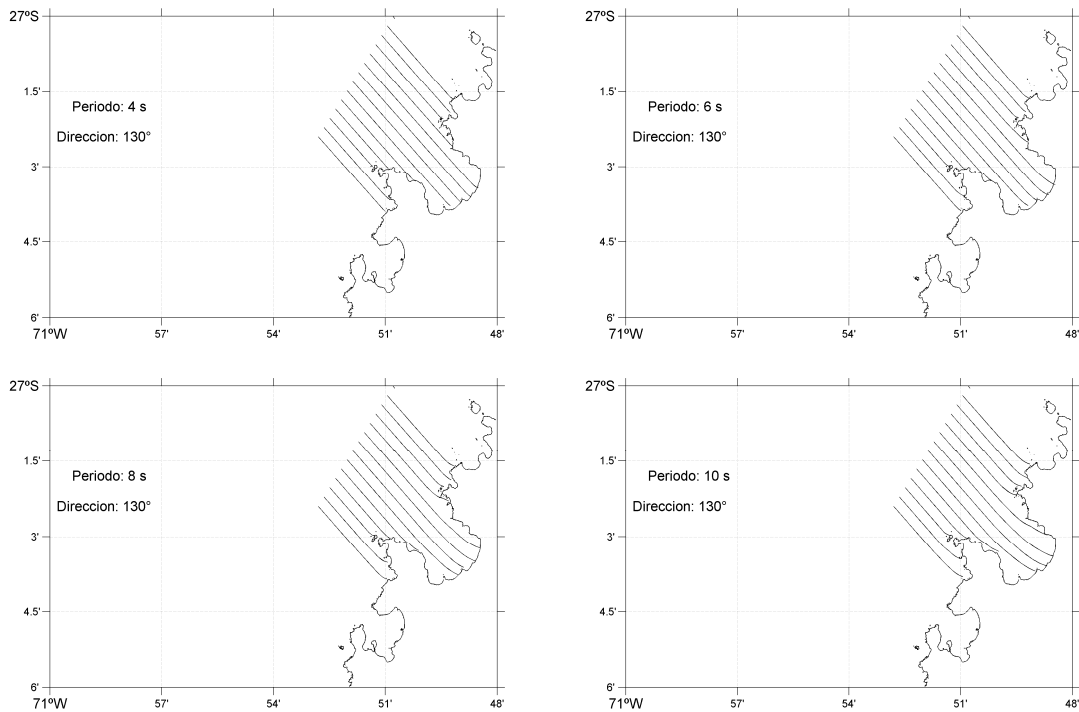


**Figura 5.9-48**  
**Diagramas de Refracción para Oleaje de la Dirección 110° con Periodos de 4, 6, 8 y 10 segundos.**

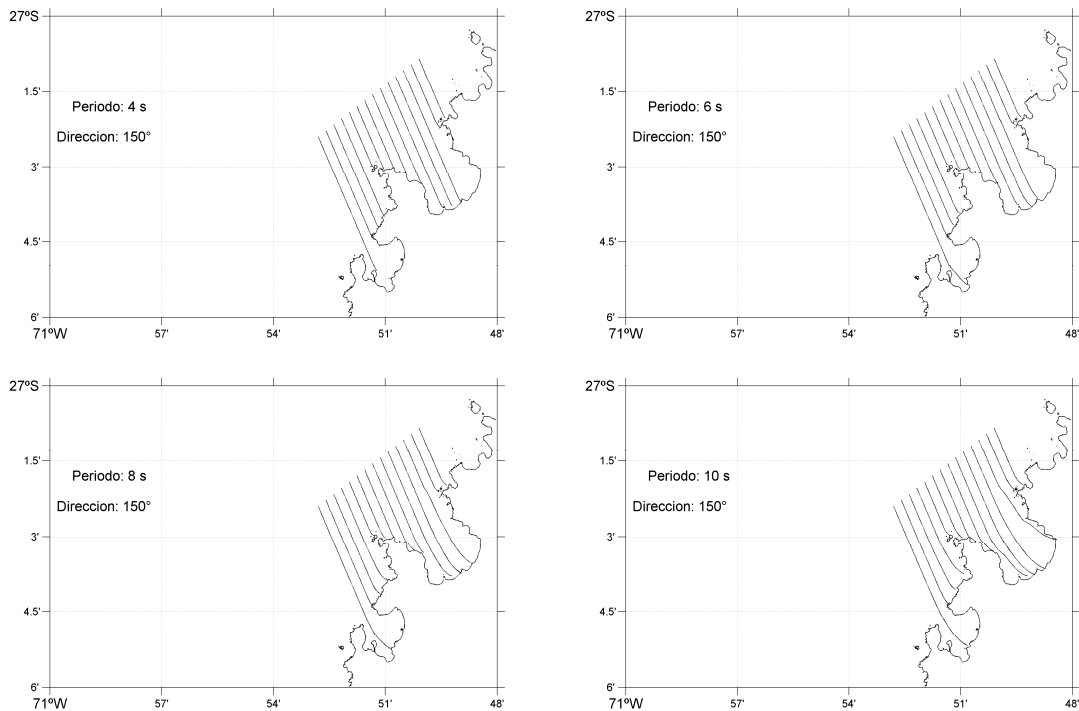




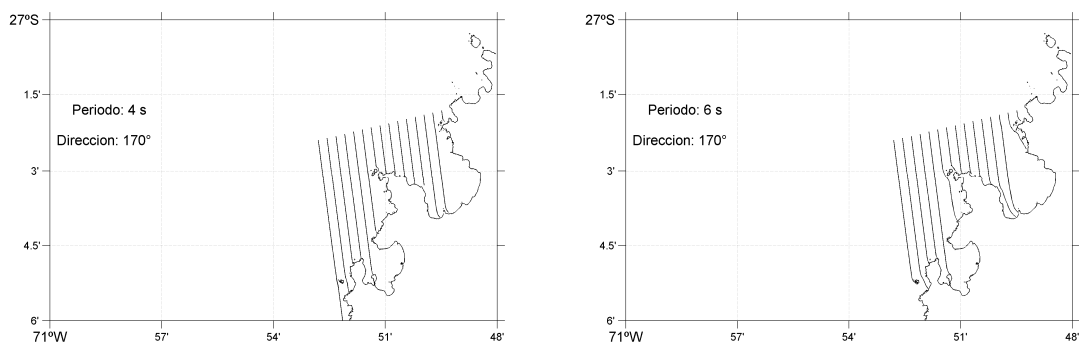
**Figura 5.9-49**  
**Diagramas de Refracción para Oleaje de la Dirección 130° con Periodo de 4, 6, 8 y 10 Segundos.**

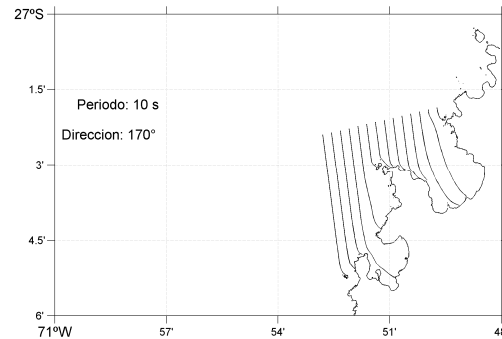
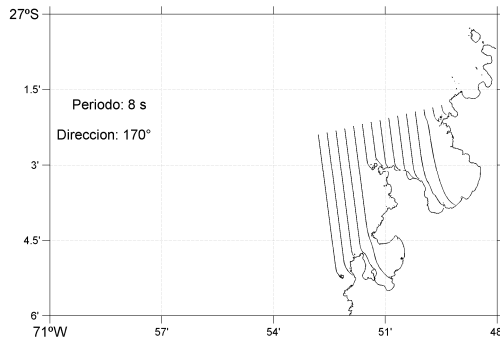


**Figura 5.9-50**  
**Diagramas de Refracción para Oleaje de la Dirección 150° con Periodo de 4, 6, 8 y 10 segundos.**



**Figura 5.9-51**  
**Diagramas de Refracción para Oleaje de la Dirección 170° con Periodo de 4, 6, 8 y 10 Segundos.**





▪ **Altura de Rompiente de la Ola y Coeficientes de Refacción.**

En las **Tablas 5.9-29 a la 5.9-36** se observan los resultados de cálculo de altura de la ola de rompiente y coeficientes de refracción para una altura inicial de 1 y 0,6 m.

En el caso de 1m de altura de ola inicial, la altura de la ola de rompiente fluctúa entre 1,35 m para un tren de ondas con dirección de 110°, y 0,68 m, para un tren de ondas con dirección de 170° (**Tablas 5.9-29 a 5.9-32**).

Para el segundo caso, donde la altura de la ola inicial fue de 0,6 m, la altura de la ola de rompiente disminuyó, fluctuando entre 0,89 m, para trenes de onda con dirección de 110°, y 0,45 m con olas de dirección de 170° (**Tablas 5.9-33 a 5.9-36**).

Los coeficientes de refracción calculados para una ola inicial de 1 y 0,6 m, y para todos los períodos y dirección de olas analizados, fueron aproximadamente 1. Esto indica que el fenómeno de refracción, tiene poca influencia en la modificación de las alturas de la ola.

**Tabla 5.9-29**  
**Cálculo de la Altura de la Ola Rompiente Para los Ddiagramas de Refracción, para una**  
**Altura Inicial de 0.6 m.**

<b>T</b>	<b>Dir</b>	<b>Ry</b>	<b>Hi</b>	<b>Zi</b>	<b>L</b>	<b>Kr</b>	<b>Hb</b>	<b>Zb</b>
<b>S</b>	<b>grados</b>		<b>m</b>	<b>m</b>	<b>m</b>		<b>m</b>	<b>m</b>
4	110	1	0.59	8.46	85.85	0.996	0.89	1.05
4	110	2	0.59	8.46	85.85	0.996	0.89	1.05
4	110	3	0.59	9.15	88.87	0.999	0.89	1.05
4	110	4	0.58	9.50	90.32	0.999	0.89	1.05
4	110	5	0.59	8.64	86.67	0.998	0.90	1.05
4	110	6	0.59	8.60	86.48	0.993	0.89	1.05
4	110	7	0.60	8.06	84.03	0.995	0.90	1.05
4	110	10	0.59	8.77	87.24	0.997	0.89	1.05
4	110	11	0.58	9.25	89.29	1.002	0.90	1.05
<b>T</b>	<b>Dir</b>	<b>Ry</b>	<b>Hi</b>	<b>Zi</b>	<b>L</b>	<b>Kr</b>	<b>Hb</b>	<b>Zb</b>
4	130	1	0.55	8.10	84.21	0.984	0.83	0.97
4	130	2	0.55	8.10	84.21	0.984	0.83	0.97
4	130	5	0.55	8.03	83.90	0.974	0.83	0.96
4	130	7	0.55	8.41	85.64	0.992	0.84	0.98
4	130	8	0.54	9.47	90.17	0.996	0.84	0.98
4	130	9	0.54	9.55	90.52	0.998	0.84	0.98
4	130	10	0.54	9.44	90.05	0.995	0.84	0.98
4	130	12	0.55	8.66	86.76	0.980	0.83	0.97
4	130	13	0.54	9.47	90.18	0.995	0.84	0.98
<b>T</b>	<b>Dir</b>	<b>Ry</b>	<b>Hi</b>	<b>Zi</b>	<b>L</b>	<b>Kr</b>	<b>Hb</b>	<b>Zb</b>
4	150	1	0.46	8.13	84.39	0.980	0.72	0.83
4	150	2	0.46	8.13	84.39	0.980	0.72	0.83
4	150	4	0.46	8.73	87.07	0.950	0.70	0.81
4	150	9	0.46	8.60	86.46	0.962	0.71	0.81
4	150	10	0.45	9.25	89.25	0.980	0.72	0.83
4	150	11	0.46	8.80	87.36	0.988	0.72	0.83
4	150	12	0.45	9.83	91.66	0.984	0.72	0.83
4	150	13	0.45	9.11	88.66	1.025	0.74	0.86
<b>T</b>	<b>Dir</b>	<b>Ry</b>	<b>Hi</b>	<b>Zi</b>	<b>L</b>	<b>Kr</b>	<b>Hb</b>	<b>Zb</b>
4	170	5	0.28	8.18	84.59	1.008	0.49	0.55
4	170	6	0.28	8.43	85.73	0.942	0.46	0.52
4	170	11	0.28	8.43	85.74	0.919	0.45	0.51
4	170	13	0.28	8.27	85.03	0.965	0.48	0.54
4	170	14	0.29	8.66	86.76	0.979	0.50	0.57

T=periodo de la ola, Dir=dirección de la ola inicial, Ry=Rayo, Hi=Altura de la ola inicial, Zi=profundidad del agua, L=Longitud de onda, Kr=Coefficiente de refracción, Hb=Altura de la ola rompiente, Zb=Profundidad de la ola rompiente. Pendiente promedio 0.02.

**Tabla 5.9-30**  
**Cálculo de la Altura de la Ola Rompiente Para los Diagramas de Refracción, para una**  
**Altura Inicial de 0.6 m.**

<b>T</b> <b>s</b>	<b>Dir</b> <b>grados</b>	<b>Ry</b>	<b>Hi</b> <b>m</b>	<b>Zi</b> <b>m</b>	<b>L</b> <b>m</b>	<b>Kr</b>	<b>Hb</b> <b>m</b>	<b>Zb</b> <b>m</b>
6	110	1	0.59	8.46	85.85	0.996	0.89	1.00
6	110	2	0.59	8.46	85.85	0.996	0.89	1.00
6	110	3	0.59	9.15	88.87	0.999	0.89	1.00
6	110	4	0.58	9.50	90.32	0.999	0.89	1.00
6	110	5	0.59	8.64	86.67	0.998	0.90	1.00
6	110	6	0.59	8.60	86.48	0.993	0.89	1.00
6	110	7	0.60	8.06	84.03	0.995	0.90	1.00
6	110	10	0.59	8.77	87.24	0.997	0.89	1.00
6	110	11	0.58	9.25	89.29	1.002	0.90	1.00
<b>T</b>	<b>Dir</b>	<b>Ry</b>	<b>Hi</b>	<b>Zi</b>	<b>L</b>	<b>Kr</b>	<b>Hb</b>	<b>Zb</b>
6	130	1	0.55	8.10	84.21	0.984	0.83	0.93
6	130	2	0.55	8.10	84.21	0.984	0.83	0.93
6	130	5	0.55	8.03	83.90	0.974	0.83	0.92
6	130	7	0.55	8.41	85.64	0.992	0.84	0.93
6	130	8	0.54	9.47	90.17	0.996	0.84	0.94
6	130	9	0.54	9.55	90.52	0.998	0.84	0.94
6	130	10	0.54	9.44	90.05	0.995	0.84	0.93
6	130	12	0.55	8.66	86.76	0.980	0.83	0.92
6	130	13	0.54	9.47	90.18	0.995	0.84	0.93
<b>T</b>	<b>Dir</b>	<b>Ry</b>	<b>Hi</b>	<b>Zi</b>	<b>L</b>	<b>Kr</b>	<b>Hb</b>	<b>Zb</b>
6	150	1	0.46	8.13	84.39	0.980	0.72	0.80
6	150	2	0.46	8.13	84.39	0.980	0.72	0.80
6	150	4	0.46	8.73	87.07	0.950	0.70	0.77
6	150	9	0.46	8.60	86.46	0.962	0.71	0.78
6	150	10	0.45	9.25	89.25	0.980	0.72	0.80
6	150	11	0.46	8.80	87.36	0.988	0.72	0.80
6	150	12	0.45	9.83	91.66	0.984	0.72	0.80
6	150	13	0.45	9.11	88.66	1.025	0.74	0.83
<b>T</b>	<b>Dir</b>	<b>Ry</b>	<b>Hi</b>	<b>Zi</b>	<b>L</b>	<b>Kr</b>	<b>Hb</b>	<b>Zb</b>
6	170	5	0.28	8.18	84.59	1.008	0.49	0.54
6	170	6	0.28	8.43	85.73	0.942	0.46	0.51
6	170	11	0.28	8.43	85.74	0.919	0.45	0.50
6	170	13	0.28	8.27	85.03	0.965	0.48	0.52
6	170	14	0.29	8.66	86.76	0.979	0.50	0.55

T=periodo de la ola, Dir=dirección de la ola inicial, Ry=Rayo, Hi=Altura de la ola inicial, Zi=profundidad del agua, L=Longitud de onda, Kr=Coefficiente de refracción, Hb=Altura de la ola rompiente, Zb=Profundidad de la ola rompiente. Pendiente promedio 0.02.

**Tabla 5.9-31**  
**Cálculo de la Altura de la Ola Rompiente Para los Diagramas de Refracción, para una**  
**Altura Inicial de 0.6 m.**

T(s)	Dir grados	Ry	Hi (m)	Zi (m)	L (m)	Kr	Hb (m)	Zb (m)
8	110	1	0.59	8.46	85.85	0.996	0.89	0.98
8	110	2	0.59	8.46	85.85	0.996	0.89	0.98
8	110	3	0.59	9.15	88.87	0.999	0.89	0.98
8	110	4	0.58	9.50	90.32	0.999	0.89	0.98
8	110	5	0.59	8.64	86.67	0.998	0.90	0.98
8	110	6	0.59	8.60	86.48	0.993	0.89	0.98
8	110	7	0.60	8.06	84.03	0.995	0.90	0.98
8	110	10	0.59	8.77	87.24	0.997	0.89	0.98
8	110	11	0.58	9.25	89.29	1.002	0.90	0.98
T	Dir	Ry	Hi	Zi	L	Kr	Hb	Zb
8	130	1	0.55	8.10	84.21	0.984	0.83	0.91
8	130	2	0.55	8.10	84.21	0.984	0.83	0.91
8	130	5	0.55	8.03	83.90	0.974	0.83	0.91
8	130	7	0.55	8.41	85.64	0.992	0.84	0.92
8	130	8	0.54	9.47	90.17	0.996	0.84	0.92
8	130	9	0.54	9.55	90.52	0.998	0.84	0.92
8	130	10	0.54	9.44	90.05	0.995	0.84	0.92
8	130	12	0.55	8.66	86.76	0.980	0.83	0.91
8	130	13	0.54	9.47	90.18	0.995	0.84	0.92
T	Dir	Ry	Hi	Zi	L	Kr	Hb	Zb
8	150	1	0.46	8.13	84.39	0.980	0.72	0.78
8	150	2	0.46	8.13	84.39	0.980	0.72	0.78
8	150	4	0.46	8.73	87.07	0.950	0.70	0.76
8	150	9	0.46	8.60	86.46	0.962	0.71	0.77
8	150	10	0.45	9.25	89.25	0.980	0.72	0.79
8	150	11	0.46	8.80	87.36	0.988	0.72	0.79
8	150	12	0.45	9.83	91.66	0.984	0.72	0.79
8	150	13	0.45	9.11	88.66	1.025	0.74	0.81
T	Dir	Ry	Hi	Zi	L	Kr	Hb	Zb
8	170	5	0.28	8.18	84.59	1.008	0.49	0.53
8	170	6	0.28	8.43	85.73	0.942	0.46	0.50
8	170	11	0.28	8.43	85.74	0.919	0.45	0.49
8	170	13	0.28	8.27	85.03	0.965	0.48	0.52
8	170	14	0.29	8.66	86.76	0.979	0.50	0.55

T=periodo de la ola, Dir=dirección de la ola inicial, Ry=Rayo, Hi=Altura de la ola inicial, Zi=profundidad del agua, L=Longitud de onda, Kr=Coefficiente de refracción, Hb=Altura de la ola rompiente, Zb=Profundidad de la ola rompiente. Pendiente promedio 0.02.

**Tabla 5.9-32**  
**Cálculo de la Altura de la Ola Rompiente para los Diagramas de Refracción Para una**  
**Altura Inicial de 0.6 m.**

<b>T</b>	<b>Dir</b>	<b>Ry</b>	<b>Hi</b>	<b>Zi</b>	<b>L</b>	<b>Kr</b>	<b>Hb</b>	<b>Zb</b>
10	110	1	0.59	8.46	85.85	0.996	0.89	0.97
10	110	2	0.59	8.46	85.85	0.996	0.89	0.97
10	110	3	0.59	9.15	88.87	0.999	0.89	0.97
10	110	4	0.58	9.50	90.32	0.999	0.89	0.97
10	110	5	0.59	8.64	86.67	0.998	0.90	0.98
10	110	6	0.59	8.60	86.48	0.993	0.89	0.97
10	110	7	0.60	8.06	84.03	0.995	0.90	0.98
10	110	10	0.59	8.77	87.24	0.997	0.89	0.97
10	110	11	0.58	9.25	89.29	1.002	0.90	0.98
<b>T</b>	<b>Dir</b>	<b>Ry</b>	<b>Hi</b>	<b>Zi</b>	<b>L</b>	<b>Kr</b>	<b>Hb</b>	<b>Zb</b>
10	130	1	0.55	8.10	84.21	0.984	0.83	0.91
10	130	2	0.55	8.10	84.21	0.984	0.83	0.91
10	130	5	0.55	8.03	83.90	0.974	0.83	0.90
10	130	7	0.55	8.41	85.64	0.992	0.84	0.91
10	130	8	0.54	9.47	90.17	0.996	0.84	0.91
10	130	9	0.54	9.55	90.52	0.998	0.84	0.92
10	130	10	0.54	9.44	90.05	0.995	0.84	0.91
10	130	12	0.55	8.66	86.76	0.980	0.83	0.90
10	130	13	0.54	9.47	90.18	0.995	0.84	0.91
<b>T</b>	<b>Dir</b>	<b>Ry</b>	<b>Hi</b>	<b>Zi</b>	<b>L</b>	<b>Kr</b>	<b>Hb</b>	<b>Zb</b>
10	150	1	0.46	8.13	84.39	0.980	0.72	0.78
10	150	2	0.46	8.13	84.39	0.980	0.72	0.78
10	150	4	0.46	8.73	87.07	0.950	0.70	0.76
10	150	9	0.46	8.60	86.46	0.962	0.71	0.77
10	150	10	0.45	9.25	89.25	0.980	0.72	0.78
10	150	11	0.46	8.80	87.36	0.988	0.72	0.79
10	150	12	0.45	9.83	91.66	0.984	0.72	0.78
10	150	13	0.45	9.11	88.66	1.025	0.74	0.81
<b>T</b>	<b>Dir</b>	<b>Ry</b>	<b>Hi</b>	<b>Zi</b>	<b>L</b>	<b>Kr</b>	<b>Hb</b>	<b>Zb</b>
10	170	5	0.28	8.18	84.59	1.008	0.49	0.53
10	170	6	0.28	8.43	85.73	0.942	0.46	0.50
10	170	11	0.28	8.43	85.74	0.919	0.45	0.49
10	170	13	0.28	8.27	85.03	0.965	0.48	0.52
10	170	14	0.29	8.66	86.76	0.979	0.50	0.54

T=periodo de la ola, Dir=dirección de la ola inicial, Ry=Rayo, Hi=Altura de la ola inicial, Zi=profundidad del agua, L=Longitud de onda, Kr=Coefficiente de refracción, Hb=Altura de la ola rompiente, Zb=Profundidad de la ola rompiente. Pendiente promedio 0.02.



**Tabla 5.9-33**  
**Cálculo de la Altura de la Ola Rompiente Para los Diagramas de Refracción Para una**  
**Altura Inicial de 1 m.**

T s	Dir grados	Ry	Hi m	Zi m	L m	Kr	Hb m	Zb m
4	110	1	0.99	8.46	85.85	0.996	1.35	1.66
4	110	2	0.99	8.46	85.85	0.996	1.35	1.66
4	110	3	0.98	9.15	88.87	0.999	1.35	1.66
4	110	4	0.97	9.50	90.32	0.999	1.34	1.66
4	110	5	0.98	8.64	86.67	0.998	1.35	1.66
4	110	6	0.98	8.60	86.48	0.993	1.34	1.65
4	110	7	0.99	8.06	84.03	0.995	1.35	1.66
4	110	10	0.98	8.77	87.24	0.997	1.35	1.66
4	110	11	0.97	9.25	89.29	1.002	1.35	1.66
T	Dir	Ry	Hi	Zi	L	Kr	Hb	Zb
4	130	1	0.92	8.10	84.21	0.984	1.25	1.53
4	130	2	0.92	8.10	84.21	0.984	1.25	1.53
4	130	5	0.92	8.03	83.90	0.974	1.24	1.52
4	130	7	0.91	8.41	85.64	0.992	1.26	1.54
4	130	8	0.90	9.47	90.17	0.996	1.26	1.54
4	130	9	0.90	9.55	90.52	0.998	1.27	1.55
4	130	10	0.90	9.44	90.05	0.995	1.26	1.54
4	130	12	0.91	8.66	86.76	0.980	1.25	1.52
4	130	13	0.90	9.47	90.18	0.995	1.26	1.54
T	Dir	Ry	Hi	Zi	L	Kr	Hb	Zb
4	150	1	0.76	8.13	84.39	0.980	1.08	1.29
4	150	2	0.76	8.13	84.39	0.980	1.08	1.29
4	150	4	0.76	8.73	87.07	0.950	1.05	1.26
4	150	9	0.76	8.60	86.46	0.962	1.06	1.27
4	150	10	0.76	9.25	89.25	0.980	1.08	1.29
4	150	11	0.76	8.80	87.36	0.988	1.09	1.30
4	150	12	0.75	9.83	91.66	0.984	1.09	1.30
4	150	13	0.76	9.11	88.66	1.025	1.12	1.35
T	Dir	Ry	Hi	Zi	L	Kr	Hb	Zb
4	170	5	0.46	8.18	84.59	1.008	0.74	0.85
4	170	6	0.46	8.43	85.73	0.942	0.70	0.80
4	170	11	0.46	8.43	85.74	0.919	0.68	0.79
4	170	13	0.46	8.27	85.03	0.965	0.72	0.83
4	170	14	0.49	8.66	86.76	0.979	0.75	0.87

T=periodo de la ola, Dir=dirección de la ola inicial, Ry=Rayo, Hi=Altura de la ola inicial, Zi=profundidad del agua, L=Longitud de onda, Kr=Coefficiente de refracción, Hb=Altura de la ola rompiente, Zb=Profundidad de la ola rompiente. Pendiente promedio 0.02.

**Tabla 5.9-34**  
**Cálculo de la Altura de la Ola Rompiente Para los Diagramas de Refracción Para una**  
**Altura Inicial de 1 m.**

T s	Dir grados	Ry	Hi m	Zi m	L m	Kr	Hb m	Zb m
6	110	1	0.99	8.46	85.85	0.996	1.35	1.53
6	110	2	0.99	8.46	85.85	0.996	1.35	1.53
6	110	3	0.98	9.15	88.87	0.999	1.35	1.53
6	110	4	0.97	9.50	90.32	0.999	1.34	1.53
6	110	5	0.98	8.64	86.67	0.998	1.35	1.54
6	110	6	0.98	8.60	86.48	0.993	1.34	1.53
6	110	7	0.99	8.06	84.03	0.995	1.35	1.54
6	110	10	0.98	8.77	87.24	0.997	1.35	1.53
6	110	11	0.97	9.25	89.29	1.002	1.35	1.54
T	Dir	Ry	Hi	Zi	L	Kr	Hb	Zb
6	130	1	0.92	8.10	84.21	0.984	1.25	1.42
6	130	2	0.92	8.10	84.21	0.984	1.25	1.42
6	130	5	0.92	8.03	83.90	0.974	1.24	1.41
6	130	7	0.91	8.41	85.64	0.992	1.26	1.43
6	130	8	0.90	9.47	90.17	0.996	1.26	1.43
6	130	9	0.90	9.55	90.52	0.998	1.27	1.44
6	130	10	0.90	9.44	90.05	0.995	1.26	1.43
6	130	12	0.91	8.66	86.76	0.980	1.25	1.42
6	130	13	0.90	9.47	90.18	0.995	1.26	1.43
T	Dir	Ry	Hi	Zi	L	Kr	Hb	Zb
6	150	1	0.76	8.13	84.39	0.980	1.08	1.22
6	150	2	0.76	8.13	84.39	0.980	1.08	1.22
6	150	4	0.76	8.73	87.07	0.950	1.05	1.18
6	150	9	0.76	8.60	86.46	0.962	1.06	1.20
6	150	10	0.76	9.25	89.25	0.980	1.08	1.22
6	150	11	0.76	8.80	87.36	0.988	1.09	1.22
6	150	12	0.75	9.83	91.66	0.984	1.09	1.22
6	150	13	0.76	9.11	88.66	1.025	1.12	1.26
T	Dir	Ry	Hi	Zi	L	Kr	Hb	Zb
6	170	5	0.46	8.18	84.59	1.008	0.74	0.82
6	170	6	0.46	8.43	85.73	0.942	0.70	0.77
6	170	11	0.46	8.43	85.74	0.919	0.68	0.76
6	170	13	0.46	8.27	85.03	0.965	0.72	0.79
6	170	14	0.49	8.66	86.76	0.979	0.75	0.84

T=periodo de la ola, Dir=dirección de la ola inicial, Ry=Rayo, Hi=Altura de la ola inicial, Zi=profundidad del agua, L=Longitud de onda, Kr=Coefficiente de refracción, Hb=Altura de la ola rompiente, Zb=Profundidad de la ola rompiente. Pendiente promedio 0.02.

**Tabla 5.9-35**  
**Cálculo de la Altura de la Ola Rompiente Para los Diagramas de Refracción Para una**  
**Altura Inicial de 1 m.**

T s	Dir grados	Ry	Hi m	Zi m	L m	Kr	Hb m	Zb m
8	110	1	0.99	8.46	85.85	0.996	1.35	1.49
8	110	2	0.99	8.46	85.85	0.996	1.35	1.49
8	110	3	0.98	9.15	88.87	0.999	1.35	1.49
8	110	4	0.97	9.50	90.32	0.999	1.34	1.49
8	110	5	0.98	8.64	86.67	0.998	1.35	1.50
8	110	6	0.98	8.60	86.48	0.993	1.34	1.49
8	110	7	0.99	8.06	84.03	0.995	1.35	1.50
8	110	10	0.98	8.77	87.24	0.997	1.35	1.49
8	110	11	0.97	9.25	89.29	1.002	1.35	1.50
T	Dir	Ry	Hi	Zi	L	Kr	Hb	Zb
8	130	1	0.92	8.10	84.21	0.984	1.25	1.39
8	130	2	0.92	8.10	84.21	0.984	1.25	1.39
8	130	5	0.92	8.03	83.90	0.974	1.24	1.38
8	130	7	0.91	8.41	85.64	0.992	1.26	1.40
8	130	8	0.90	9.47	90.17	0.996	1.26	1.40
8	130	9	0.90	9.55	90.52	0.998	1.27	1.40
8	130	10	0.90	9.44	90.05	0.995	1.26	1.40
8	130	12	0.91	8.66	86.76	0.980	1.25	1.38
8	130	13	0.90	9.47	90.18	0.995	1.26	1.40
T	Dir	Ry	Hi	Zi	L	Kr	Hb	Zb
8	150	1	0.76	8.13	84.39	0.980	1.08	1.19
8	150	2	0.76	8.13	84.39	0.980	1.08	1.19
8	150	4	0.76	8.73	87.07	0.950	1.05	1.16
8	150	9	0.76	8.60	86.46	0.962	1.06	1.17
8	150	10	0.76	9.25	89.25	0.980	1.08	1.19
8	150	11	0.76	8.80	87.36	0.988	1.09	1.20
8	150	12	0.75	9.83	91.66	0.984	1.09	1.20
8	150	13	0.76	9.11	88.66	1.025	1.12	1.24
T	Dir	Ry	Hi	Zi	L	Kr	Hb	Zb
8	170	5	0.46	8.18	84.59	1.008	0.74	0.80
8	170	6	0.46	8.43	85.73	0.942	0.70	0.76
8	170	11	0.46	8.43	85.74	0.919	0.68	0.75
8	170	13	0.46	8.27	85.03	0.965	0.72	0.78
8	170	14	0.49	8.66	86.76	0.979	0.75	0.83

T=periodo de la ola, Dir=dirección de la ola inicial, Ry=Rayo, Hi=Altura de la ola inicial, Zi=profundidad del agua, L=Longitud de onda, Kr=Coefficiente de refracción, Hb=Altura de la ola rompiente, Zb=Profundidad de la ola rompiente. Pendiente promedio 0.02.

**Tabla 5.9-36**  
**Calculo de la Altura de la Ola Rompiente Para los Diagramas de Refracción para una**  
**Altura Inicial de 1 m.**

T s	Dir grados	Ry	Hi m	Zi m	L m	Kr	Hb m	Zb m
10	110	1	0.99	8.46	85.85	0.996	1.35	1.48
10	110	2	0.99	8.46	85.85	0.996	1.35	1.48
10	110	3	0.98	9.15	88.87	0.999	1.35	1.48
10	110	4	0.97	9.50	90.32	0.999	1.34	1.48
10	110	5	0.98	8.64	86.67	0.998	1.35	1.48
10	110	6	0.98	8.60	86.48	0.993	1.34	1.47
10	110	7	0.99	8.06	84.03	0.995	1.35	1.48
10	110	10	0.98	8.77	87.24	0.997	1.35	1.48
10	110	11	0.97	9.25	89.29	1.002	1.35	1.48
T	Dir	Ry	Hi	Zi	L	Kr	Hb	Zb
10	130	1	0.92	8.10	84.21	0.984	1.25	1.37
10	130	2	0.92	8.10	84.21	0.984	1.25	1.37
10	130	5	0.92	8.03	83.90	0.974	1.24	1.36
10	130	7	0.91	8.41	85.64	0.992	1.26	1.38
10	130	8	0.90	9.47	90.17	0.996	1.26	1.38
10	130	9	0.90	9.55	90.52	0.998	1.27	1.39
10	130	10	0.90	9.44	90.05	0.995	1.26	1.38
10	130	12	0.91	8.66	86.76	0.980	1.25	1.37
10	130	13	0.90	9.47	90.18	0.995	1.26	1.38
T	Dir	Ry	Hi	Zi	L	Kr	Hb	Zb
10	150	1	0.76	8.13	84.39	0.980	1.08	1.18
10	150	2	0.76	8.13	84.39	0.980	1.08	1.18
10	150	4	0.76	8.73	87.07	0.950	1.05	1.15
10	150	9	0.76	8.60	86.46	0.962	1.06	1.16
10	150	10	0.76	9.25	89.25	0.980	1.08	1.18
10	150	11	0.76	8.80	87.36	0.988	1.09	1.19
10	150	12	0.75	9.83	91.66	0.984	1.09	1.19
10	150	13	0.76	9.11	88.66	1.025	1.12	1.22
T	Dir	Ry	Hi	Zi	L	Kr	Hb	Zb
10	170	5	0.46	8.18	84.59	1.008	0.74	0.80
10	170	6	0.46	8.43	85.73	0.942	0.70	0.76
10	170	11	0.46	8.43	85.74	0.919	0.68	0.74
10	170	13	0.46	8.27	85.03	0.965	0.72	0.78
10	170	14	0.49	8.66	86.76	0.979	0.75	0.82

T=periodo de la ola, Dir=dirección de la ola inicial, Ry=Rayo, Hi=Altura de la ola inicial, Zi=profundidad del agua, L=Longitud de onda, Kr=Coeficiente de refracción, Hb=Altura de la ola rompiente, Zb=Profundidad de la ola rompiente. Pendiente promedio 0.02.

- **Hindcasting y Modelo Espectral JONSWAP**

Se aplicaron dos modelos predictivos, el modelo predictivo Hindcasting y el modelo espectral de JONSWAP. La **Tabla 5.9-37** muestra los resultados del modelo predictivo Hindcasting, utilizando un Fetch entre 25 y 300 Km. Se presentan valores de altura de ola significativa ( $H_s$ ), alturas medias ( $H_{mean}$ ), promedio del 1% y del 10% de las alturas más altas, y el tiempo necesario para que el mar esté totalmente desarrollado ( $T_{full}$ ), para los diferentes Fetch.

Las alturas promedios obtenidas, a través de este modelo fluctuaron entre 0,204 m con un Fetch de 25 km y viento de 4 m/s, y 2,099 m con Fetch de 300 km y magnitud del viento de 12 m/s. La altura de ola significativa, la cual define la altura media del tercio mayor de todas las olas observadas, fue de 0,396 m para vientos de magnitud de 4 m/s, y para todo el rango de Fetch utilizado. Para magnitudes de viento mayor, esta altura fue aumentando, llegando a un valor de 3,331 m para un Fetch de 300 km.

En la **Tabla 5.9-37** se observa que para una misma área de Fetch de 25 km, el tiempo para que el oleaje alcance el estado de total de desarrollo, varía entre 4,808 hr con un viento de 4 m/s, y 3,334 hr con un viento de 12 m/s. Igual situación se observa, cuando el área de Fetch comienza aumentar, observándose que, con una magnitud de viento mayor, el tiempo necesario para que el oleaje se desarrolle completamente es menor.

Por otro lado, al aumentar el área del Fetch, por ejemplo a 300 km, el tiempo necesario para que el mar se desarrolle totalmente es de 5,203 hr con una magnitud del viento de 4 m/s, lo cual es mayor en comparación con un Fetch de 25 km (**Tabla 5.9-37**).

En la **Tabla 5.9-38** se muestra los resultados del modelo espectral de JONSWAP. Esta Tabla incluye los mismos parámetros que el modelo anterior. Los resultados mostraron que todos los parámetros estimados por este modelo son levemente mayores a los obtenidos por el modelo predictivo de Hindcasting.

**Tabla 5.9-37**  
**Pronósticos de Olas Determinados por el Modelo Predictivo Hindcasting.**

Fetch Km	Time Hrs	Wind m/s	Hs (m)	Ts (s)	Hmean (m)	Hrms (m)	H1/100 (m)	H1/10 (m)	Tfull (hrs)
25	5.803	4.000	0.323	2.897	0.204	0.228	0.540	0.410	4.808
25	5.803	6.000	0.485	3.316	0.305	0.343	0.809	0.615	4.201
25	5.803	8.000	0.646	3.650	0.407	0.457	1.079	0.821	3.816
25	5.803	10.000	0.808	3.932	0.509	0.571	1.349	1.026	3.543
25	5.803	12.000	0.969	4.178	0.611	0.685	1.619	1.231	3.334
50	6.848	4.000	0.396	3.315	0.250	0.280	0.662	0.503	7.633
50	6.848	6.000	0.685	4.178	0.432	0.485	1.145	0.870	6.668
50	6.848	8.000	0.914	4.598	0.576	0.646	1.526	1.161	6.058
50	6.848	10.000	1.142	4.953	0.720	0.808	1.908	1.451	5.624
50	6.848	12.000	1.371	5.264	0.864	0.969	2.289	1.741	5.292
75	7.892	4.000	0.396	3.315	0.250	0.280	0.662	0.503	10.002
75	7.892	6.000	0.778	4.545	0.490	0.550	1.299	0.988	8.737
75	7.892	8.000	1.114	5.249	0.702	0.788	1.861	1.415	7.939
75	7.892	10.000	1.399	5.670	0.881	0.989	2.336	1.777	7.369
75	7.892	12.000	1.679	6.026	1.058	1.187	2.804	2.132	6.935
100	8.937	4.000	0.396	3.315	0.250	0.280	0.662	0.503	12.116
100	8.937	6.000	0.854	4.837	0.538	0.604	1.426	1.084	10.585
100	8.937	8.000	1.223	5.585	0.771	0.865	2.043	1.553	9.617
100	8.937	10.000	1.615	6.241	1.018	1.142	2.698	2.052	8.927
100	8.937	12.000	1.939	6.632	1.221	1.371	3.237	2.462	8.401
150	11.026	4.000	0.396	3.315	0.250	0.280	0.662	0.503	15.877
150	11.026	6.000	0.892	4.972	0.562	0.630	1.489	1.133	13.870
150	11.026	8.000	1.432	6.204	0.902	1.012	2.391	1.819	12.602
150	11.026	10.000	1.893	6.936	1.192	1.338	3.161	2.404	11.698
150	11.026	12.000	2.374	7.592	1.496	1.679	3.965	3.015	11.009
200	13.115	4.000	0.396	3.315	0.250	0.280	0.662	0.503	19.234
200	13.115	6.000	0.892	4.972	0.562	0.630	1.489	1.133	16.802
200	13.115	8.000	1.585	6.630	0.999	1.121	2.647	2.013	15.266
200	13.115	10.000	2.156	7.565	1.358	1.524	3.600	2.738	14.172
200	13.115	12.000	2.707	8.287	1.706	1.914	4.521	3.438	13.336
250	15.205	4.000	0.396	3.315	0.250	0.280	0.662	0.503	22.319
250	15.205	6.000	0.892	4.972	0.562	0.630	1.489	1.133	19.497
250	15.205	8.000	1.585	6.630	0.999	1.121	2.647	2.013	17.714
250	15.205	10.000	2.408	8.145	1.517	1.703	4.022	3.059	16.445
250	15.205	12.000	3.025	8.922	1.906	2.139	5.051	3.842	15.475
300	17.294	4.000	0.396	3.315	0.250	0.280	0.662	0.503	25.203
300	17.294	6.000	0.892	4.972	0.562	0.630	1.489	1.133	22.017
300	17.294	8.000	1.585	6.630	0.999	1.121	2.647	2.013	20.004
300	17.294	10.000	2.477	8.287	1.561	1.751	4.137	3.146	18.570
300	17.294	12.000	3.331	9.515	2.099	2.355	5.564	4.231	17.475

Fetch=Longitud del fetch, Time = Duracion del fetch, Wind=Velocidad del viento, Hs=Altura significativa, Ts=Periodo significativo, Hmean=Altura promedio, Hrms=Raiz media cuadrada de la altura, H1/100=Promedio del 1% de las alturas mas altas, H1/10=promedio del 10% de las alturas mas altas, Tfull=Tiempo para que el mar sea totalmente desarrollado.

**Tabla 5.9-38**  
**Pronósticos de Olas Determinados por el Modelo Espectral de JONSWAP.**

Fetch Km	Time hrs	Wind m/s	Hs (m)	Ts (s)	Hmean (m)	Hrms (m)	H1/100 (m)	H1/10 (m)	Tpeak (s)
25	5.803	4.000	0.615	3.276	0.385	0.430	1.025	0.782	3.448
25	5.803	6.000	0.895	3.770	0.561	0.626	1.492	1.139	3.968
25	5.803	8.000	1.162	4.167	0.728	0.814	1.938	1.479	4.386
25	5.803	10.000	1.421	4.481	0.891	0.995	2.370	1.808	4.717
25	5.803	12.000	1.673	4.750	1.049	1.171	2.790	2.129	5.000
50	6.848	4.000	0.339	2.582	0.213	0.238	0.566	0.432	2.717
50	6.848	6.000	1.340	4.750	0.840	0.938	2.234	1.705	5.000
50	6.848	8.000	1.732	5.220	1.085	1.212	2.888	2.204	5.495
50	6.848	10.000	2.112	5.655	1.323	1.478	3.521	2.687	5.952
50	6.848	12.000	2.482	6.013	1.555	1.737	4.139	3.158	6.329
75	7.892	4.000	0.384	2.746	0.241	0.269	0.641	0.489	2.890
75	7.892	6.000	0.682	3.467	0.427	0.477	1.137	0.868	3.650
75	7.892	8.000	1.005	4.095	0.630	0.703	1.675	1.278	4.310
75	7.892	10.000	2.656	6.419	1.664	1.859	4.428	3.379	6.757
75	7.892	12.000	3.120	6.884	1.955	2.184	5.203	3.970	7.246
100	8.937	4.000	0.427	2.896	0.267	0.299	0.712	0.543	3.049
100	8.937	6.000	0.751	3.654	0.470	0.525	1.251	0.955	3.846
100	8.937	8.000	1.102	4.318	0.690	0.771	1.837	1.402	4.545
100	8.937	10.000	3.123	7.090	1.957	2.186	5.208	3.974	7.463
100	8.937	12.000	3.668	7.540	2.299	2.568	6.117	4.668	7.937
150	11.026	4.000	0.507	3.167	0.317	0.355	0.845	0.645	3.333
150	11.026	6.000	0.880	3.992	0.551	0.616	1.467	1.120	4.202
150	11.026	8.000	1.286	4.703	0.806	0.900	2.145	1.637	4.950
150	11.026	10.000	1.721	5.337	1.078	1.205	2.870	2.190	5.618
150	11.026	12.000	4.606	8.636	2.887	3.225	7.681	5.862	9.091
200	13.115	4.000	0.581	3.417	0.364	0.407	0.969	0.739	3.597
200	13.115	6.000	1.001	4.318	0.627	0.701	1.669	1.274	4.545
200	13.115	8.000	1.460	5.053	0.915	1.022	2.434	1.858	5.319
200	13.115	10.000	1.951	5.793	1.223	1.366	3.254	2.483	6.098
200	13.115	12.000	2.471	6.419	1.548	1.730	4.120	3.144	6.757
250	15.205	4.000	0.651	3.626	0.408	0.456	1.086	0.828	3.817
250	15.205	6.000	1.116	4.567	0.700	0.782	1.862	1.421	4.808
250	15.205	8.000	1.625	5.398	1.019	1.138	2.710	2.068	5.682
250	15.205	10.000	2.171	6.169	1.360	1.520	3.620	2.762	6.494
250	15.205	12.000	2.748	6.786	1.722	1.923	4.582	3.497	7.143
300	17.294	4.000	0.718	3.831	0.450	0.503	1.197	0.914	4.032
300	17.294	6.000	1.227	4.847	0.769	0.859	2.046	1.561	5.102
300	17.294	8.000	1.784	5.723	1.118	1.249	2.975	2.270	6.024
300	17.294	10.000	2.382	6.507	1.493	1.667	3.972	3.031	6.849
300	17.294	12.000	3.014	7.197	1.889	2.110	5.026	3.835	7.576

Fetch=Longitud del fetch, Time = Duracion del fetch, Wind=Velocidad del viento, Hs=Altura significativa, Ts=Periodo significativo, Hmean=Altura promedio, Hrms=raíz media cuadrada de la altura, H1/100=Promedio del 1% de las alturas más altas, H1/10=promedio del 10% de las alturas más altas, Tpeak=Periodo pico del espectro.

### 5.9.3.2 Calidad de agua

#### a) Hidrografía

- Temperatura

Durante el período invernal, la distribución superficial de temperatura al interior de Bahía Caldera (estaciones D-01 a D-05) establece un valor promedio de  $13,82 \pm 0,30^{\circ}\text{C}$ , con un rango térmico que fluctuó entre  $13,44$  y  $14,20^{\circ}\text{C}$ . La distribución vertical presentó un descenso uniforme de los valores de temperatura hacia los estratos más profundos (20 m) donde se verificó un valor promedio de  $12,77 \pm 0,21^{\circ}\text{C}$ . (**Figura 5.9-52**). Sólo la estación de referencia (D-06) ubicada al exterior de la Bahía (ver **Figura 5.9-4**), se caracterizó por presentar una zona de gradientes verticales, establecida entre la superficie y los 40 m de profundidad. Bajo este estrato, se observó un descenso uniforme hasta la máxima profundidad de muestreo (110 m).

En la campaña de Diciembre 2009, las estaciones ubicadas al interior de Bahía Caldera presentaron aguas superficiales comparativamente más cálidas que el período invernal, con un valor promedio de temperatura de  $17,72 \pm 0,50^{\circ}\text{C}$ , y un rango térmico asociado que fluctuó entre  $17,69$  y  $18,83^{\circ}\text{C}$ . La distribución vertical presentó un descenso de los valores de temperatura hacia los estratos más profundos (20 m) donde se verificó un valor promedio de  $13,90 \pm 0,40^{\circ}\text{C}$ . La estación D-03 y las estaciones del sector oriental de Bahía Caldera (D-04 y D-05) presentaron mayores gradientes térmicos asociado a los primeros metros de profundidad (**Figura 5.9-53**).

La estación de referencia (D-06) ubicada al exterior de la Bahía, se caracterizó por presentar una marcada termoclina entre la superficie y los 20 m de profundidad, a partir de lo cual muestra un descenso uniforme hasta la máxima profundidad de muestreo (100 m).

- Salinidad

La distribución de salinidad al interior de Bahía Caldera (estaciones D-01 a D-05) durante el invierno de 2009 presentó un valor promedio de  $34,54 \pm 0,01$  psu, presentando un estrecho rango de variación que fluctuó entre  $34,52$  y  $34,55$  psu. La distribución vertical establece una columna de agua altamente homogénea en todas las estaciones evaluadas, sin exhibir haloclinas ni gradientes verticales destacados. (**Figura 5.9-54**). Similar situación se verificó en la estación de referencia (D-06), caracterizada por una distribución homogénea de toda la columna de agua, mostrando un descenso más bien uniforme hasta la máxima profundidad de muestreo (110 m).

De manera similar, durante la campaña estival la distribución de salinidad al interior de Bahía Caldera (estaciones D-01 a D-05) presentó valores similares de salinidad estableciendo un valor promedio de  $34,52 \pm 0,02$  psu, presentando un estrecho rango de variación que fluctuó entre  $34,49$  y  $34,54$  psu. La distribución vertical presentó una columna de agua altamente homogénea en todas las estaciones evaluadas, sin exhibir haloclinas ni gradientes verticales destacados. (**Figura 5.9-55**), donde en el estrato de 20 m se verificó una salinidad promedio de  $34,51 \pm 0,01$  psu.

La estación de referencia (D-06) presentó características similares, con una distribución homogénea de toda la columna de agua.



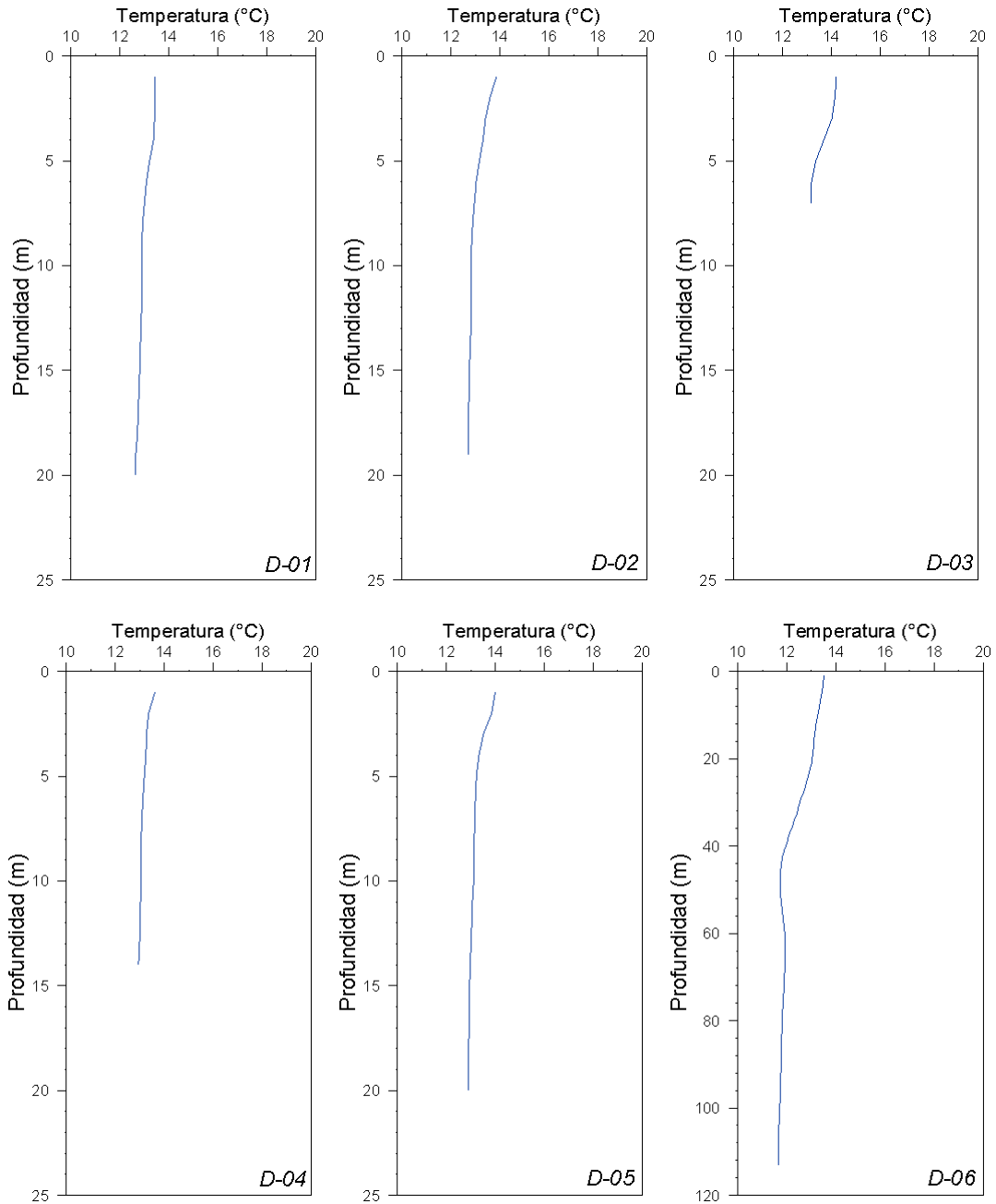
- Densidad

La distribución de densidad en Bahía Caldera durante el invierno de 2009 presentó un valor superficial promedio de  $26,023 \pm 0,066 \sigma_t$ , presentando un rango de variación que fluctuó entre 25,943 y 26,112  $\sigma_t$ . La distribución vertical al interior de la Bahía fue similar a lo descrito para la salinidad, observándose escasa variación vertical, sin exhibir picniclinas ni gradientes verticales destacados. (**Figura 5.9-56**). La estación de referencia se caracterizó por presentar un mayor grado de estratificación entre la superficie y los 40 m de profundidad, a partir de lo cual muestra un descenso uniforme hasta la máxima profundidad de muestreo (110 m).

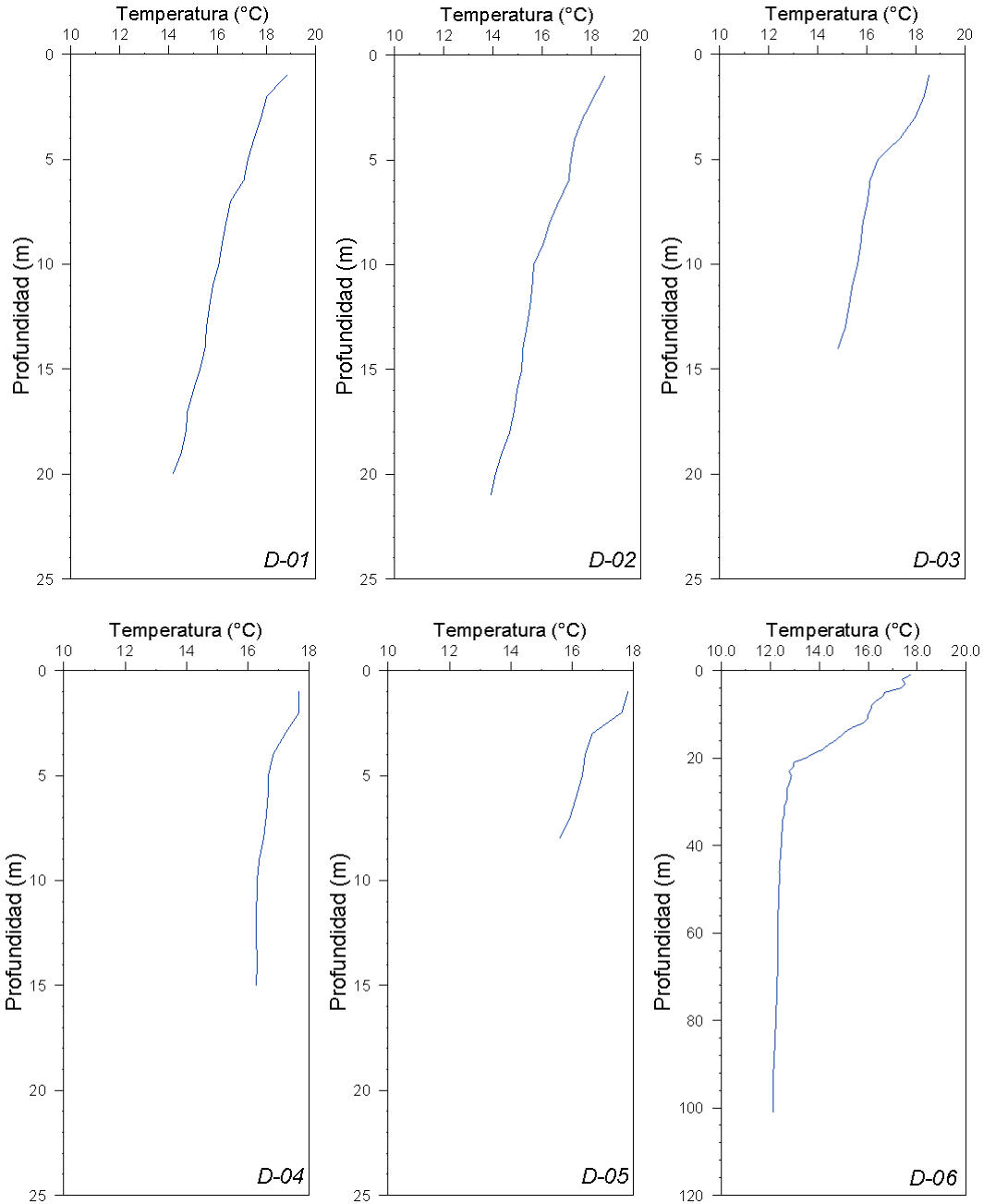
Durante la campaña estival, la densidad en Bahía Caldera presentó un valor superficial promedio de  $26,023 \pm 0,066 \sigma_t$ , presentando un rango de variación que fluctuó entre 25,943 y 26,112  $\sigma_t$ . La distribución vertical al interior de la Bahía se caracterizó por el aumento uniforme de los valores de esta variable hacia los estratos más profundos, observándose escasa variación vertical, sin exhibir picniclinas ni gradientes verticales destacados. (**Figura 5.9-57**).

La estación de referencia, se caracterizó por presentar una mayor estratificación en el estrato superficial, observándose una picnoclina bien definida entre la superficie y los 20 m de profundidad, a partir de lo cual muestra un descenso uniforme hasta la máxima profundidad de muestreo (110 m).

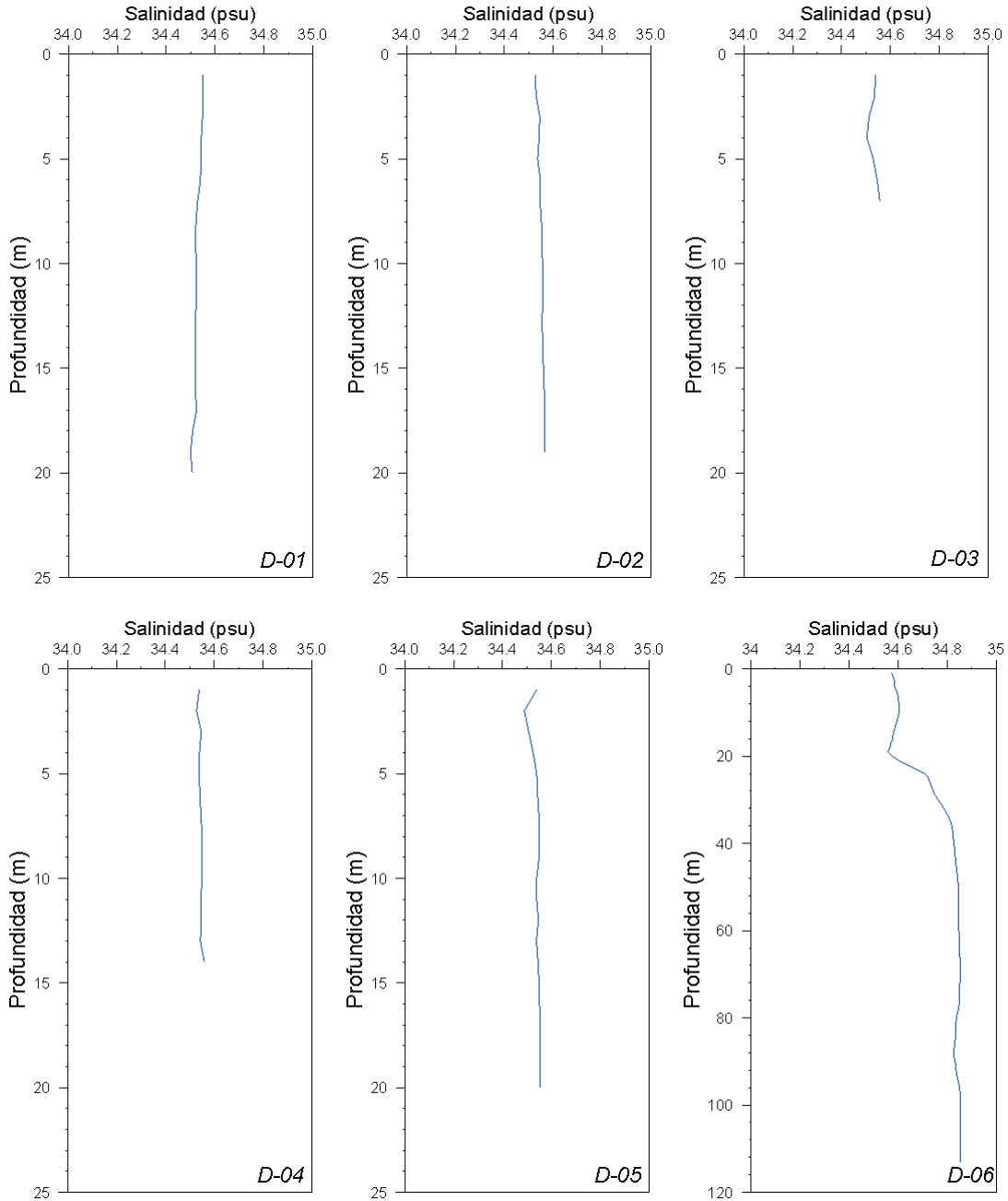
**Figura 5.9-52**  
**Distribución Vertical de Temperatura (°C) para cada una de las Estaciones Evaluadas**  
**Durante Septiembre de 2009.**



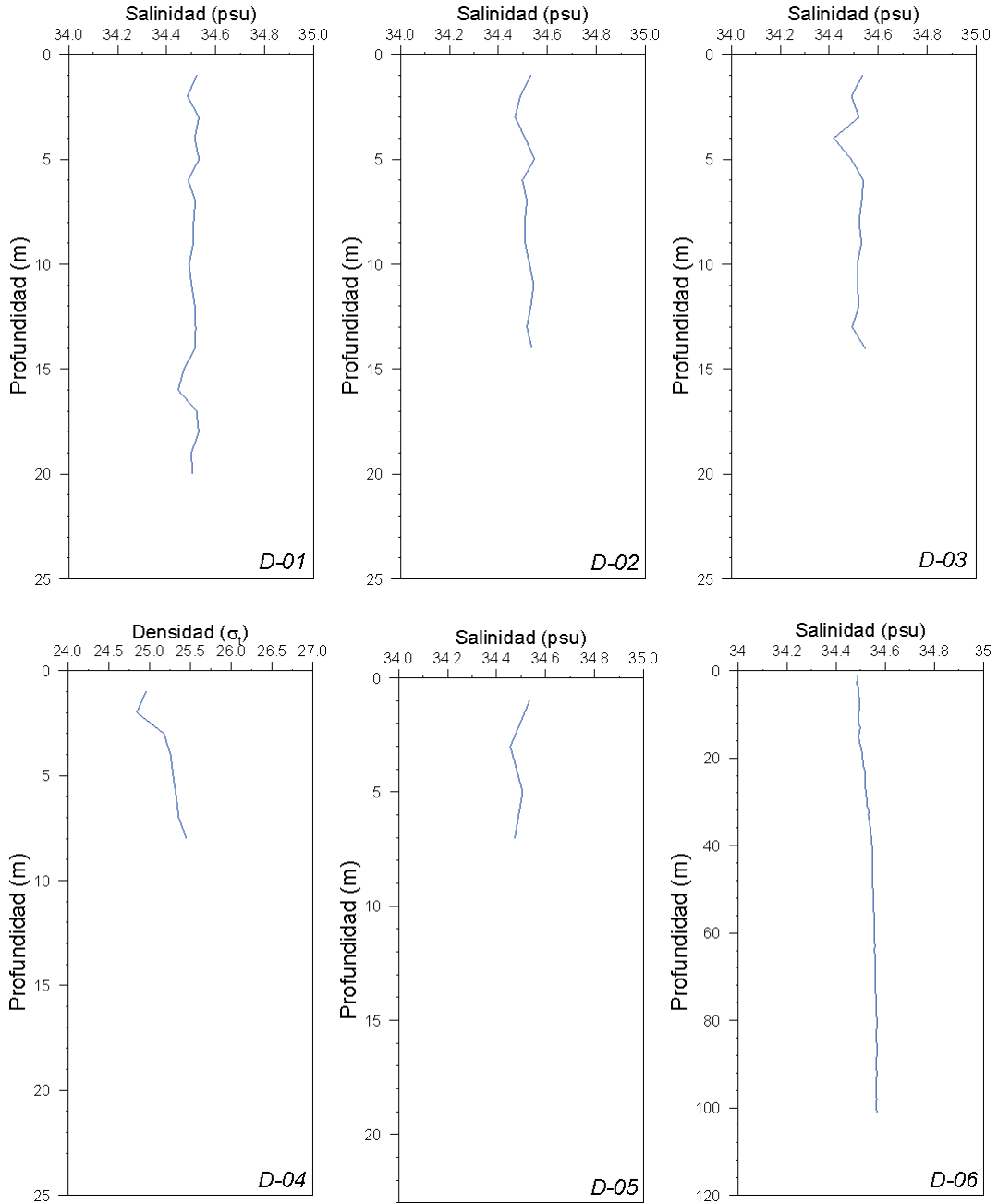
**Figura 5.9-53**  
**Distribución Vertical de Temperatura (°C) para cada una de las Estaciones Evaluadas durante Diciembre de 2009.**



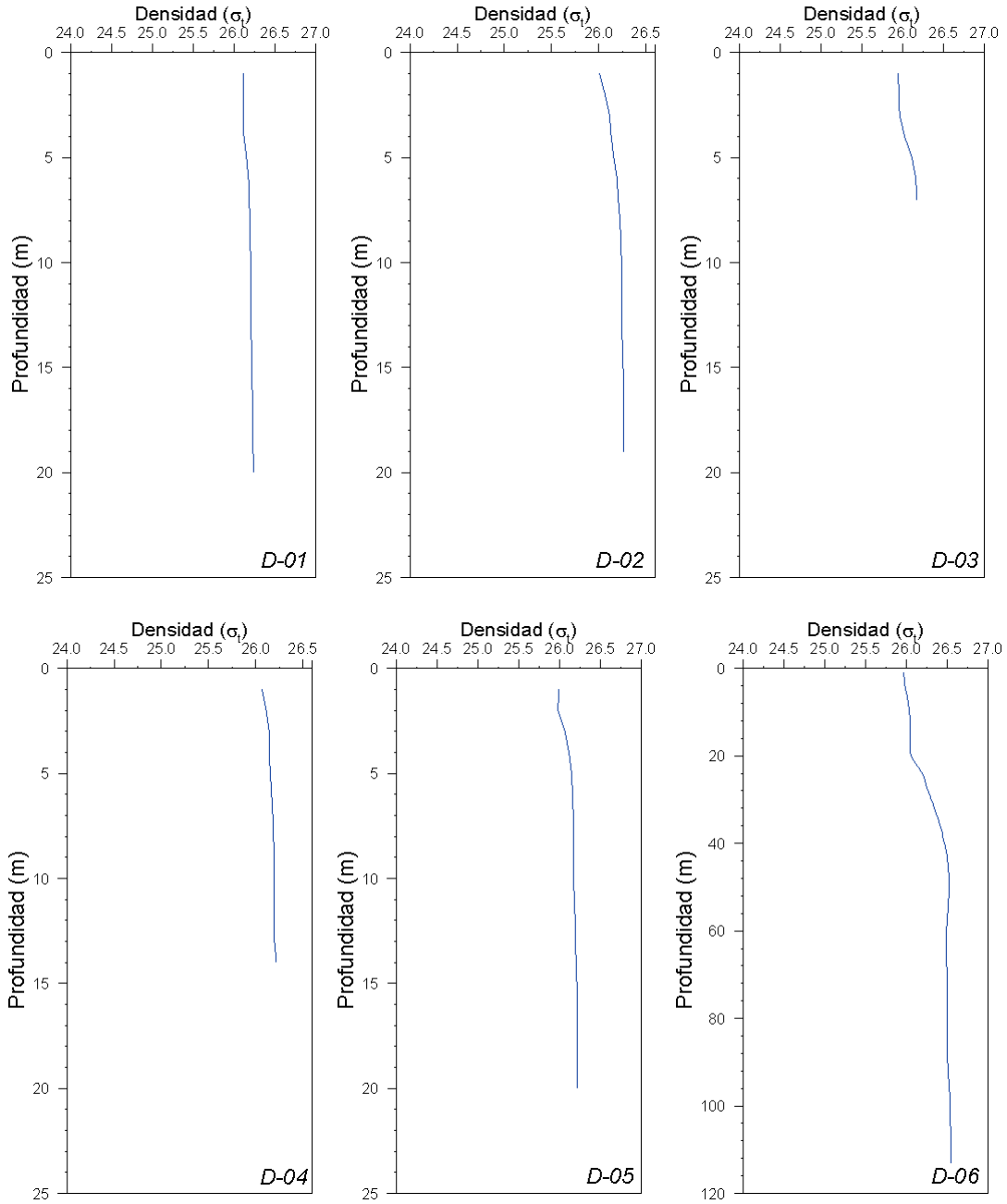
**Figura 5.9-54**  
**Distribución Vertical de Salinidad (psu) Para Cada una de las Estaciones Evaluadas**  
**Durante Septiembre de 2009.**



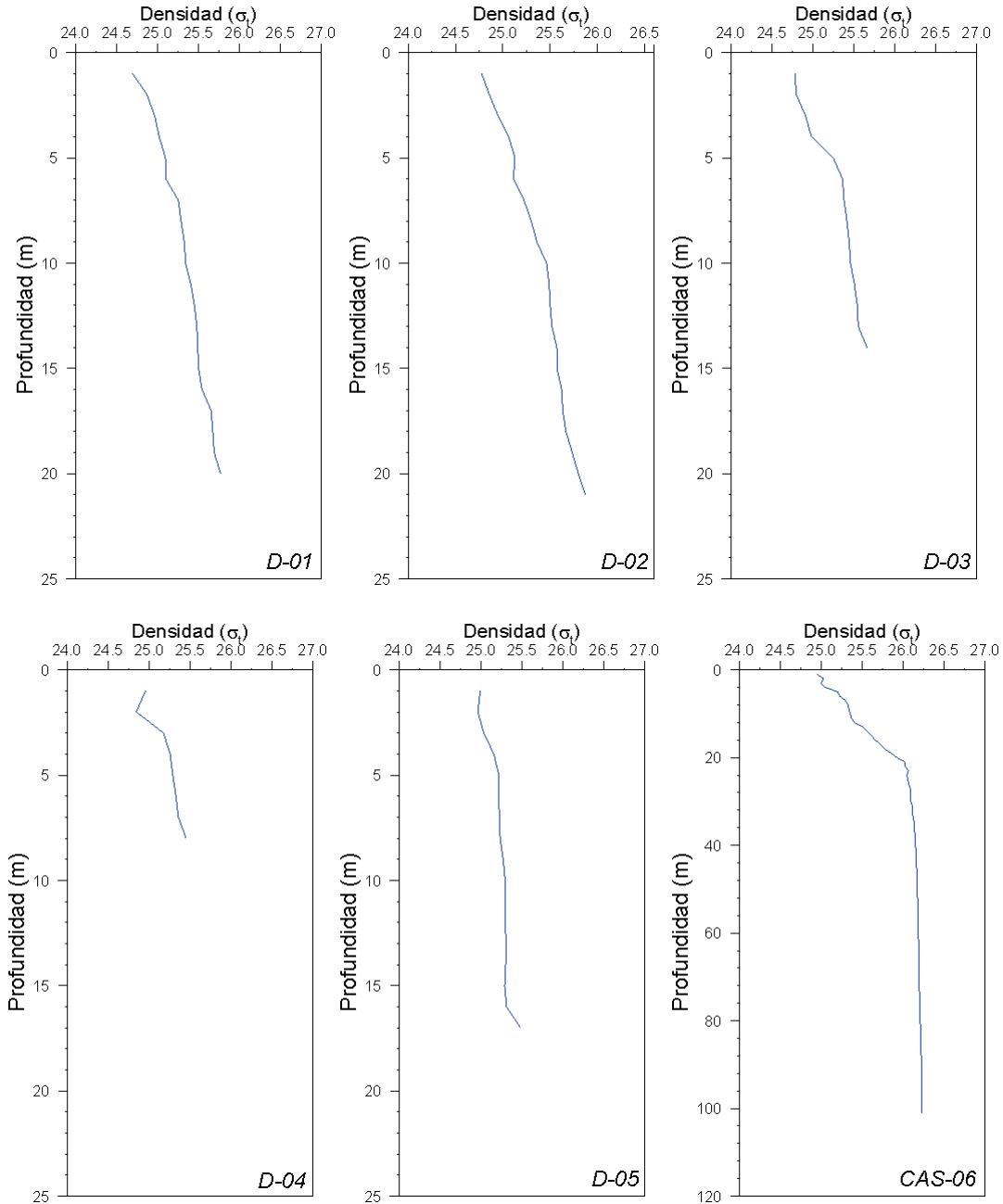
**Figura 5.9-55**  
**Distribución Vertical de Salinidad (psu) Para Cada una de las Estaciones Evaluadas**  
**Durante Diciembre de 2009.**



**Figura 5.9-56**  
**Distribución Vertical de Densidad ( $\sigma_t$ ) Para Cada una de las Estaciones Evaluadas**  
**Durante Septiembre de 2009.**



**Figura 5.9-57**  
**Distribución Vertical de Densidad ( $\sigma_t$ ) Para Cada una de las Estaciones Evaluadas Durante Diciembre de 2009.**



- Relación Temperatura-Salinidad

La relación de temperatura y salinidad (**Figura 5.9-58**) permite establecer un comportamiento diferenciado durante la realización de ambas campañas de mediciones.

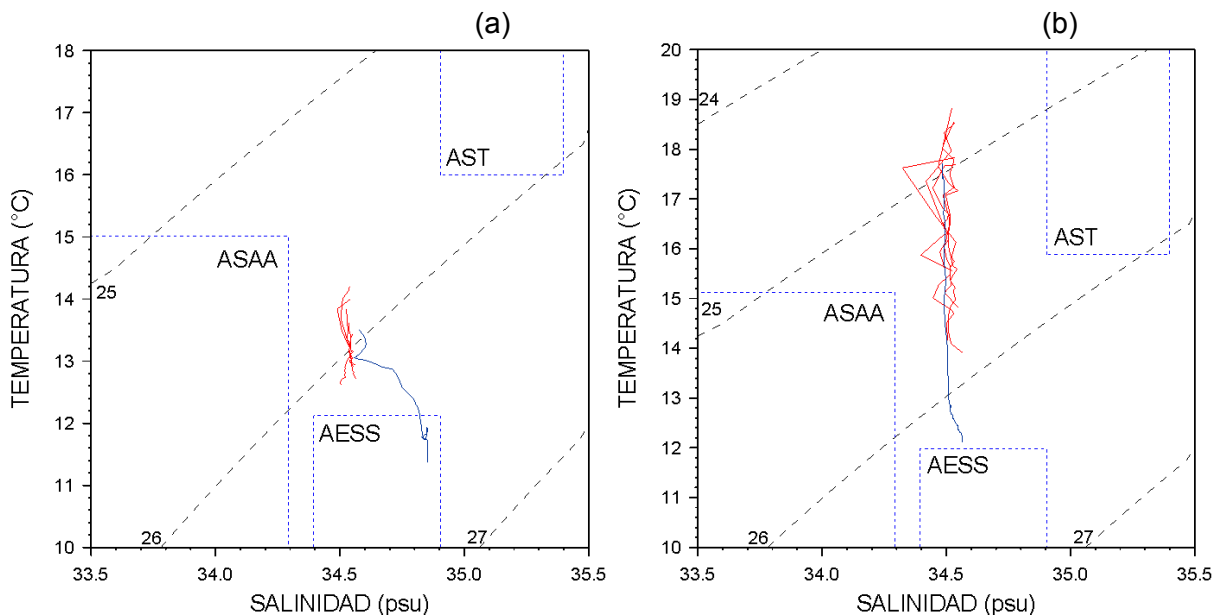
Durante el período invernal (Septiembre de 2009), las estaciones ubicadas al interior de Bahía Caldera establecen la presencia de mezcla entre aguas subantárticas (ASAA) y aguas ecuatoriales subsuperficiales (AESS), verificándose índices termosalininos entre 12,62 y 14,21°C y de 34,48 a 34,56 psu.

La estación ubicada fuera de la Bahía y establecida como referencia, presentó un comportamiento diferente en el diagrama, debido principalmente a su mayor profundidad (c.a. 120 m) y donde se verifica la presencia hacia la máxima profundidad de muestreo de aguas con características de aguas ecuatoriales subsuperficiales.

Durante el período estival, las estaciones ubicadas al interior de Bahía Caldera muestran la presencia de mezcla entre aguas subantárticas (ASAA) y aguas subantárticas (AST), verificándose índices termosalininos entre 13,93 y 18,81°C y de 34,33 a 34,55 psu.

La estación ubicada fuera de la Bahía y establecida como referencia, presentó hacia estratos más profundos la influencia de aguas ecuatoriales subsuperficiales (AESS) caracterizadas por temperaturas <13°C y salinidades >34,5 psu.

**Figura 5.9-58**  
**Diagrama de Temperatura y Salinidad Para Cada una de las Estaciones Evaluadas en Bahía Caldera (rojo) y en la Estación de Referencia (D-06, en azul), Durante los períodos: a) estival y b) invernal.**





**b) Calidad química**

*b.1) Indicadores Físicos y Químicos*

La **Tabla 5.9-39** presenta la estadística básica (promedio, desviación estándar y rango) de las variables físico-químicas analizadas en ambos períodos de muestreo. Destacaron las variables DQO, amonio, fosfatos, fósforo total y los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), por presentar tanto en el período invernal como estival, el predominio de magnitudes centradas en los límites de detección analíticos utilizados; por tal motivo, no fueron consideradas para su representación gráfica ni para el posterior análisis estadístico (comparaciones entre estratos, estaciones y campañas).

**Tabla 5.9-39**  
**Estadística Básica Asociada a las Variables FísicoQuímicas Evaluadas por Campaña de Monitoreo en la Columna de Agua del Area de Estudio.**

Parámetros	Campaña Invernal 2009		Campaña Estival 2010	
	Promedio ± DS	Rango	Promedio ± DS	Rango
pH	8,13 ± 0,05	8,06 - 8,21	7,99 ± 0,13	7,70 - 8,27
Sólidos Suspendidos (mg/L)	10,3 ± 2,3	6,8 - 13,6	7,3 ± 2,5	1,0 - 10,5
Sólidos Disueltos (g/L)	39,1 ± 0,2	38,6 - 39,5	38,8 ± 0,9	36,7 - 40,7
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	2,6 ± 0,8	2 - 4	4,7 ± 0,7	4 - 6
DQO (mg/L)	100% <5,0 bld	---	100% <5,0 bld	---
Potencial Rédox (mVol/ECS)	-110,33 ± 4,05	-105,0 - -117,0	6,53 ± 4,74	-1,20 - 12,90
Aceites y Grasas (mg/L)	6,3 ± 1,7	3,8 - 9,4	2,6 ± 0,6	2,0 - 3,7
Nitratos (mg/L)	0,23 ± 0,01	0,20 - 0,24	100% <0,20 bld	---
Nitrógeno Total (mg/L)	0,65 ± 0,20	0,32 - 0,93	0,74 ± 0,27	0,40 - 1,20
Amonio (mg/L)	100% <0,1 bld	---	100% <0,1 bld	---
Fosfatos (mg/L)	91,7% <0,6 bld	0,6	100% <0,2 bld	---
Fósforo Total (mg/L)	91,7% <0,2 bld	0,2	100% <0,2 bld	---
HAP (µg/L)	100% <6 bld	---	100% <6 bld	---

bld: bajo el límite de detección

El pH durante la campaña invernal 2008 presentó una escasa variación, con valores que fluctuaron entre los 8,06 y 8,21 (**Tabla 5.9-39, Figura 5.9-59a**).

Durante el período estival, se registró un valor promedio de pH levemente menor que el descrito anteriormente (7,99 ± 0,13); sin embargo, la totalidad de los valores registrados se encuentran dentro de los valores normados para la protección de las aguas marinas y estuarinas aptas para actividades de recreación con contacto directo. La representación gráfica (**Figura 5.9-59b**), se caracterizó nuevamente por el predominio de una escasa variabilidad de la información, no existiendo diferencias estadísticamente significativas entre las estaciones y estratos de muestreo (p>0,050).

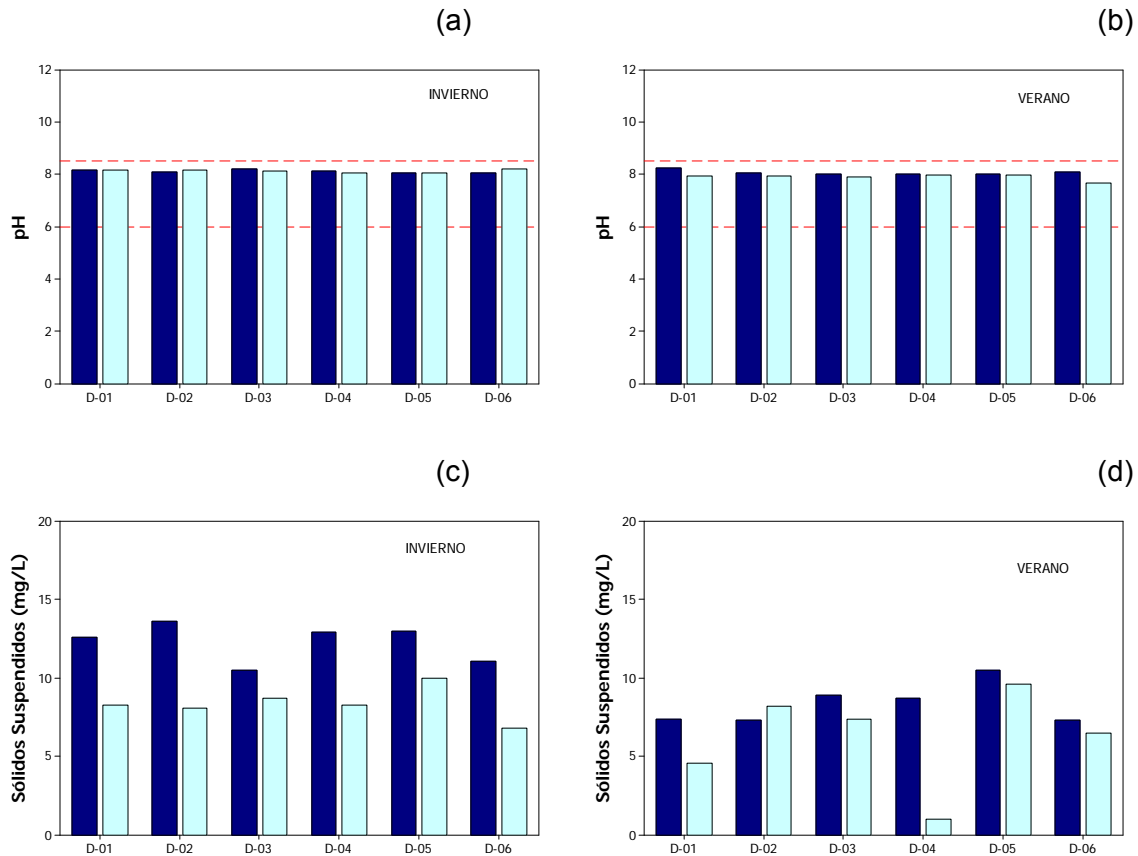
El contraste estadístico entre campañas, reveló la existencia de diferencias significativas las cuales se explican por los valores comparativamente mayores que predominaron durante el período invernal ( $p=0,001$ ); sin embargo, estas diferencias numéricas no constituyeron un cambio en la calidad ambiental, predominando en ambos períodos de monitoreo, aguas que clasificaron como de clase 1 o muy buena calidad, según el instructivo de calidad secundaria (Conama, 2002). Cabe destacar, que los valores de pH reportados se encuentran dentro del rango de variación que ha sido informado para otras zonas costeras de nuestro país, destacando lo informado para el sector de Bahía Bajo Molle en Iquique (7,38-8,27; Arias *et al.*, 2001), Bahía Chañaral (7,79-8,13; Andrade *et al.*, 2006) o el sector costero de Constitución (7,18-8,24; CREA, 2007 y 2009).

Los sólidos suspendidos presentaron durante el período invernal una concentración promedio de  $10,3 \pm 2,3$  mg/L, con un rango que abarcó desde los 6,8 a 13,6 mg/L (Tabla 5.9-39). La representación gráfica de esta campaña (**Figura 5.9-59c**), se caracterizó por evidenciar niveles comparativamente mayores en el nivel superficial, los cuales son estadísticamente significativos ( $p=0,004$ ) respecto de los menores valores que predominaron hacia el estrato de fondo. Al evaluar la distribución espacial de esta variable, el análisis estadístico reveló la ausencia de diferencias entre las estaciones de muestreo ( $p>0,050$ ), siendo los resultados de Bahía Caldera similares a las magnitudes que caracterizaron a la estación de referencia (D-06).

Durante el período estival, los sólidos suspendidos evidenciaron una magnitud promedio de  $7,3 \pm 2,5$  mg/L, con una fluctuación que osciló entre los 1,0 y 10,5 mg/L (**Tabla 5.9-39**). La representación gráfica de esta campaña (**Figura 5.9-59d**), evidencia nuevamente el predominio de concentraciones comparativamente mayores en el estrato superficial a excepción de la estación D-02; sin embargo, esta diferencia entre estratos no es tan marcada, lo que explica la ausencia de diferencias estadísticas encontradas al agrupar los resultados por profundidad de muestreo. En general, aunque la distribución espacial de esta variable es más bien irregular, no se detectaron diferencias significativas entre las estaciones de muestreo ( $p>0,050$ ).

El contraste entre campañas (invernal y estival), reveló la existencia de diferencias significativas ( $p=0,009$ ), debido a los niveles comparativamente mayores que caracterizaron al período invernal.

**Figura 5.9-5.9-59**  
**Diagramas de Barra para las Variables pH y Sólidos Suspendedos por Estación, Estrato y Campaña de Muestreo.**



Nota: Barras azules nivel superficial, barras celestes estrato de fondo.

Los sólidos disueltos evidenciaron el predominio de una distribución homogénea en ambas campañas de monitoreo, con magnitudes promedio de  $39,1 \pm 0,2$  mg/L y  $38,8 \pm 0,9$  mg/L para los períodos invernal y estival, respectivamente (**Tabla 5.9-39**). Esta distribución, con escasa variación temporal, explica la ausencia de diferencias estadísticas al comparar ambos períodos de monitoreo ( $p > 0,050$ ). Si bien en ninguna de las campañas se detectó diferencias entre las estaciones de muestreo ( $p > 0,050$ ), al agrupar los resultados por estrato de profundidad solamente durante la campaña invernal 2009 se identificó diferencias estadísticas ( $p = 0,043$ ), lo que se explica por los niveles comparativamente mayores que predominaron en el estrato de fondo (**Figuras 60a y 60b**).

La  $DBO_5$  presentó durante la campaña invernal 2009 una concentración promedio de  $2,6 \pm 0,8$  mg/L, con una oscilación entre 2 y 4 mg/L (**Tabla 5.9-39**), La representación gráfica (**Figura 5.9-60c**), presentó una escasa variación en el nivel de fondo, con magnitudes centradas en los 2 mg/L. El nivel superficial en cambio, presentó una mayor variabilidad, con niveles comparativamente mayores; a excepción de la estación de referencia (D-06) que evidenció una distribución vertical homogénea. Este patrón de distribución espacial y vertical es consistente con el análisis estadístico no paramétrico, el cual reveló sólo diferencias significativas al analizar la categoría Estratos ( $p=0,016$ ).

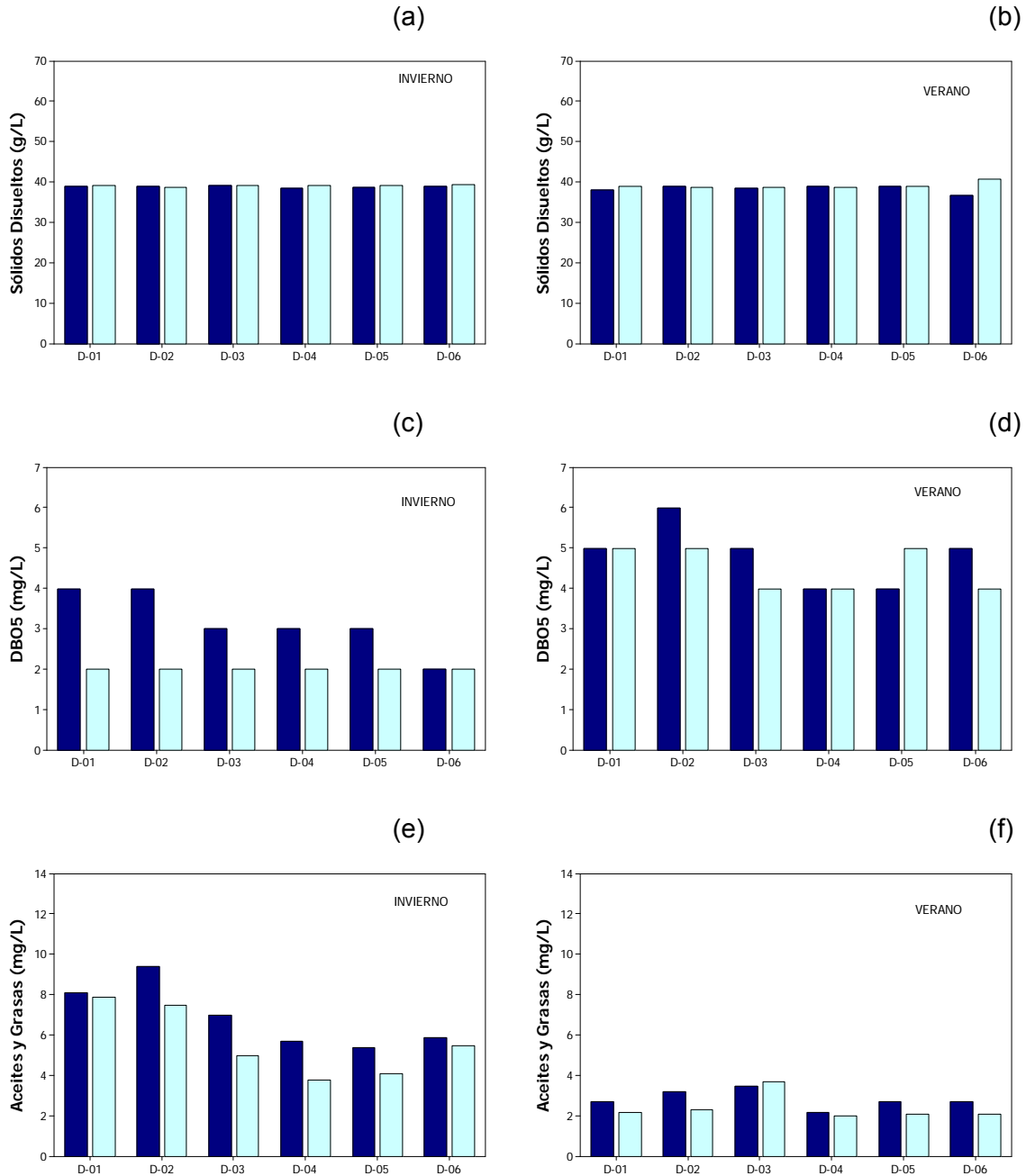
Durante el período estival, se registraron magnitudes estadísticamente mayores que las registradas en el período invernal ( $p=0,000$ ), con un valor promedio de  $4,7 \pm 0,7$  mg/L y rangos que fluctuaron entre 4 y 6 mg/L (Tabla 5.9-39). La representación de los resultados obtenidos durante este período (**Figura 5.9-60d**), evidenció una distribución relativamente regular entre las estaciones y estratos de muestreo, con valores levemente mayores asociado a la estación D-02; en tanto los menores valores se registraron en D-04. En general, salvo en D-05, los valores de  $DBO_5$  del nivel superficial fueron mayores que los registrado en el nivel de fondo, pero a diferencia de lo reportado en la campaña precedente (invierno 2009), durante el período estival 2010 estas diferencias son mucho menores, no constituyendo una fuente significativa de variación ( $p>0,050$ ).

Durante la campaña invernal 2009, los niveles de aceites y grasas presentaron una concentración promedio de  $6,3 \pm 1,7$  mg/L y un rango de valores que osciló entre los 3,8 a 9,4 mg/L (**Tabla 5.9-39**). En general, esta variable se caracterizó por presentar niveles levemente mayores en el nivel superficial, con una mayor concentración asociada a las estaciones localizadas en las cercanías del muelle (D-01 y D-02), mientras que los menores valores se registraron en las estaciones de fondo de saco (D-05) y la localizada al exterior de Bahía Caldera (estación de referencia D-06; **Figura 5.9-60e**). Sin embargo, los resultados encontrados no constituyeron diferencias estadísticas significativas ( $p>0,050$ ) en ninguna de las categorías de reclasificación utilizadas (Estación y Estrato).

Durante la campaña estival 2010, se registraron magnitudes estadísticamente inferiores a las informadas en la campaña invernal ( $p=0,000$ ), con una concentración promedio de  $2,6 \pm 0,6$  mg/L (rango 2,0 a 3,7 mg/L; **Tabla 5.9-39**). Gráficamente predominó la tendencia de encontrar valores levemente mayores en el nivel superficial, con una mayor concentración asociada a las estaciones localizadas en las cercanías del muelle de Punta Padrones (D-01 y D-02; **Figura 5.9-60f**); sin embargo, de manera similar a lo informado en la campaña precedente, no se detectaron diferencias estadísticas ( $p>0,050$ ) ni entre los estratos ni entre las estaciones de muestreo.

Cabe destacar que los niveles de aceites y grasas informados para Bahía Caldera en ambos períodos de monitoreo, son contrastables a las concentraciones reportadas para Bahía Bajo Molle en Iquique ( $0,25-5,39$  mg/L; Arias *et al.*, 2001) o el sector costero de Cobquecura y Coliumo ( $7,26$  y  $7,65$  mg/L; Leonardi *et al.*, 2009), y contrastando notoriamente con los máximos de 122 y 62 mg/L que se han reportado en el sector costero de Constitución durante los períodos invernal 2007 y estival 2008 (CREA 2007 y 2009).

**Figura 5.9-60**  
**Diagramas de Barra para las Variables: Sólidos Disueltos, DBO<sub>5</sub> y Aceites y Grasas por Estación, Estrato y Campaña de Muestreo.**



Nota: Barras azules nivel superficial, barras celestes estrato de fondo.

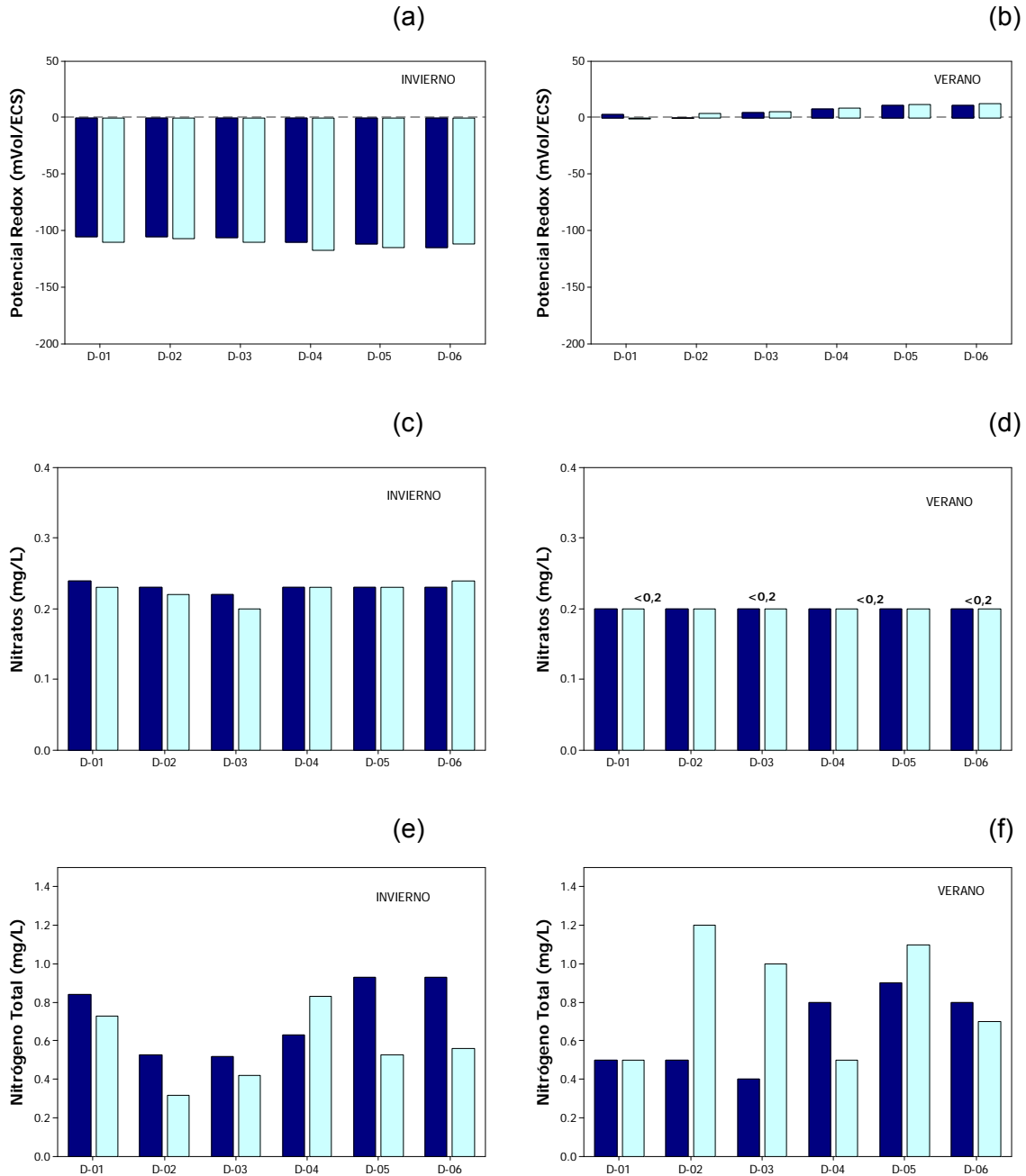
Una marcada variación estacional caracterizó al potencial rédox (contraste entre campañas significativo, valor  $p=0,000$ ), con características reductoras durante el período invernal y del tipo oxidativo durante la campaña estival (**Tabla 5.9-39; Figura 5.9-61a y 61b**). Sin embargo, en ninguna de las campañas de monitoreo se registró variaciones espaciales estadísticamente significativas entre las estaciones de muestreo o entre los estratos de profundidad ( $p>0,050$ ).

Una escasa variación entre los períodos de monitoreo caracterizó los niveles de nitratos en el área de estudio, con magnitudes que oscilaron entre los 0,20 a 0,24 mg/L ( $0,23 \pm 0,01$  mg/L) durante la campaña invernal 2009 y con bajo el límite de detección ( $<0,2$  mg/L) durante la campaña estival 2010 (**Tabla 5.9-39**). Esta escasa variación de la información, explica la ausencia de diferencias estadísticamente significativas ( $p>0,050$ ), al contrastar los resultados entre las estaciones y estratos de muestreo. De lo anterior es posible señalar que independiente del período de muestreo, no se detectó valores o alguna tendencia al interior de Bahía Caldera, distinta de la que caracterizó la estación de referencia (D-06; **Figuras 61c y 61d**).

El nitrógeno total, durante la campaña invernal 2009 (**Figura 5.9-61e**), presentó una distribución irregular, con valores máximos asociados a las estaciones D-05 y D-06 (estación referencia), mientras que los menores valores se reportaron hacia el sector del muelle de Punta Padrones (estaciones D-02 y D-03), alcanzando un promedio para la campaña de  $0,65 \pm 0,20$  mg/L (**Tabla 5.9-39**). Por su parte durante la campaña estival ( $0,74 \pm 0,27$  mg/L), nuevamente se observó el predominio de una distribución irregular, con mayores magnitudes en el nivel de fondo de las estaciones D-02, D-03 y D-05; en tanto que los menores registros se encontraron asociados a ambos niveles de muestreo de la estación D-01 y al nivel superficial de la estación D-03.

En tanto, el contraste estadístico reveló la ausencia de diferencias significativas ( $p>0,050$ ) temporales (entre las campañas invernal y estival), mientras que los rangos de distribución del nitrógeno total entre las estaciones y estratos de muestreo, no evidenciaron diferencias significativas ( $p>0,050$ ) en ninguno de los períodos de monitoreo.

**Figura 5.9-61**  
**Diagramas de Barra para las Variables: Potencial Redox, Nitratos y Nitrógeno Total por Estación, Estrato y Campaña de Muestreo.**



Nota: Barras azules nivel superficial, barras celestes estrato de fondo.

b.2) *Elementos Traza Esenciales*

Si bien aunque las variables óxido de magnesio y la fracción Ni+Co estrictamente no son considerados como esenciales, se integró a esta clasificación de los resultados. Un resumen de la estadística básica (promedio  $\pm$  desviación estándar y rango), en sus fracciones totales y disueltos, es presentado en las **Tablas 5.9-40 y 5.9-41**, considerando además la campaña de monitoreo (invernal 2009 y estival 2010).

**Tabla 5.9-40**  
**Estadística Básica Asociada a los Elementos Traza Esenciales Totales Evaluados en la Columna de Agua del Área de Estudio.**

Parámetro	Campaña Invernal 2009		Campaña Estival 2010	
	Promedio $\pm$ DS	Rango	Promedio $\pm$ DS	Rango
Hierro ( $\mu\text{g/L}$ )	10,18 $\pm$ 1,63	7,67-13,20	9,22 $\pm$ 0,16	9,01-9,43
Cobre ( $\mu\text{g/L}$ )	1,247 $\pm$ 0,160	1,130-1,730	1,167 $\pm$ 0,045	1,100-1,240
Cromo ( $\mu\text{g/L}$ )	0,387 $\pm$ 0,090	0,281-0,596	0,349 $\pm$ 0,029	0,316-0,407
Zinc ( $\mu\text{g/L}$ )	3,12 $\pm$ 0,53	2,03-3,84	2,34 $\pm$ 0,34	1,90-2,76
Magnesio (mg/L)	1266,3 $\pm$ 21,6	1236,4-1298,7	1269,1 $\pm$ 13,1	1251,2-1293,9
MgO (mg/L)	2412,5 $\pm$ 41,1	2355,5-2474,2	2106,3 $\pm$ 21,3	2077,0-2147,8
Bismuto ( $\mu\text{g/L}$ )	40,4 $\pm$ 6,1	28,8-48,3	43,2 $\pm$ 4,7	36,8-52,1
Molibdeno ( $\mu\text{g/L}$ )	10,52 $\pm$ 0,91	8,77-12,00	8,90 $\pm$ 0,42	8,36-9,78
Níquel ( $\mu\text{g/L}$ )	3,46 $\pm$ 0,35	2,75-3,93	2,50 $\pm$ 0,26	2,12-2,94
Cobalto ( $\mu\text{g/L}$ )	0,561 $\pm$ 0,091	0,414-0,682	0,412 $\pm$ 0,075	0,251-0,523
Ni+Co ( $\mu\text{g/L}$ )	4,02 $\pm$ 0,42	3,16-4,59	2,92 $\pm$ 0,25	2,54-3,28
Selenio ( $\mu\text{g/L}$ )	0,045 $\pm$ 0,009	0,028-0,060	0,056 $\pm$ 0,007	0,042-0,067
Vanadio ( $\mu\text{g/L}$ )	0,940 $\pm$ 0,204	0,611-1,380	0,645 $\pm$ 0,025	0,590-0,685

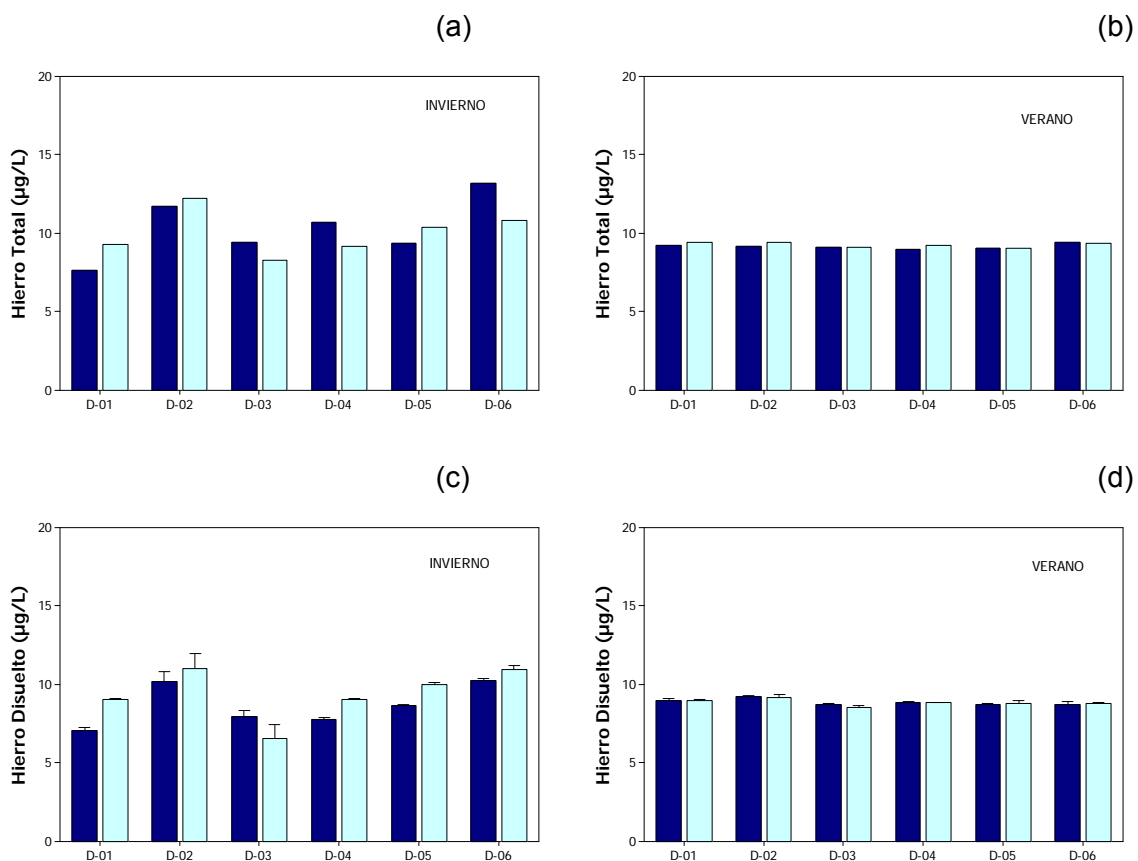
**Tabla 5.9-41**  
**Estadística Básica Asociada a los Elementos Traza Esenciales Disueltos Evaluados en la Clumna de Agua del Area de Estudio.**

Parámetro	Campaña Invernal 2009		Campaña Estival 2010	
	Promedio $\pm$ DS	Rango	Promedio $\pm$ DS	Rango
Hierro ( $\mu\text{g/L}$ )	9,04 $\pm$ 1,51	5,68-12,00	8,87 $\pm$ 0,23	8,42-9,34
Cobre ( $\mu\text{g/L}$ )	1,123 $\pm$ 0,073	0,097-1,250	1,075 $\pm$ 0,056	0,989-1,160
Cromo ( $\mu\text{g/L}$ )	0,258 $\pm$ 0,052	0,187-0,337	0,272 $\pm$ 0,033	0,220-0,315
Zinc ( $\mu\text{g/L}$ )	1,83 $\pm$ 0,31	1,50-2,46	1,79 $\pm$ 0,31	1,32-2,31
Magnesio (mg/L)	1240,5 $\pm$ 23,3	1188,5-1282,2	1242,0 $\pm$ 8,6	1225,4-1253,1
MgO (mg/L)	2363,4 $\pm$ 44,4	2264,3-2442,9	2061,7 $\pm$ 14,3	2034,1-2080,1
Bismuto ( $\mu\text{g/L}$ )	30,6 $\pm$ 6,4	21,4-45,8	34,5 $\pm$ 3,9	29,6-42,3
Molibdeno ( $\mu\text{g/L}$ )	9,22 $\pm$ 0,95	8,13-11,60	8,31 $\pm$ 0,50	7,06-8,94
Níquel ( $\mu\text{g/L}$ )	2,57 $\pm$ 0,30	2,01-2,97	1,84 $\pm$ 0,25	1,39-2,33
Cobalto ( $\mu\text{g/L}$ )	0,332 $\pm$ 0,103	0,122-0,518	0,223 $\pm$ 0,102	0,142-0,443
Ni+Co ( $\mu\text{g/L}$ )	2,90 $\pm$ 0,28	2,46-3,34	2,06 $\pm$ 0,23	1,67-2,50
Selenio ( $\mu\text{g/L}$ )	0,035 $\pm$ 0,011	0,020-0,053	0,048 $\pm$ 0,007	0,036-0,059
Vanadio ( $\mu\text{g/L}$ )	0,687 $\pm$ 0,174	0,430-0,991	0,616 $\pm$ 0,033	0,558-0,680



Durante la campaña invernal, las fracciones de total y disuelto del hierro se caracterizaron por presentar una distribución irregular entre las estaciones y estratos de muestreo; en tanto que durante el período estival, se registró una distribución más homogénea, con magnitudes levemente inferiores a las reportadas en el período invernal (**Figura 5.9-62**); sin embargo el contraste entre campañas no constituyó una fuente de variación estadística significativa ( $p > 0,050$ ). Si bien en ninguna de las campañas se detectó diferencias estadísticas entre los estratos de muestreo, diferencias espaciales entre las estaciones de monitoreo ( $p < 0,050$ ) se detectaron en ambas campañas sólo en la fracción disuelta del hierro.

**Figura 5.9-62**  
**Diagramas de Barra para las Fracciones Totales y Disueltas del Hierro por Estación, Estrato y Campañas de Muestreo.**



Nota: Barras azules nivel superficial, barras celestes estrato de fondo.

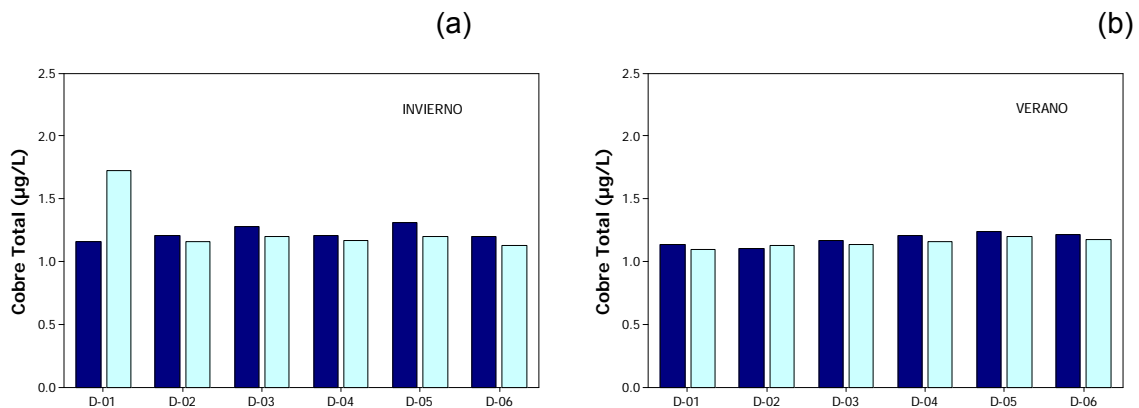
Los niveles de cobre presentaron en ambas fracciones (total y disuelta), una distribución relativamente homogénea; a excepción de un máximo puntual asociado a la fracción total en el estrato de fondo de la estación D-01 durante la campaña invernal 2009 (**Figura 5.9-63**).

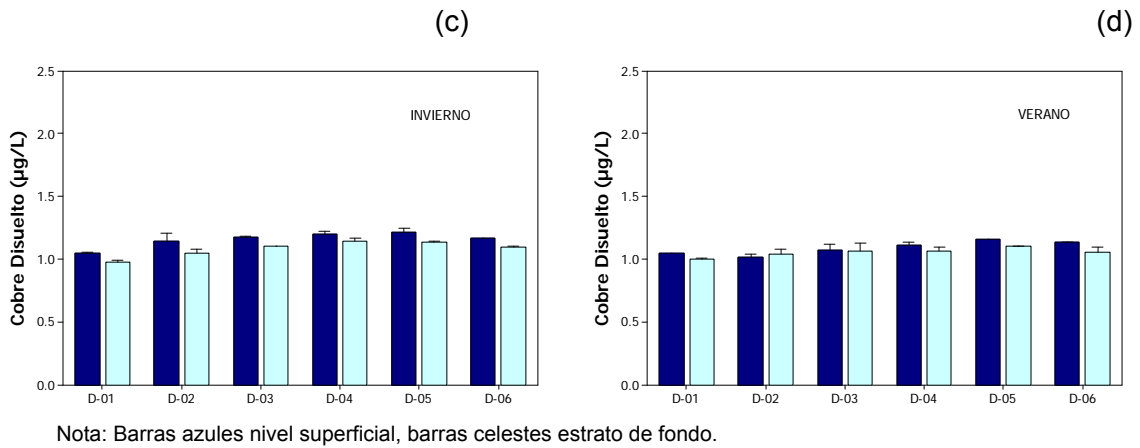
Estos bajos niveles de cobre ( $<2 \mu\text{g/L}$ ), son contrastables con las concentraciones que se han informado para Bahía San Jorge ( $1,76 - 2,36 \mu\text{g/L}$ ) por Salamanca *et al.* (2004), o para los sectores de Caleta Zenteno ( $<1 \mu\text{g/L}$ ), Caleta Obispito ( $2 \pm 1 \mu\text{g/L}$ ), Isla Pan de Azúcar ( $0,9 \pm 1,2 \mu\text{g/L}$ ; Stauber *et al.*, 2005), o a lo reportado para la zona de Cobquecura ( $1,69 \pm 0,87 \mu\text{g/L}$ ), Itata ( $1,76 \pm 1,15 \mu\text{g/L}$ ) y Bahía Coliumo ( $1,87 \pm 1,15 \mu\text{g/L}$ ; Leonardi *et al.*, 2009), todas las cuales contrastan con los niveles  $>20 \mu\text{g/L}$  (Lee *et al.*, 2002; Ratkevicius *et al.*, 2003; Stauber *et al.*, 2005) que han sido informadas para la zona costera cercana a la localidad de Chañaral.

El cromo en ambas campañas de monitoreo, se caracterizó por el predominio de una distribución relativamente regular entre los estratos de muestreo (**Figura 5.9-64**), no detectándose en ninguna de las fracciones analizadas (total y disuelta), alguna diferencia estadística entre las concentraciones de los estratos superficial y de fondo. Diferencias entre las estaciones de muestreo, sólo se identificaron en la fracción disuelta durante la campaña estival 2010, mientras que las variaciones temporales (entre campañas), en ambas fracciones (total y disuelta), no fueron significativas ( $p>0,050$ ).

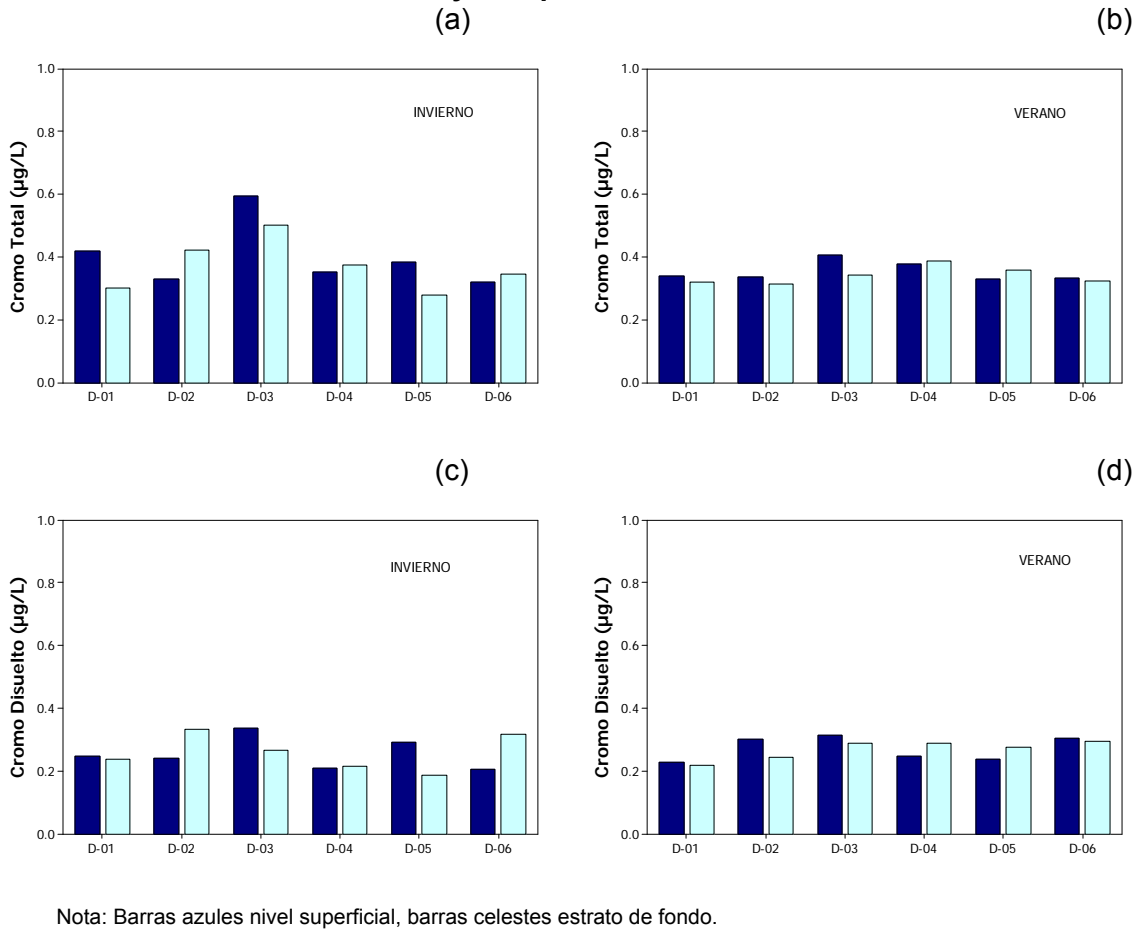
La totalidad de los niveles de cromo informados para el área de estudio so más bajos que los niveles informados por Leonardi *et al.*, (2009) para los sectores de Cobquecura ( $1,64 \pm 0,26 \mu\text{g/L}$ ), Itata ( $1,94 \pm 0,40 \mu\text{g/L}$ ) y Bahía Coliumo ( $1,96 \pm 0,42 \mu\text{g/L}$ ).

**Figura 5.9-63**  
**Diagramas de Barra para las Fracciones Totales y Disueltas del Cobre por Estación, Estrato y Campaña de Muestreo.**



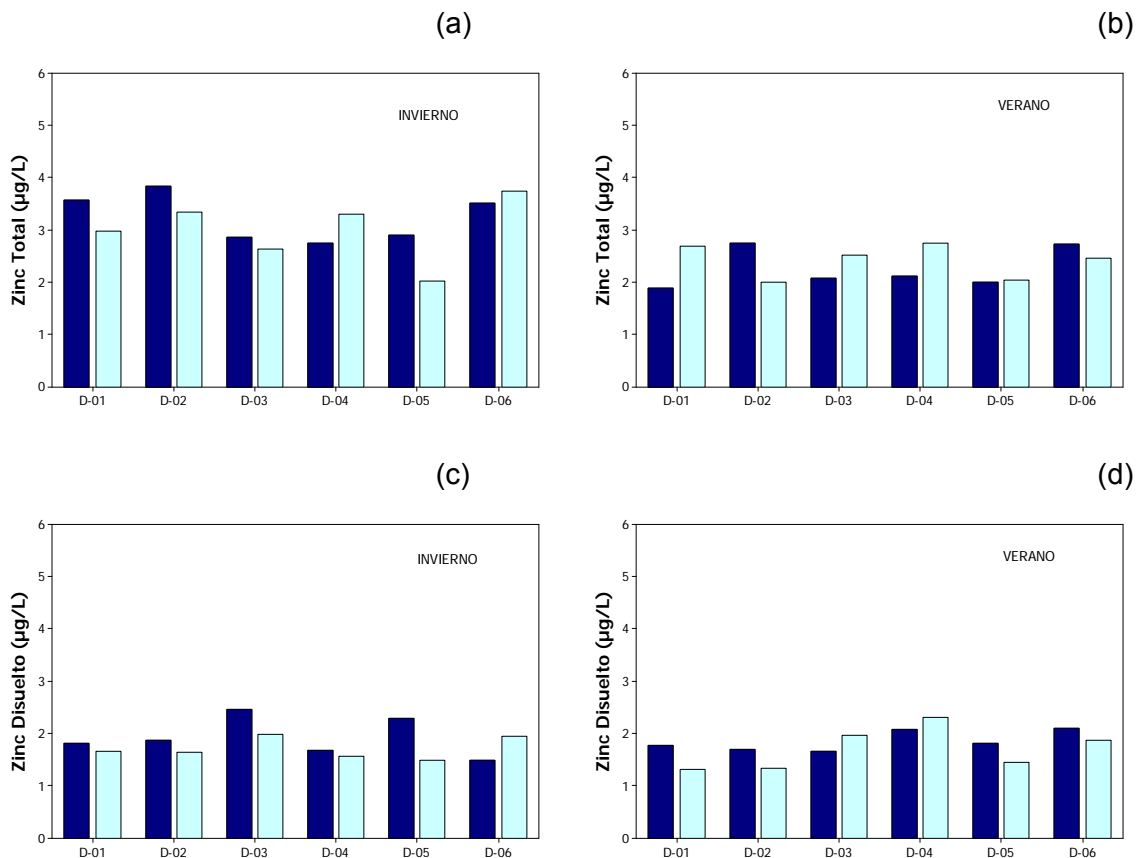


**Figura 5.9-64**  
**Diagramas de Barra para las Fracciones Totales y Disueltas del Cromo por Estación, Estrato y Campaña de Muestreo.**



Las concentraciones de zinc reportadas (**Figura 5.9-65, Tablas 5.9-40 y 5.9-41**), no presentaron variaciones entre las estaciones y estratos de muestreo en ninguna de las campañas realizadas; sin embargo, el contraste estacional (entre campañas), reveló diferencias significativas ( $p=0,001$ ), solamente en la fracción total del zinc. Al comparar estos resultados con los informados para otras zonas de nuestro país, es posible señalar que los resultados de Bahía Caldera son similares a los informados para para Bahía San Jorge (2,67-3,05  $\mu\text{g/L}$ , Salamanca *et al.*, 2004), la zona adyacente al río Itata (0,96-1,20  $\mu\text{g/L}$ ; Leonardi *et al.*, 2009) o la columna de agua en Bahía Concepción (0,53-4,38  $\mu\text{g/L}$ ; Carrera *et al.*, 1993) y contrastan con los niveles comparativamente mayores que se han informado para la zona cercana a Chañaral (4,7-6,7  $\mu\text{g/L}$ ; Stauber *et al.*, 2005) o en la zona de los fiordos australes (6,42-14,83  $\mu\text{g/L}$ ; Ahumada *et al.*, 2006).

**Figura 5.9-65**  
**Diagramas de Barra para las Fracciones Totales y Disueltas del Zinc por Estación, Estrato y Campaña de Muestreo.**

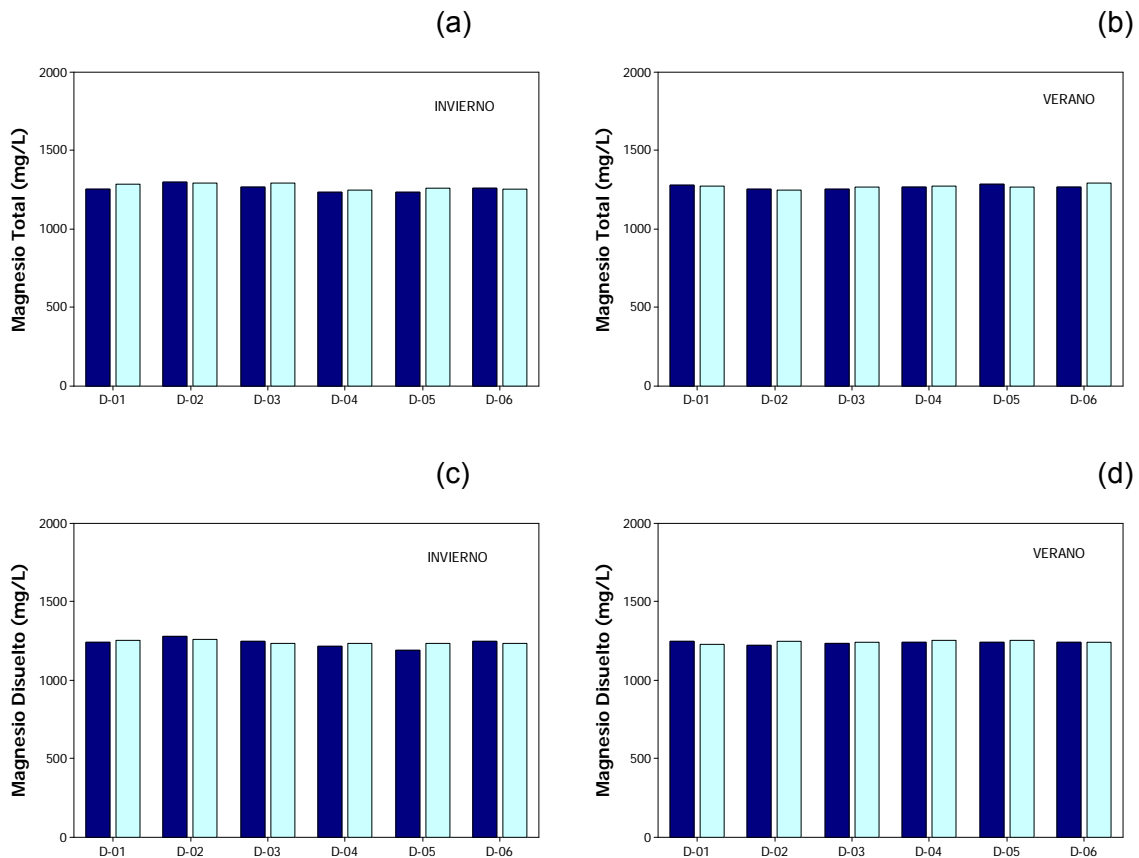


Nota: Barras azules nivel superficial, barras celestes estrato de fondo.

Una distribución homogénea entre los estratos y estaciones de muestreo, caracterizaron a los niveles de magnesio en las aguas de Bahía Caldera durante ambos períodos de monitoreo (invernal 2009 y estival 2010; **Figura 5.9-66; Tablas 5.9-40 y 5.9-41**). Lo anterior permite explicar la ausencia de diferencias significativas ( $p > 0,050$ ) al contrastar la información entre las categorías campañas, estación y estrato de muestreo.

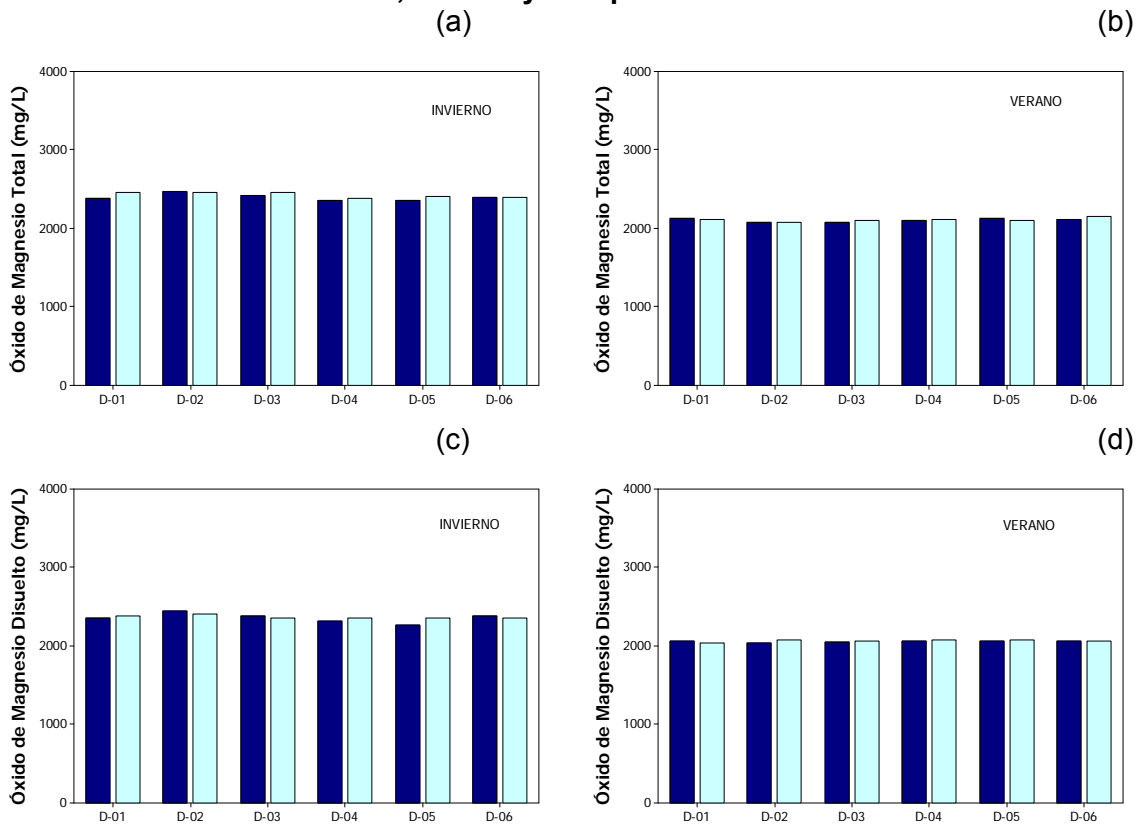
Aunque el óxido de magnesio presentó una distribución espacial (entre estaciones y estratos de muestreo) homogénea, a diferencia del magnesio, se registró diferencias estadísticas entre las campañas de monitoreo (variaciones temporales), situación que se explica por los niveles comparativamente mayores que predominaron durante el período invernal de evaluación (**Figura 5.9-67; Tablas 5.9-40 y 5.9-41**).

**Figura 5.9-66**  
**Diagramas de Barra para las Fracciones Totales y Disueltas del Magnesio por Estación, Estrato y Campaña de Muestreo.**



Nota: Barras azules nivel superficial, barras celestes estrato de fondo.

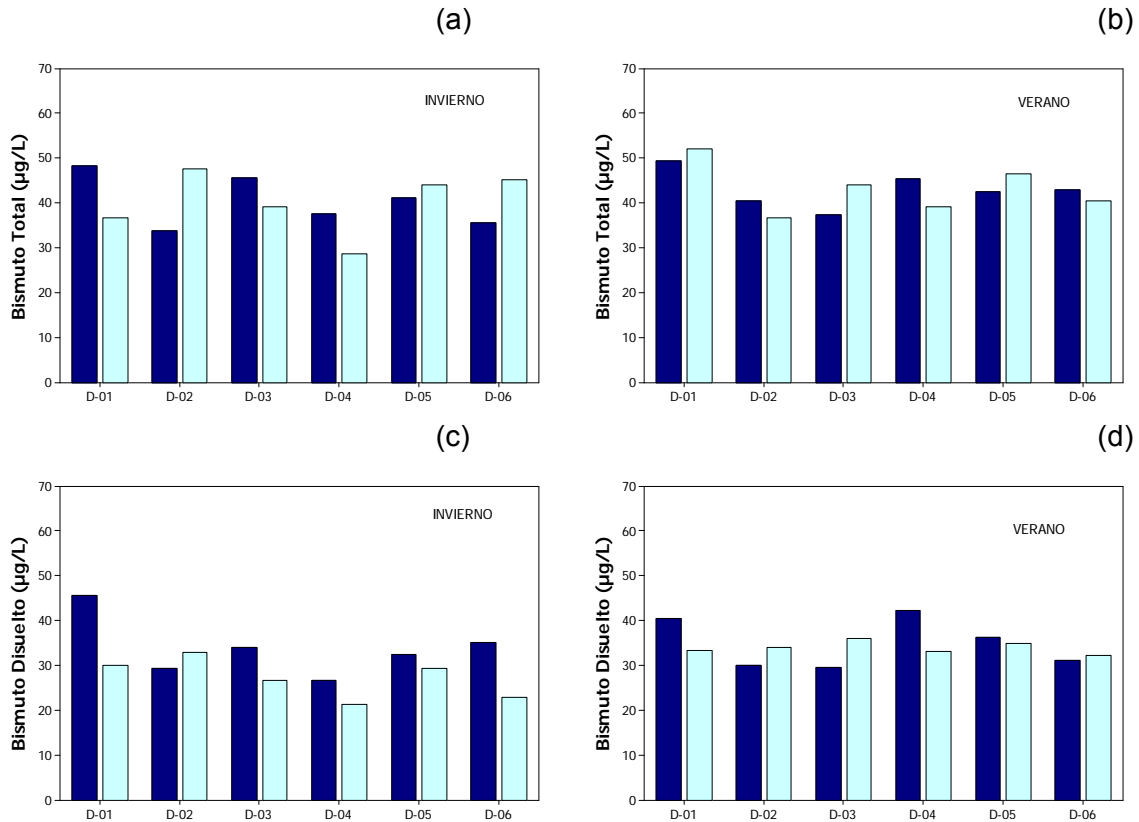
**Figura 5.9-67**  
**Diagramas de Barra para las Fracciones Totales y Disueltas del Oxido de Magnesio por Estación, Estrato y Campaña de Muestreo.**



Nota: Barras azules nivel superficial, barras celestes estrato de fondo

El bismuto en sus fracciones total y disuelta (**Figura 5.9-68**), se caracterizó por el predominio de una distribución irregular en ambas campañas de evaluación, y aunque en general los niveles reportados durante el período estival 2010 fueron comparativamente mayores que los registrados en la campaña invernal 2009 (**Tablas 5.9-40 y 5.9-41**), sólo en la fracción disuelta estas diferencias entre campañas de monitoreo constituyeron una fuente estadística significativa de variación ( $p=0,038$ ).

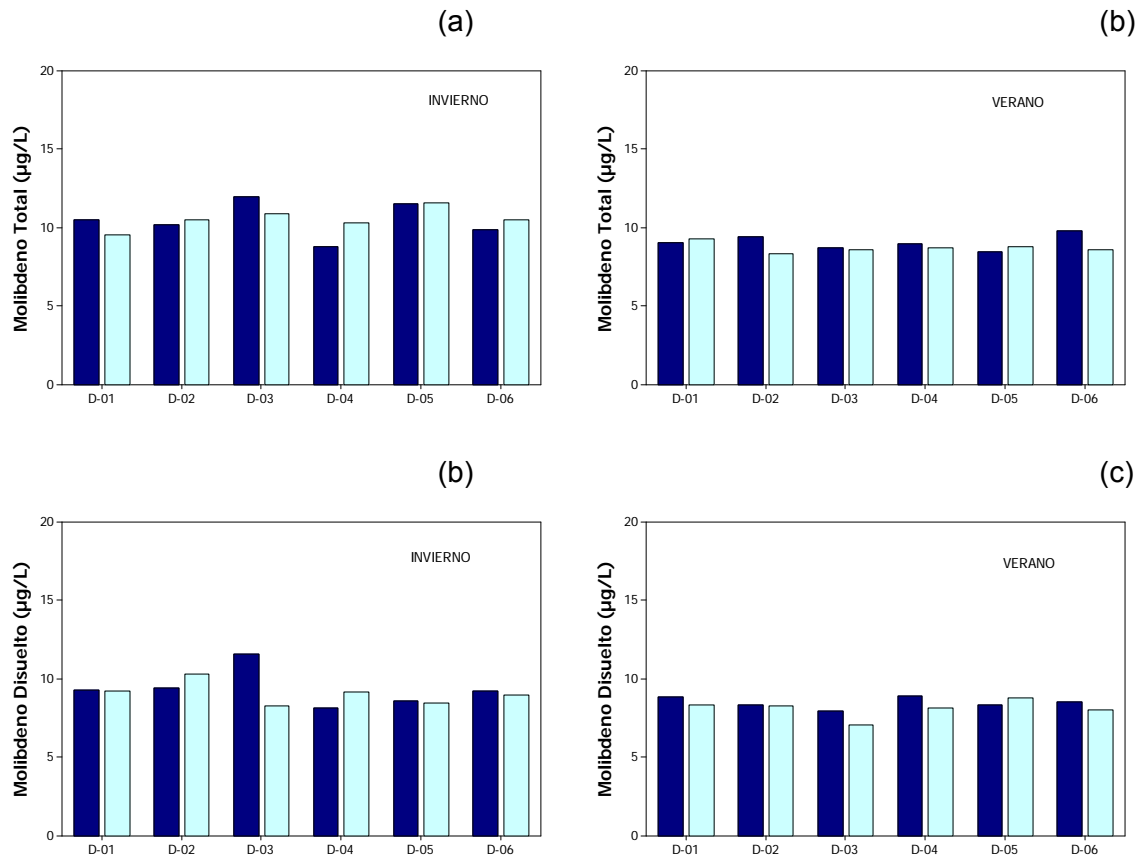
**Figura 5.9-68**  
**Diagramas de Barra para las Fracciones Totales y Disueltas del Bismuto por Estación, Estrato y Campaña de Muestreo.**



Nota: Barras azules nivel superficial, barras celestes estrato de fondo

Durante la campaña invernal 2009 el molibdeno se caracterizó por presentar tanto en su fracción total como disuelta una distribución relativamente irregular, con un máximo puntual asociado al estrato superficial de la estación D-03 (Tablas 5.9-40 y 5.9-41). Una distribución homogénea se registró durante la campaña estival 2010, (Figura 5.9-69); con niveles de molibdeno total y disuelto comparativamente inferiores a los reportados durante el invierno. Lo anterior explica las diferencias estadísticas ( $p=0,000$  molibdeno total y  $p=0,006$  molibdeno disuelto) encontradas al contrastar las concentraciones promedios de ambos períodos de evaluación.

**Figura 5.9-69**  
**Diagramas de Barra para las Fracciones Totales y Disueltas del Molibdeno por Estación, Estrato y Campaña de Muestreo.**

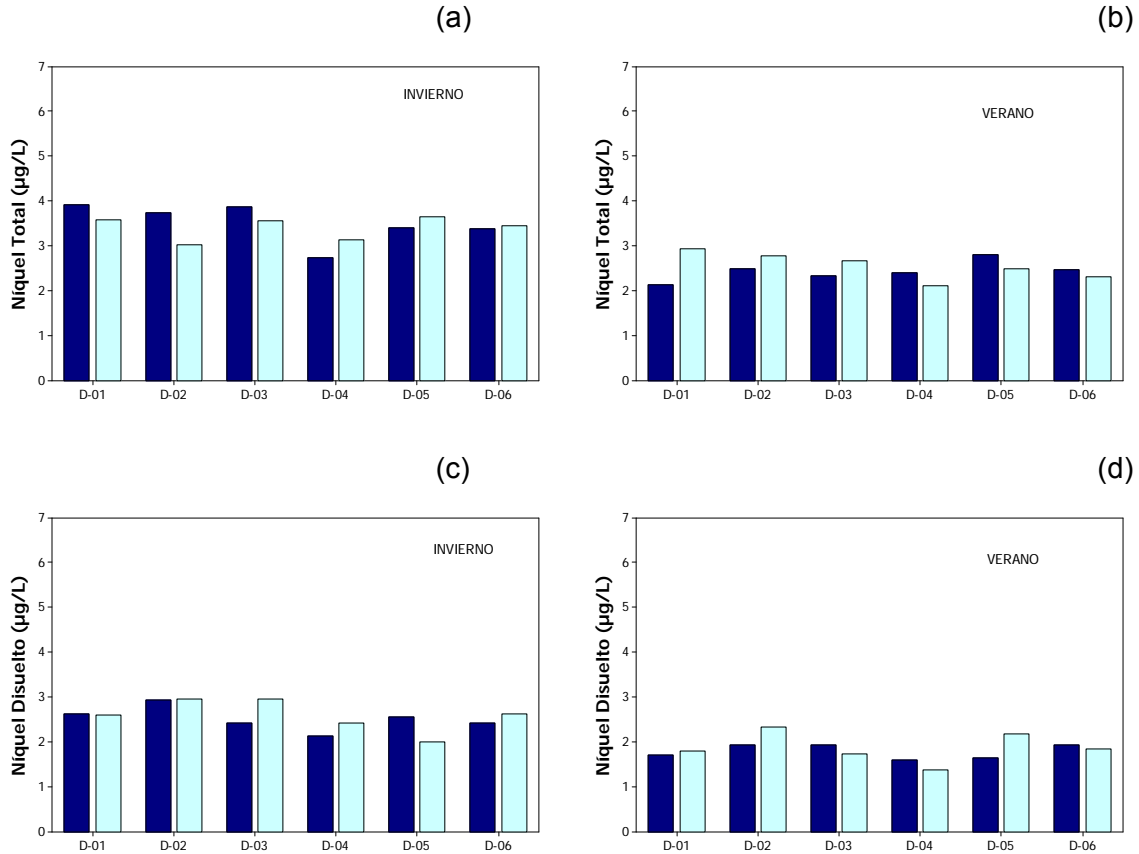


Nota: Barras azules nivel superficial, barras celestes estrato de fondo

Si bien en ninguna de las campañas de monitoreo (invernal 2009 y estival 2010) se detectó diferencias estadísticas ( $p > 0,050$ ) entre las concentraciones de níquel total y disuelta de las distintas estaciones y estratos de muestreo, gráficamente (**Figura 5.9-70**), es posible observar que durante la campaña invernal destacaron los valores levemente mayores de D-01, D-02 y D-03 respecto del resto del área de estudio; en tanto que durante la campaña estival, la distribución de níquel fue relativamente homogénea, identificándose las menores concentraciones asociadas a la estación D-04. Al agrupar los resultados por campaña de monitoreo (**Tablas 5.9-40 y 5.9-41**), se observó que tanto para la fracción total como disuelta, la campaña invernal evidenció mayores niveles, situación que explica las diferencias estadísticamente significativas encontradas en esta categoría de re-clasificación ( $p = 0,000$  níquel total y disuelto, respectivamente).



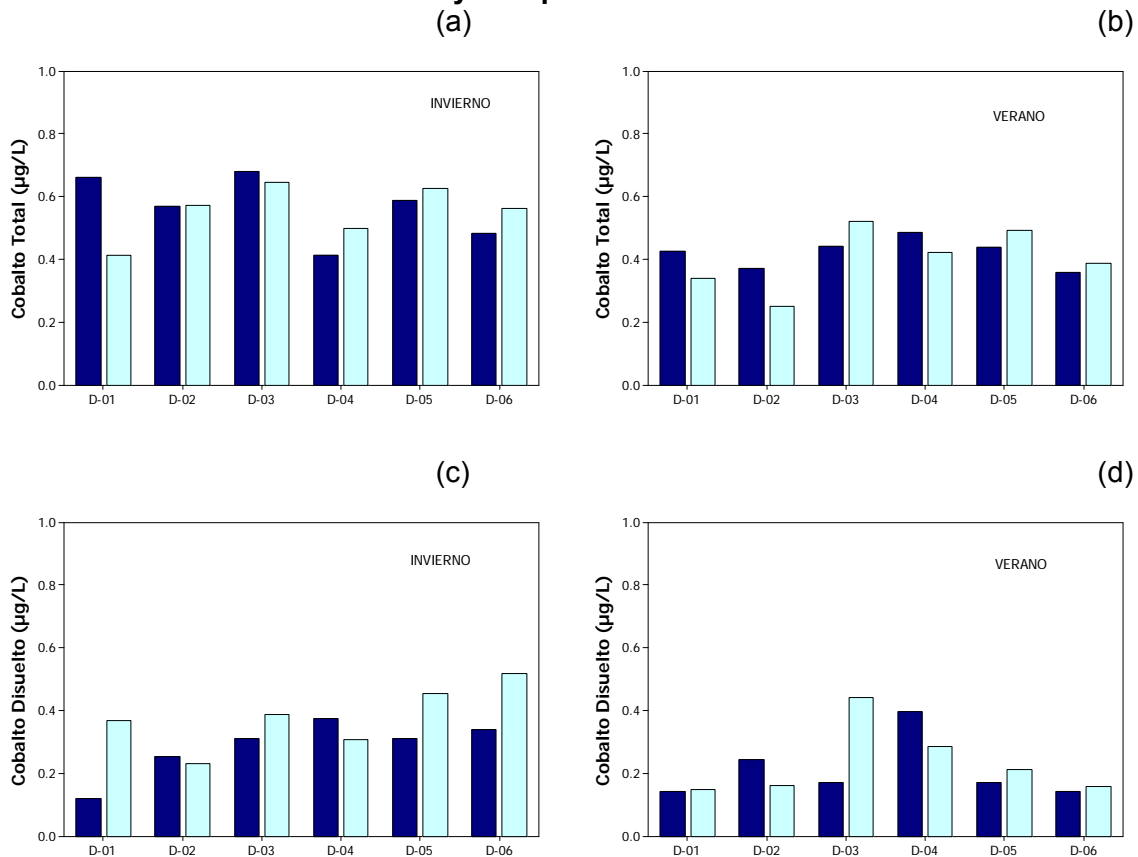
**Figura 5.9-70**  
**Diagramas de Barra para las Variables Fracciones Totales y Disueltas del Níquel por Estación, Estrato y Campaña de Muestreo.**



Nota: Barras azules nivel superficial, barras celestes estrato de fondo

Por su parte, una distribución espacial irregular predominó en las concentraciones de cobalto, tanto en su fracción total como disuelta de ambos períodos de evaluación (**Figura 5.9-71**) Debido a lo anterior, los rangos de distribución de los resultados se superponen, no existiendo diferencias estadísticas ( $p > 0,050$ ) entre las distintas estaciones y estratos de muestreo. Desde el punto de vista temporal (variaciones entre campañas), destacó la existencia de diferencias estadísticas ( $p = 0,002$  cobalto total y  $p = 0,024$  cobalto disuelto), las que se explican por los niveles de cobalto comparativamente mayores que presentó el área de estudio durante la campaña invernal 2009 (**Tablas 5.9-40 y 5.9-41**).

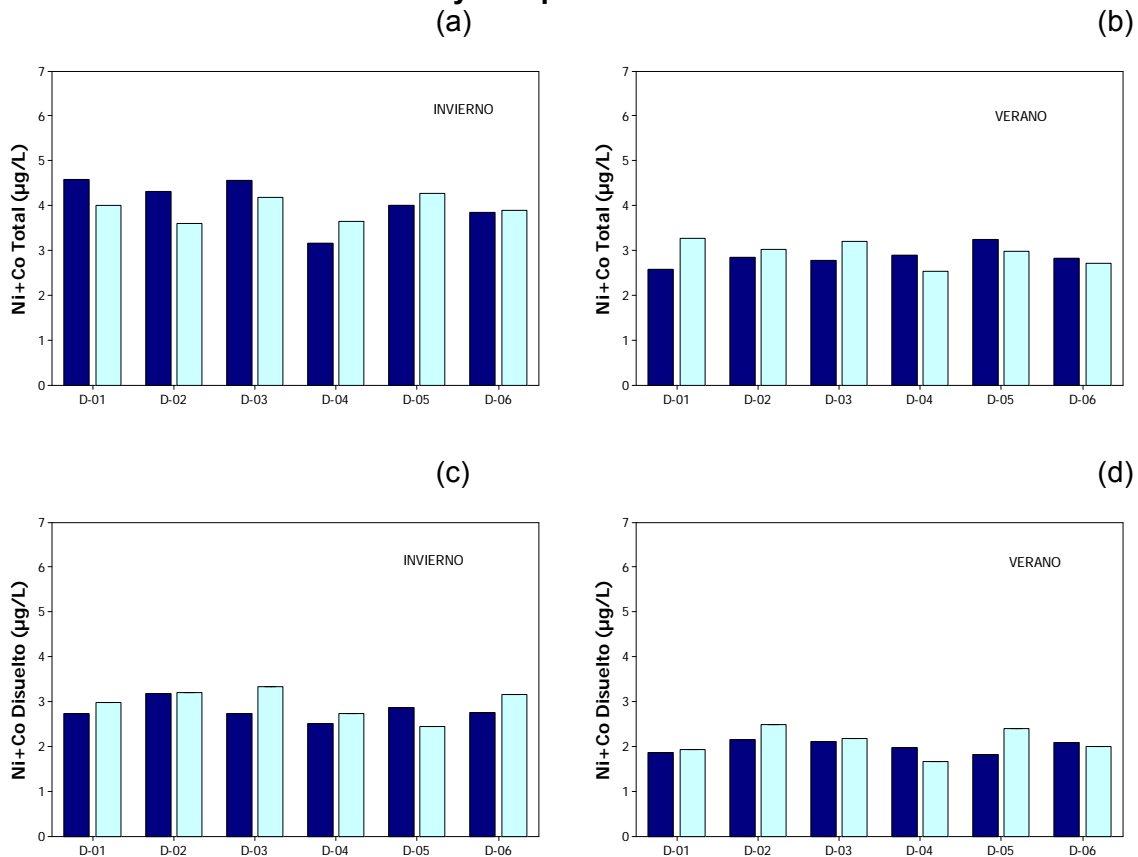
**Figura 5.9-71**  
**Diagramas de Barra para las Fracciones Totales y Disueltas del Cobalto por Estación, Estrato y Campaña de Muestreo.**



Nota: Barras azules nivel superficial, barras celestes estrato de fondo

Debido a las notorias diferencias en las magnitudes de las concentraciones níquel y cobalto en el área de estudio (**Tablas 5.9-40 y 5.9-41**), la variable Ni+Co estuvo fuertemente influenciada por los resultados asociados al níquel. Durante la campaña invernal, se registraron leves máximos asociados a las estaciones D-01, D-02 y D-03, respecto del resto del área de estudio, mientras que durante la campaña estival, se observó una distribución dominada por menores concentraciones, destacando la estación D-04 por presentar el mínimo relativo de la campaña (**Figura 5.9-72**). Al considerar la totalidad de las determinaciones de Ni+Co por campaña (**Tablas 5.9-40 y 5.9-41**), es posible observar que tanto para la fracción total como disuelta presentó mayores magnitudes durante la campaña invernal, lo anterior explica las diferencias estadísticamente significativas encontradas en esta categoría de re-clasificación ( $p=0,000$ ).

**Figura 5.9-72**  
**Diagramas de Barra para las Fracciones Totales y Disueltas del Ni+Co por Estación, Estrato y Campaña de Muestreo.**



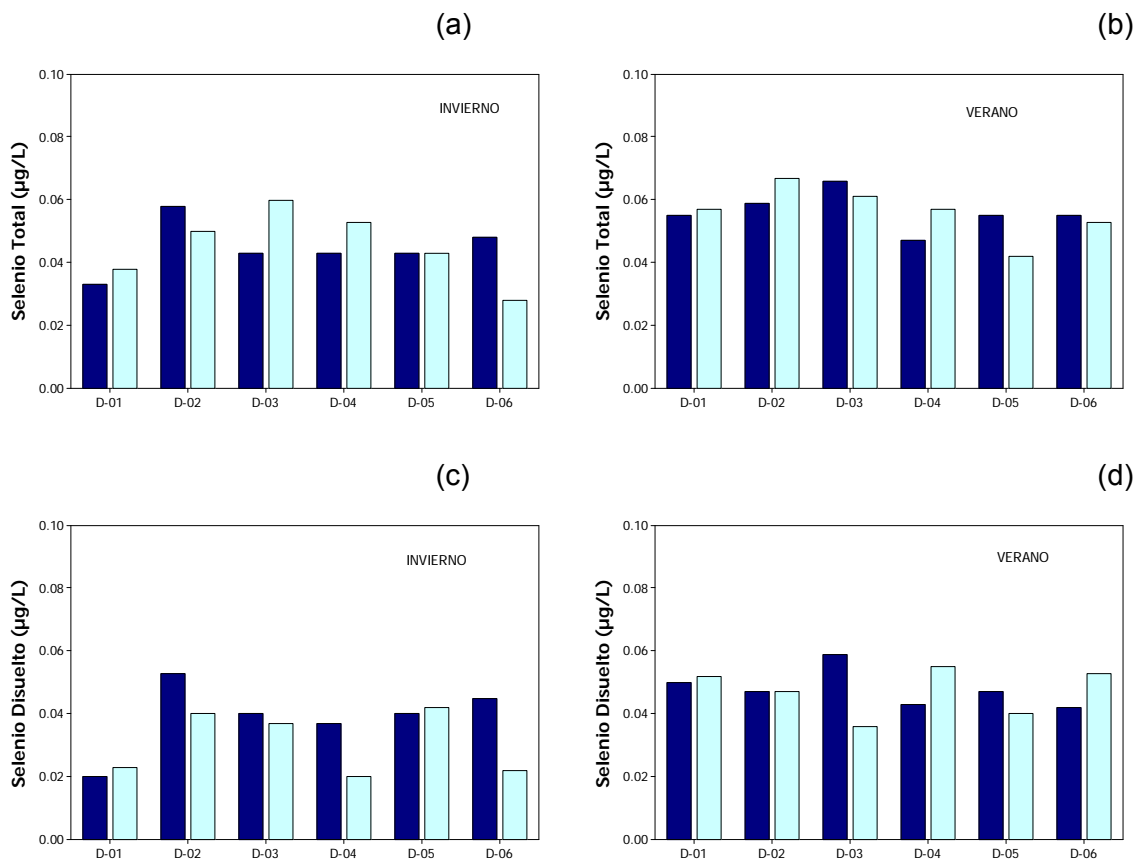
Nota: Barras azules nivel superficial, barras celestes estrato de fondo

En ambas campañas de monitoreo (invernal 2009 y estival 2010), los niveles de selenio total y disuelto presentaron una distribución irregular; sin embargo, estas variaciones no fueron estadísticamente significativas ni entre las estaciones ni entre las profundidades de muestreo (**Figura 5.9-73**).

Los niveles de vanadio reportados en las aguas de Bahía Caldera presentaron diferencias estadísticas entre campañas ( $p=0,000$ ), solamente en la fracción total, y aunque el vanadio disuelto de la campaña invernal es comparativamente mayor que el registrado durante el período estival (**Tablas 5.9-40 y 5.9-41**), las diferencias numéricas y gráficas observadas son pequeñas, no constituyendo el contraste entre campaña para la fracción disuelta, una fuente de variación significativa ( $p>0,050$ ).

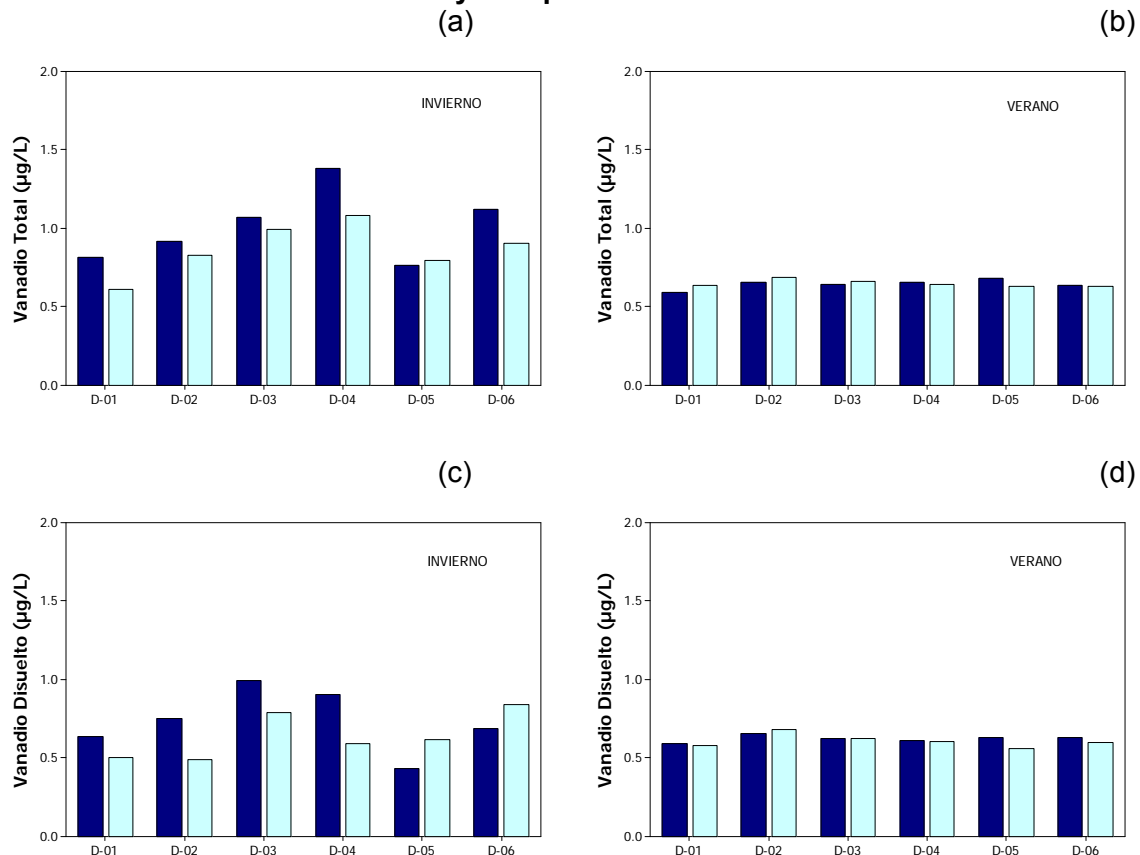
Durante la campaña invernal 2009, el vanadio presentó una distribución irregular, con magnitudes más altas asociados al nivel superficial de la columna de agua; a excepción de la estación D-05 (**Figura 5.9-74**). Sin embargo, pese a las diferencias gráficas observadas, durante al campaña invernal 2009 no se detectaron diferencias estadísticas entre las estaciones y estratos de muestreo ( $p > 0,050$ ). De igual manera, durante el período estival, no se detectaron diferencias estadísticas espaciales (entre estaciones y estratos de muestreo), predominando una distribución regular de la información.

**Figura 5.9-73**  
**Diagramas de Barra para las Fracciones Totales y Disueltas del Selenio por Estación, Estrato y Campaña de Muestreo.**



Nota: Barras azules nivel superficial, barras celestes estrato de fondo

**Figura 5.9-74**  
**Diagramas de Barra para las Fracciones Totales y Disueltas del Vanadio por Estación, Estrato y Campaña de Muestreo.**



Nota: Barras azules nivel superficial, barras celestes estrato de fondo

### b.3) Elementos Traza No Esenciales

Las **Tablas 5.9-42 y 5.9-43** presentan un resumen con el promedio  $\pm$  desviación estándar y rango asociado a las determinaciones de los elementos traza no esenciales por campaña. Cabe mencionar que solamente el oro presentó en cada una de las muestras, magnitudes que se encontraron bajo los límites de detección analítica ( $<1,1 \mu\text{g/L}$ ), por tal motivo esta variable no fue considerada para su representación gráfica.

Una distribución irregular caracterizó a las concentraciones de cadmio en el área de estudio. Mientras durante la campaña de invierno la fracción total presentó diferencias estadísticamente significativas entre los estratos de muestreo ( $p < 0,050$ ), durante la campaña estival 2010, sólo se registraron diferencias significativas ( $p < 0,050$ ) entre las magnitudes del cadmio disuelto de las distintas estaciones de muestreo (**Figura 5.9-75; Tablas 5.9-42 y 5.9-43**). Si bien numéricamente las concentraciones totales y disueltas de cadmio fueron comparativamente mayores durante el período invernal, sólo implicó una fuente estadística de variación ( $p = 0,002$ ) en el caso de la fracción disuelta.

Si bien los niveles de cadmio informados para Bahía Caldera a través de las campañas invernal y estival, son comparativamente mayores que las concentraciones reportadas en Cobquecura ( $0,07 \pm 0,06 \mu\text{g/L}$ ; Leonardi *et al.*, 2009) o en el sector costero adyacente a la desembocadura del Río Itata ( $0,09 \pm 0,06 \mu\text{g/L}$ ; Leonardi *et al.*, 2009), los resultados encontrados son considerablemente menores a los valores que se han reportado en otras zonas semi-cerradas como lo son la Bahía Coliumo ( $0,25 \pm 0,02 \mu\text{g/L}$ ; Leonardi *et al.*, 2009) o en Bahía Concepción ( $<0,10 - 0,35 \mu\text{g/L}$ ; Carrera *et al.*, 1993).

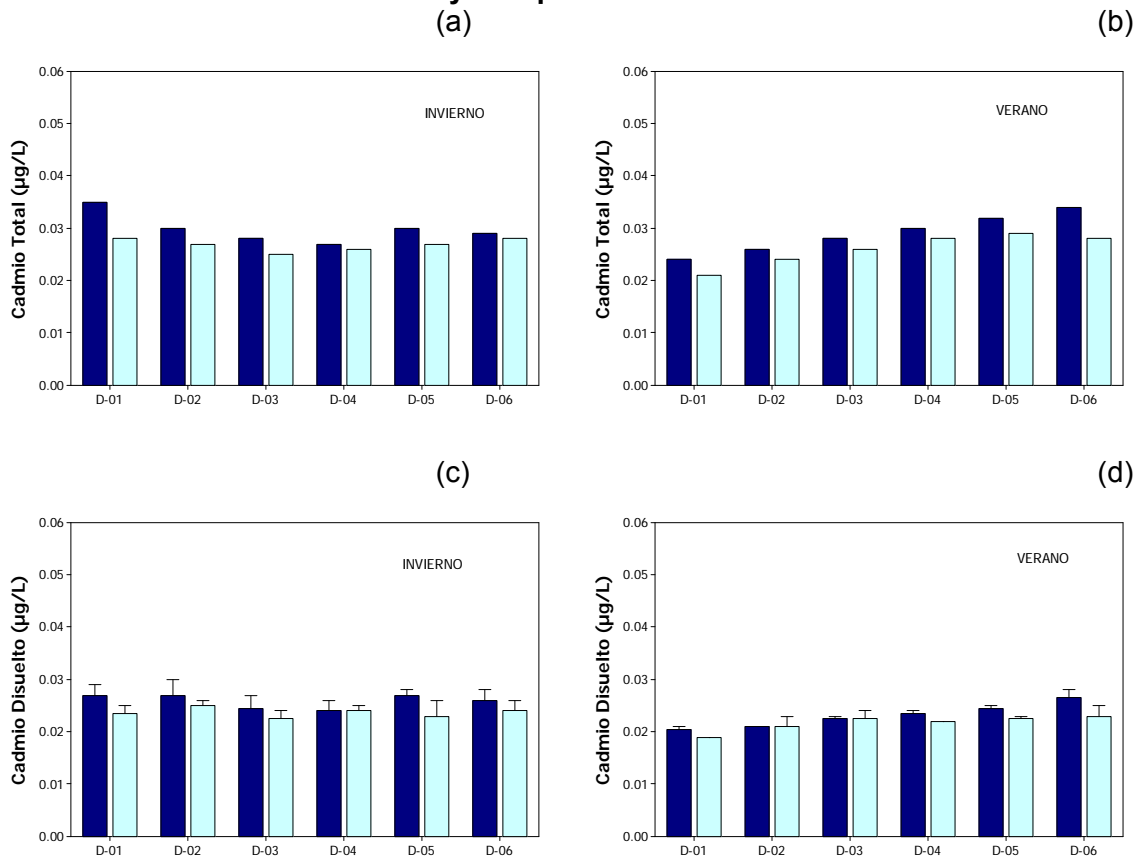
**Tabla 5.9-42**  
**Estadística Básica Elementos Traza no Esenciales Totales Evaluados en la Columna de Agua del Area de estudio.**

Parámetro	Campaña Invernal 2009		Campaña Estival 2010	
	Promedio $\pm$ DS	Rango	Promedio $\pm$ DS	Rango
Cadmio ( $\mu\text{g/L}$ )	$0,028 \pm 0,003$	0,025-0,035	$0,026 \pm 0,004$	0,021-0,034
Plomo ( $\mu\text{g/L}$ )	$0,027 \pm 0,002$	0,023-0,030	$0,029 \pm 0,004$	0,023-0,037
Mercurio ( $\mu\text{g/L}$ )	$0,051 \pm 0,016$	0,033-0,087	$0,033 \pm 0,003$	0,027-0,038
Aluminio ( $\mu\text{g/L}$ )	$117,6 \pm 12,1$	97,9-139,6	$105,4 \pm 9,6$	85,7-122,0
$\text{Al}_2\text{O}_3$ ( $\mu\text{g/L}$ )	$222,3 \pm 22,8$	184,9-263,8	$197,8 \pm 17,6$	162,0-230,5
$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{MgO}$ (mg/L)	$2.429,4 \pm 40,7$	2.358,9-2.484,5	$2.303,1 \pm 32,8$	2.245,5-2.352,4
Plata ( $\mu\text{g/L}$ )	$0,570 \pm 0,013$	0,551-0,589	$0,579 \pm 0,010$	0,563-0,591
Oro ( $\mu\text{g/L}$ )	100% $<1,1$ bld	---	100% $<1,1$ bld	---
Arsénico ( $\mu\text{g/L}$ )	$1,44 \pm 0,14$	1,22-1,65	$1,92 \pm 0,08$	1,78-2,00
Antimonio ( $\mu\text{g/L}$ )	$0,444 \pm 0,049$	0,384-0,560	$0,463 \pm 0,056$	0,393-0,567
Estaño ( $\mu\text{g/L}$ )	$1,318 \pm 0,231$	1,020-1,730	$1,346 \pm 0,091$	1,160-1,490

**Tabla 5.9-43**  
**Estadística Básica Elementos Traza no Esenciales Disueltos Evaluados en la Columna de Agua del Aea de Estudio.**

Parámetro	Campaña Invernal 2009		Campaña Estival 2010	
	Promedio $\pm$ DS	Rango	Promedio $\pm$ DS	Rango
Cadmio ( $\mu\text{g/L}$ )	$0,025 \pm 0,003$	0,020-0,030	$0,022 \pm 0,002$	0,019-0,028
Plomo ( $\mu\text{g/L}$ )	$0,023 \pm 0,003$	0,014-0,027	$0,022 \pm 0,002$	0,019-0,027
Mercurio ( $\mu\text{g/L}$ )	$0,036 \pm 0,014$	0,020-0,066	$0,027 \pm 0,004$	0,020-0,033
Aluminio ( $\mu\text{g/L}$ )	$105,4 \pm 10,5$	90,8-127,1	$90,8 \pm 10,5$	69,5-104,4
$\text{Al}_2\text{O}_3$ ( $\mu\text{g/L}$ )	$198,6 \pm 20,4$	171,6-240,2	$173,5 \pm 23,3$	131,3-214,4
$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{MgO}$ (mg/L)	$2.363,6 \pm 44,4$	2.264,5-2.443,0	$2.235,6 \pm 28,6$	2.191,2-2.283,8
Plata ( $\mu\text{g/L}$ )	$0,562 \pm 0,015$	0,542-0,587	$0,570 \pm 0,009$	0,554-0,586
Oro ( $\mu\text{g/L}$ )	100% $<1,1$ bld	---	100% $<1,1$ bld	---
Arsénico ( $\mu\text{g/L}$ )	$1,33 \pm 0,13$	1,10-1,51	$1,72 \pm 0,12$	1,55-1,92
Antimonio ( $\mu\text{g/L}$ )	$0,345 \pm 0,083$	0,207-0,482	$0,386 \pm 0,057$	0,302-0,474
Estaño ( $\mu\text{g/L}$ )	$1,145 \pm 0,223$	0,741-1,470	$1,265 \pm 0,110$	1,090-1,430

**Figura 5.9-75**  
**Diagramas de Barra para las Fracciones Totales y Disueltas del Cadmio por Estación, Estrato y Campaña de Muestreo..**

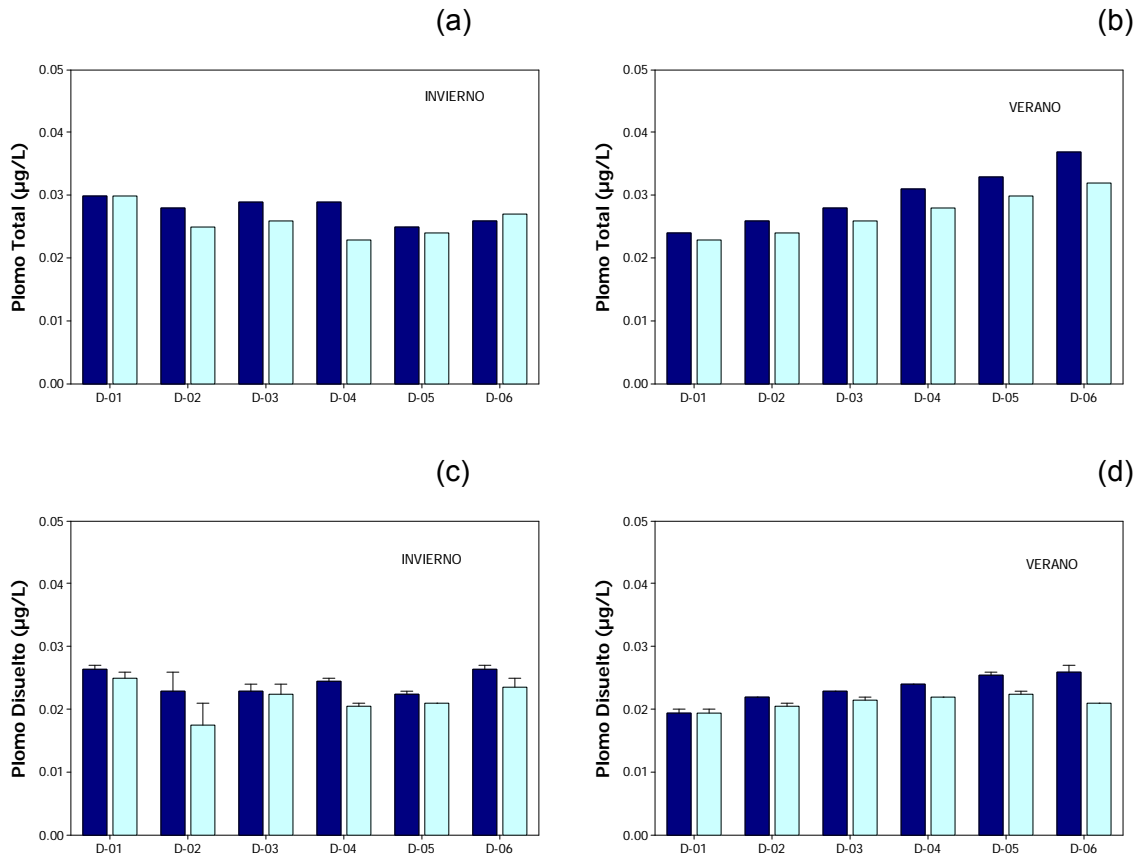


Nota: Barras azules nivel superficial, barras celestes estrato de fondo

Los niveles de plomo encontrados en ambas campañas (**Tablas 5.9-42 y 5.9-43; Figura 5.9-76**), se caracterizaron por presentar el predominio de un patrón de distribución irregular, especialmente la fracción total. Aunque no se detectaron variaciones estacionales (invierno-verano) significativas ( $p > 0,050$ ), la fracción disuelta del plomo evidenció diferencias estadísticas entre los estratos de muestreo en ambas campañas, debido a la recurrente presencia de niveles de plomo mayores en el estrato superficial.

. Al comparar estos resultados con los informados para otras zonas costeras de nuestro país, es posible señalar que las magnitudes encontradas en ambas campañas, son similares a los rangos que se han informado en Bahía San Jorge (0,034 - 0,046 µg/L; Salamanca *et al.*, 2004) y contrastan con las altas magnitudes que se han reportado en la austral de nuestro país (0,44 - 1,04 µg/L; Ahumada *et al.*, 2006) o en Bahía Concepción (0,34 - 5,96 µg/L; Carrera *et al.*, 1993).

**Figura 5.9-76**  
**Diagramas de Barra para las Fracciones Totales y Disueltas del Plomo por Estación, Estrato y Campaña de Muestreo.**



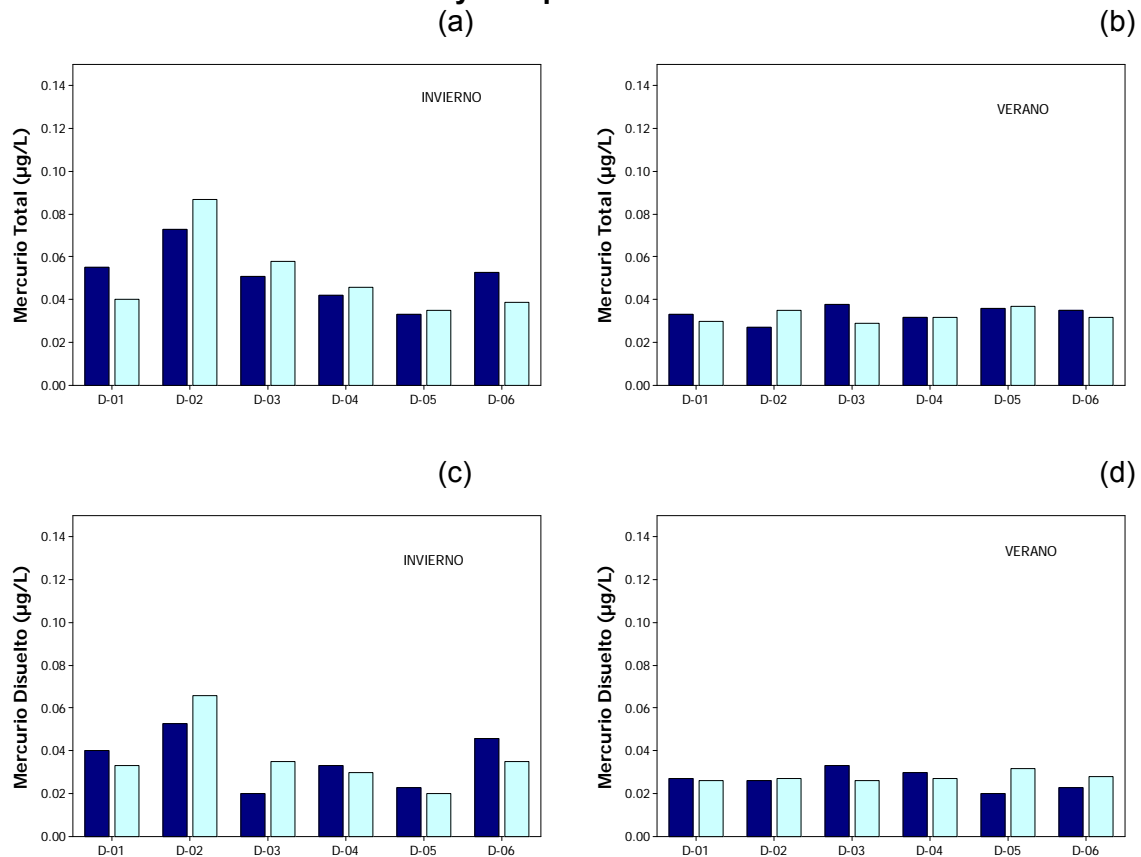
Nota: Barras azules nivel superficial, barras celestes estrato de fondo

Aunque el mercurio total y disuelto no presentó diferencias estadísticas ( $p > 0,050$ ) ni entre las estaciones ni entre los estratos de muestreo en ninguna de las campañas de evaluación, el contraste entre campañas se caracterizó por el predominio de concentraciones comparativamente mayores durante el período invernal 2009 ( $p < 0,050$ ; **Tablas 5.9-42 y 5.9-43; Figura 5.9-77**).

En general, el rango de los niveles de mercurio reportados en el área de estudio (0,027-0,098 µg/L mercurio total y 0,020-0,066 µg/L mercurio disuelto), son similares a los resultados informados para el sector de Bahía San Jorge (0,003 - 0,136 µg/L; Zúñiga *et al.*, 1999) y contrastan con las concentraciones comparativamente mayores que se han reportado en otras zonas que poseen un mayor influencia antropogénica, como el sector industrializado de Bahía San Vicente (0,010 - 4,75 µg/L; Díaz *et al.*, 2001).



**Figura 5.9-77**  
**Diagramas de Barra para las Fracciones Totales y Disueltas del Mercurio por Estación, Estrato y Campaña de Muestreo.**

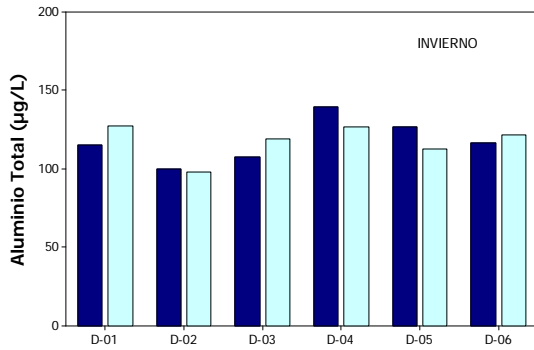


Nota: Barras azules nivel superficial, barras celestes estrato de fondo

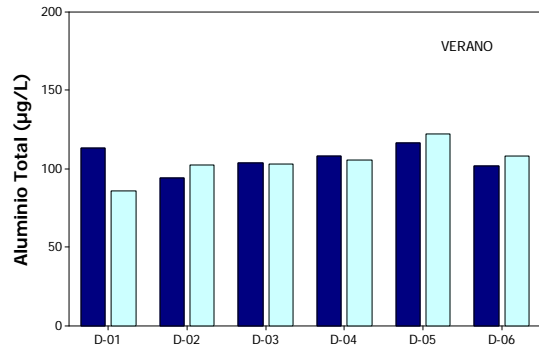
Variaciones estadísticas ( $p < 0,050$ ) entre las campañas de monitoreo se registraron para las variables aluminio, óxido de aluminio y  $Al_2O_3 + Mg$ , las que se explican por las mayores concentraciones que se registraron durante la campaña invernal respecto del período estival (**Tablas 5.9-40 y 5.9-43**). Si bien las variables aluminio y el óxido de aluminio presentaron una distribución espacial (entre las estaciones y estratos de muestreo) irregular, la variable  $Al_2O_3 + MgO$  presentó una distribución más regular. Sin embargo, en ninguna de estas variables se detectaron diferencias estadísticas ( $p > 0,050$ ) entre las estaciones y estratos de muestreo (**Figuras 5.9-78 a 5.9-80**).

Figura 5.9-78

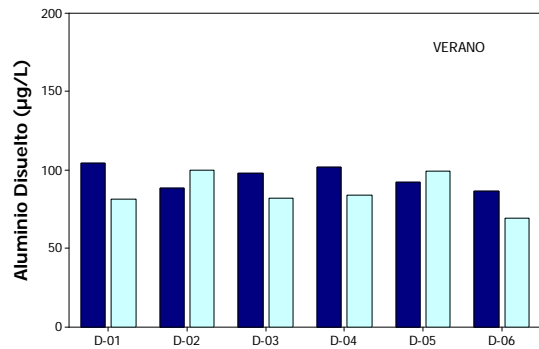
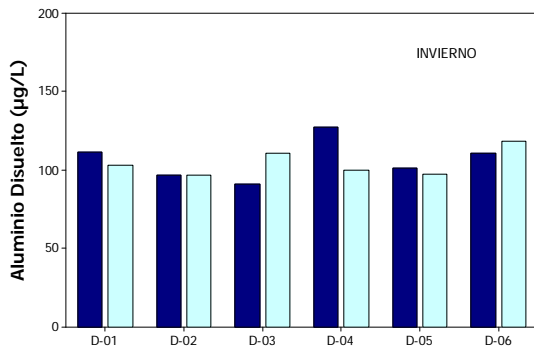
Diagramas de Barra para las Fracciones Totales y Disueltas del Aluminio por Estación, Estrato y Campaña de Muestreo. (a) (b)



(c)



(d)

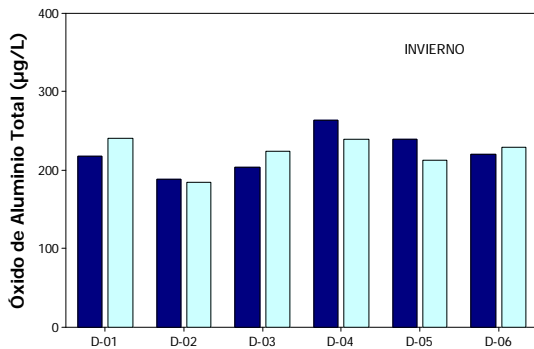


Nota: Barras azules nivel superficial, barras celestes estrato de fondo

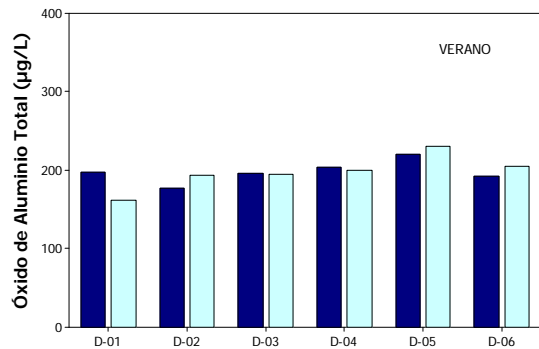
Figura 5.9-79

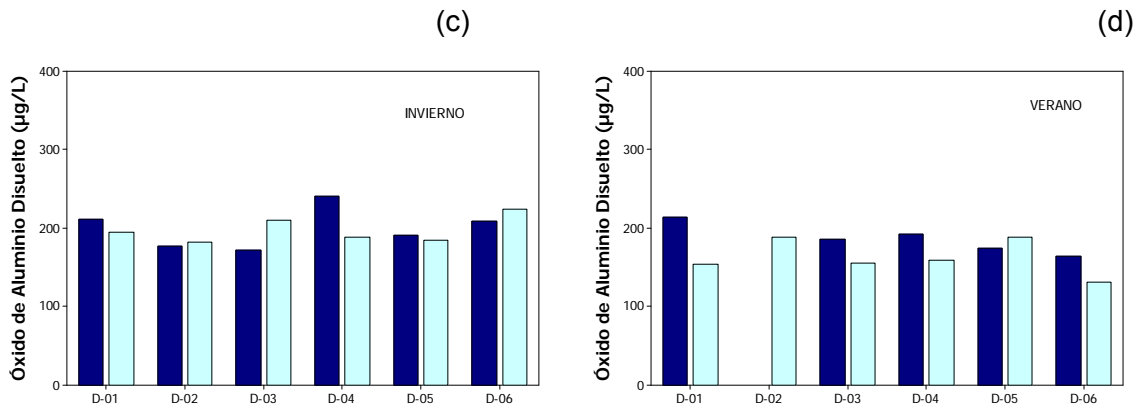
Diagramas de Barra para las Fracciones Totales y Disueltas del Oxido de Aluminio por Estación, Estrato y Campaña de Muestreo.

(a)



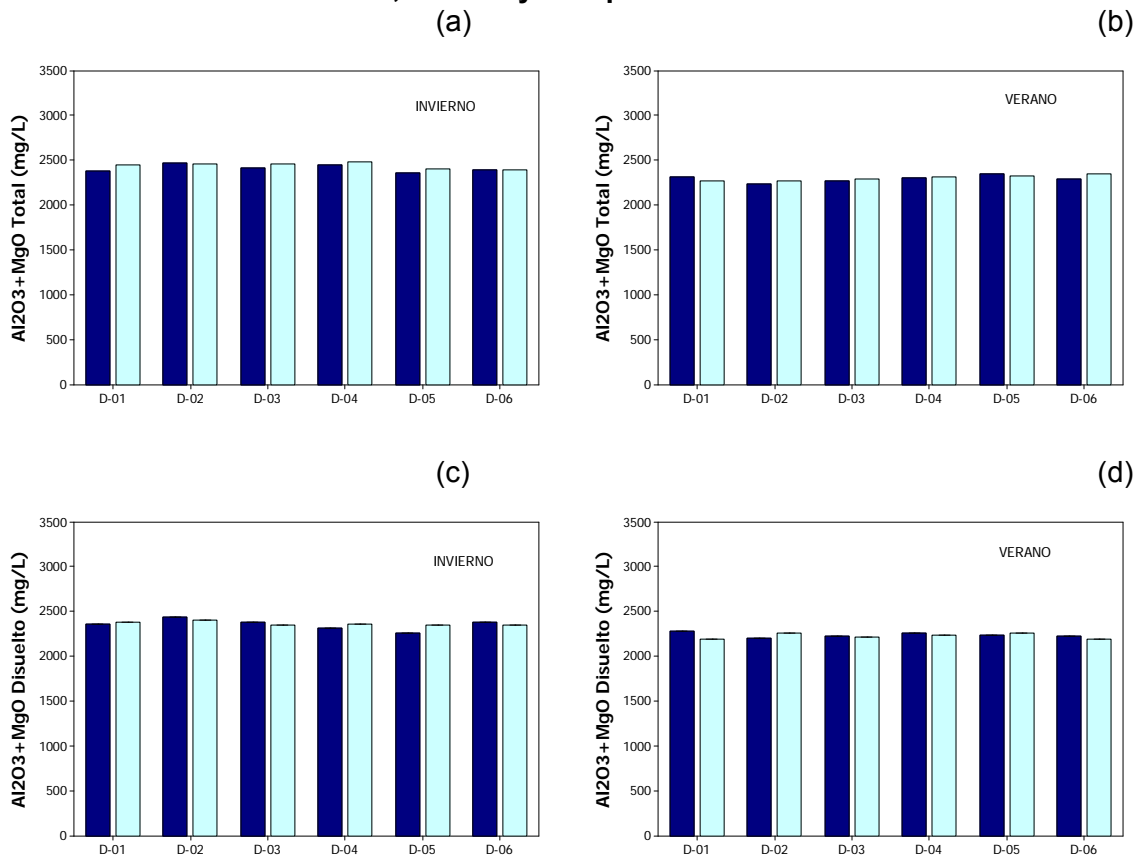
(b)





Nota: Barras azules nivel superficial, barras celestes estrato de fondo

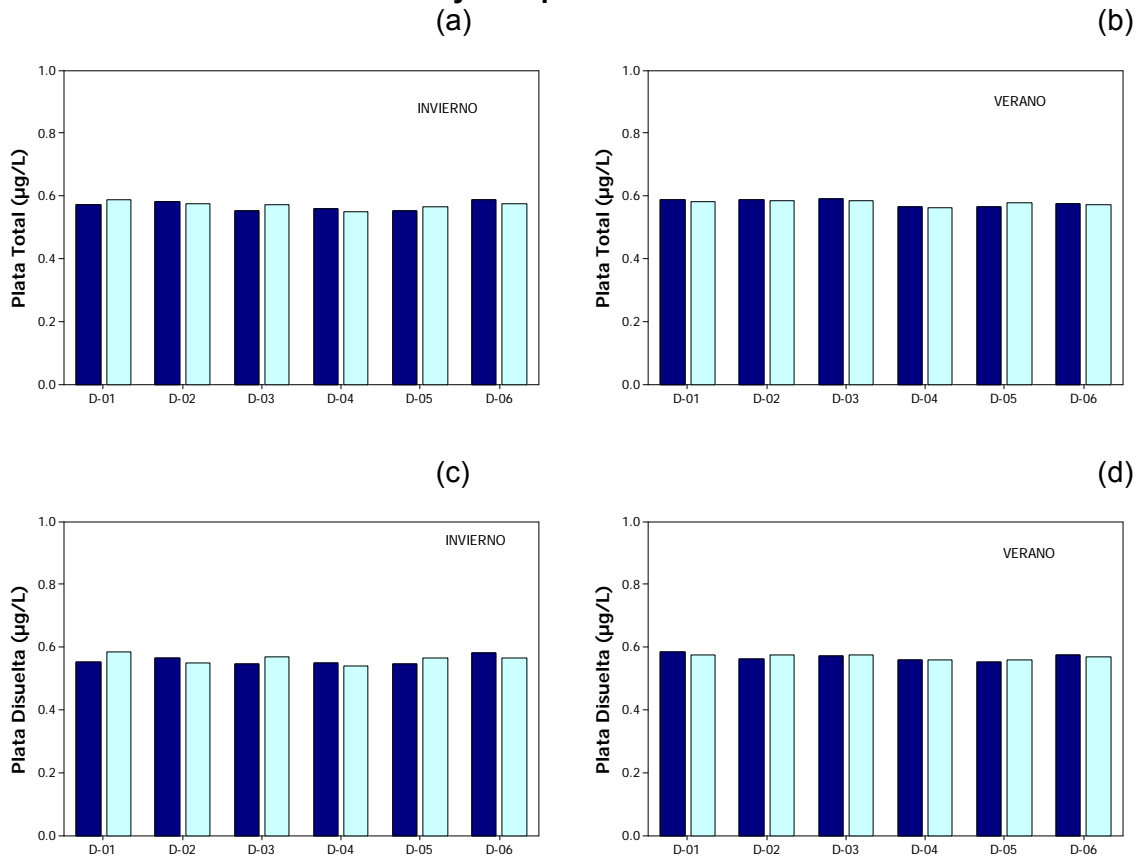
**Figura 5.9-80**  
**Diagramas de Barra para las Fracciones Totales y Disueltas del Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MgO por Estación, Estrato y Campaña de Muestreo..**



Nota: Barras azules nivel superficial, barras celestes estrato de fondo

Los resultados asociados a las determinaciones de plata total y disuelta se caracterizaron por evidenciar una escasa variabilidad temporal y espacial (**Tablas 5.9-42 y 5.9-43; Figura 5.9-81**), no detectándose diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0,050$ ) con ninguna de las categorías de re-clasificación utilizadas para el análisis de la información. Si bien no constituyeron diferencias estadísticas, las concentraciones de plata total y disuelta reportadas durante la campaña estival ( $0,579 \pm 0,010 \mu\text{g/L}$  total y  $0,570 \pm 0,009 \mu\text{g/L}$  disuelta) fueron levemente mayores que las señaladas durante la campaña invernal ( $0,570 \pm 0,013 \mu\text{g/L}$  total y  $0,562 \pm 0,015 \mu\text{g/L}$  disuelta).

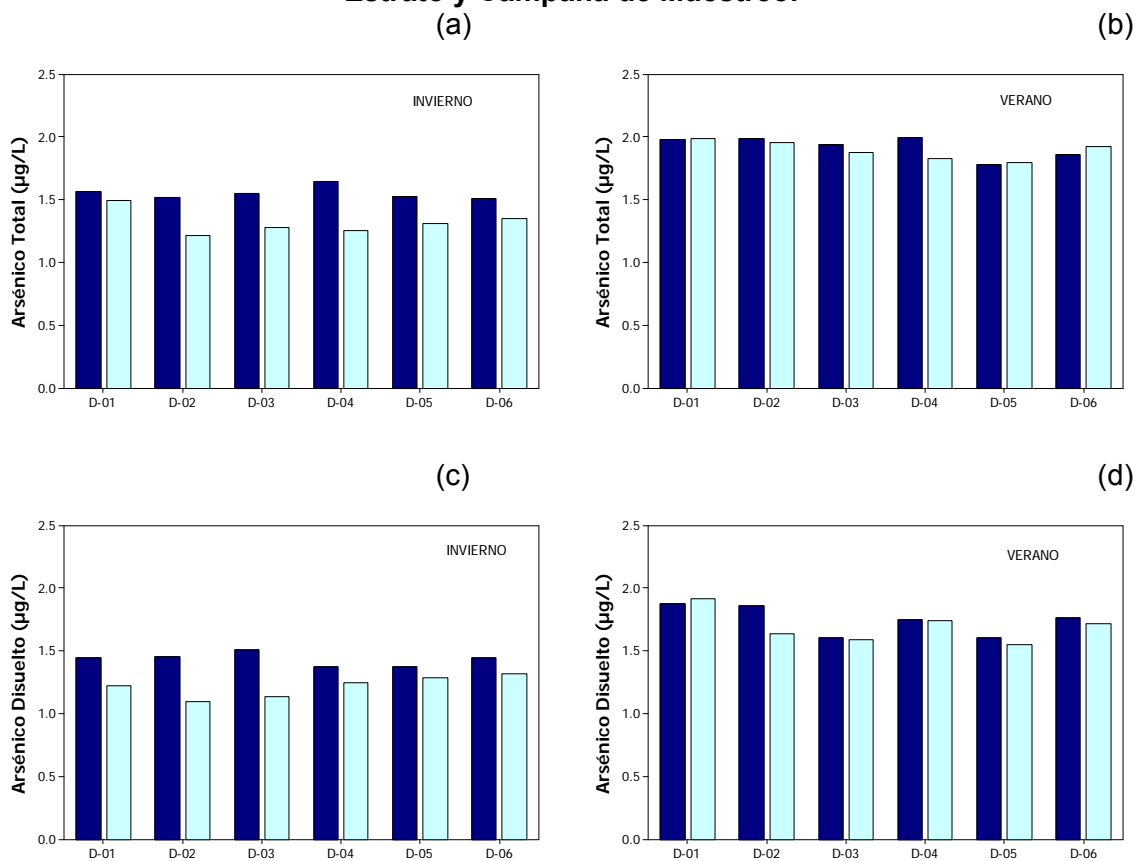
**Figura 5.9-81**  
**Diagramas de Barra para las Fracciones Totales y Disueltas de la Plata por Estación, Estrato y Campaña de Muestreo.**



Nota: Barras azules nivel superficial, barras celestes estrato de fondo

El arsénico presentó una concentración promedio para la campaña invernal 2009 de  $1,44 \pm 0,14 \mu\text{g/L}$  para la fracción total y de  $1,33 \pm 0,13 \mu\text{g/L}$  para la fracción disuelta. Valores promedios comparativamente mayores ( $p < 0,050$ ) se registraron para ambas fracciones durante la campaña estival 2010, alcanzando promedios de  $1,92 \pm 0,08 \mu\text{g/L}$  para la fracción total y de  $1,72 \pm 0,11 \mu\text{g/L}$  para la fracción disuelta (**Tablas 5.9-42 y 5.9-43**). Aunque en ninguna de las campañas en evaluación se identificó variaciones estadísticas entre las estaciones de muestreo, debido al recurrente patrón de distribución vertical identificado durante la campaña invernal 2009 (**Figura 5.9-82**), las fracciones totales y disueltas del arsénico evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre los estratos de muestreo ( $p < 0,050$ ), encontrándose valores comparativamente mayores asociados al nivel superficial de la columna de agua.

**Figura 5.9-82**  
**Diagramas de Barra para las Fracciones Totales y Disueltas del Arsénico por Estación, Estrato y Campaña de Muestreo.**

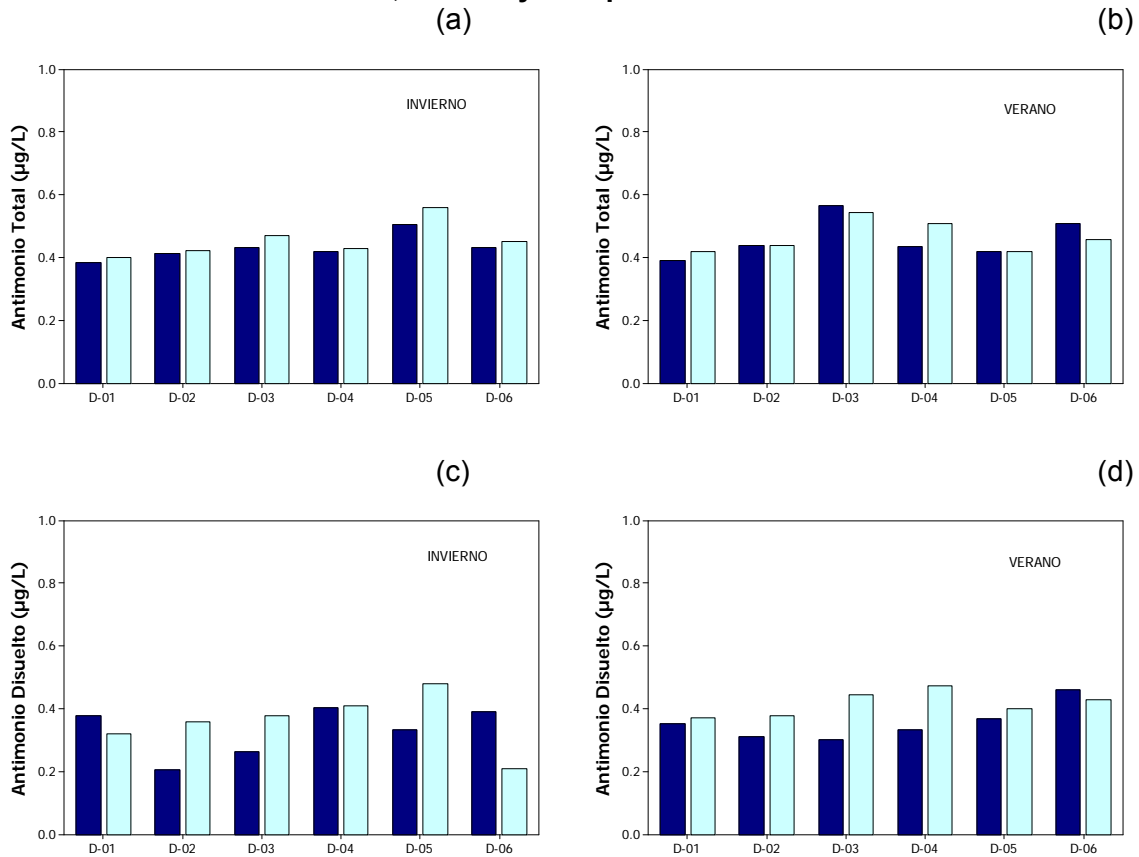


Nota: Barras azules nivel superficial, barras celestes estrato de fondo

Una distribución irregular predominó en los niveles de antimonio y estaño reportados durante las campañas invernales 2009 y estival 2010 (**Figuras 5.9-83 y 5.9-84**), y aunque se detectó un leve predominio de valores levemente mayores asociadas al período estival (**Tablas 5.9-42 y 5.9-43**), el contraste entre campañas no evidenció diferencias estadísticas ( $p > 0,050$ ) en ninguna de las fracciones analizadas (totales y disueltas).

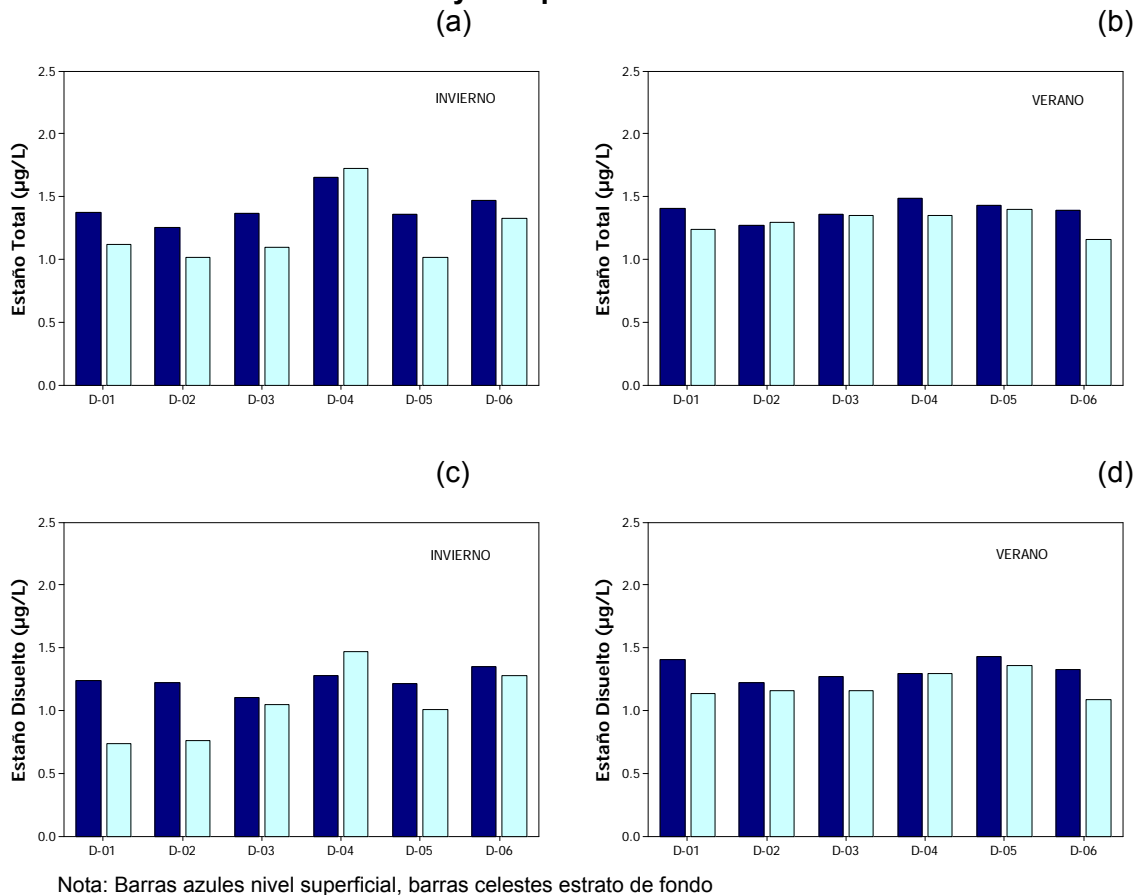
Al contrastar cada una de las campañas en evaluación, no se detectó diferencias significativas entre las estaciones o estratos de muestreo ( $p > 0,050$ ) a excepción de la variable antimonio disuelto durante la campaña estival 2010, en donde se registró un patrón vertical recurrente de distribución caracterizado por presentar mayores niveles asociados al estrato de fondo (salvo la estación D06), situación que explica la significancia estadística ( $p = 0,037$ ) encontrada al analizar la información por estrato de muestreo.

**Figura 5.9-83**  
**Diagramas de Barra para las Fracciones Totales y Disueltas del Antimonio por Estación, Estrato y Campaña de Muestreo..**



Nota: Barras azules nivel superficial, barras celestes estrato de fondo

**Figura 5.9-84**  
**Diagramas de Barra para las Fracciones Totales y Disueltas del Estaño por Estación, Estrato y Campaña de Muestreo.**



Nota: Barras azules nivel superficial, barras celestes estrato de fondo

#### b.4) Indicadores Microbiológicos

En cuanto a los niveles de coliformes fecales determinados en el área de estudio, destacó el predominio de niveles  $<2$  NMP/100ml en ambos períodos de evaluación (invernal 2009 y estival 2010), no observándose cambios en la calidad bacteriológica entre las estaciones evaluadas al interior de Bahía Caldera (D-01 a D-05), respecto de lo reportado en la estación de referencia (D-06). Esta característica se asocia con una buena calidad ambiental del sector, situación que se mantiene constante independiente del sector o período de evaluación.

#### b.5) Medicion puntual

En la tabla siguiente se presenta la caracterización puntual del agua de mar en el área de captación (Coordenadas 317.531E, 7.007.046N, Datum PSAD 56):

**Parámetros de Calidad de Agua de Mar en Punto de Captación**

Parámetros	Unidad	Estrato de 20 m de profundidad		Estrato de 30 m de profundidad	
		Réplicas			
		R1	R2	R1	R2
Turbiedad	UNT	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
COT (Carbono Orgánico Total)	mg/L	8,6	6,7	8,7	11
SST	mg/L	2,4	2,5	1,2	0,9
SDT	mg/L	39.434	39.716	39.680	40.310
Ssed	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
% Ensuciamiento y SDI		1,3	2,6	2,2	2,4
DQO	mg/L	5	5	6	7
DBO5	mg/L	<2	<2	<2	<2
Aceites y Grasas	mg/L	12	6	8	2
Hidrocarburos fijos	mg/L	<5	<5	<5	<5
Hidrocarburos totales	mg/L	<5	<5	<5	<5
Hidrocarburos Volátiles	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos totales	ug/L	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15
Coliformes totales	mg/L	<2	<2	2	<2
Coliformes fecales	mg/L	<2	<2	<2	<2
Detergentes (SAAM)	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Fenol	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
pH		8,0	8,0	8,0	8,0
Alcalinidad	mgCaCO3/L	241	230	244	236
HCO3 -1	mg/L	147	140	148	144
CO3 -2	mg/L	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
CO2	mg/L	2,4	2,3	2,5	2,4
Na	mg/L	11.171,8	10.887,7	10.956,8	10.886,6
Mg	mg/L	1.249,9	1.207,4	1.220,4	1.213,5
Ca	mg/L	430,5	415,1	473,2	424,5
K	mg/L	480,2	483,9	498,8	474,7
Sr	mg/L	10,07	11,65	11,83	12,04
Ba	µg/L	20,51	23,67	20,48	20,24
V	µg/L	0,748	0,619	0,624	0,615
Cr (III)	µg/L	1,02	1,02	1,26	1,06
Cr (IV)	µg/L	0,342	0,351	0,338	0,372
Cr total	µg/L	1,36	1,37	1,6	1,43



Parámetros	Unidad	Estrato de 20 m de profundidad		Estrato de 30 m de profundidad	
		Réplicas			
		R1	R2	R1	R2
Mo	µg/L	11,14	10,48	10,96	10,75
Mn	µg/L	108,9	116,5	135	137,4
Fe	µg/L	10,21	10,94	10,45	10,19
Ni	µg/L	1,98	1,92	1,66	1,55
Cu	µg/L	2,7	2,67	2,61	2,6
Cd	µg/L	0,047	0,044	0,033	0,031
Pb	µg/L	0,051	0,051	0,046	0,046
B	mg/L	4,95	5,21	5,66	4,92
Al	µg/L	122,6	123,3	132,3	127,7
Si - SiO <sub>2</sub> total	mg/L	1,25	1,34	1,31	1,15
As	µg/L	2,7	2,64	2,78	2,72
Se	µg/L	0,035	0,045	0,035	0,044
Hg	µg/L	0,046	0,049	0,042	0,046
Cl-	mg/L	19.727	19.634	19.728	19.541
F-	mg/L	1,3	1,3	1,3	1,3
SO <sub>4</sub> -2	mg/L	2.765	2.770	2.783	2.761
CN	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
P total	mg/L	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
N total	mg/L	0,5	0,6	0,3	0,3
Nitratos	mg/L	0,56	0,58	0,63	0,59
Nitritos	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01
Amonio	mg/L	0,04	0,06	0,03	<0,01
Fosfatos	mg/L	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Zinc	µg/L	2,27	2,06	2,41	2,42
MgO	mg/L	2.072,8	2.002,4	2.023,9	2.012,4
Bismuto	µg/L	27,85	27,09	26,21	25,26
Sulfuro	mg/L	0,4	0,7	0,6	0,3
Cobalto	µg/L	0,49	0,384	0,551	0,436
Ni+Co	µg/L	2,47	2,3	2,21	1,98
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	µg/L	240,4	241,7	259,4	250,4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +MgO	µg/L	2.073	2.002,6	2.024,1	2.012,7
Plata	µg/L	0,651	0,693	0,653	0,57
Oro	µg/L	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Antimonio	µg/L	0,408	0,424	0,416	0,326
Estaño	µg/L	1,49	1,4	1,34	1,36

Fuente: Análisis de calidad de agua de mar CCMC, Mayo 2010.

### 5.9.3.3 Calidad de sedimentos

#### a) Características granulométricas

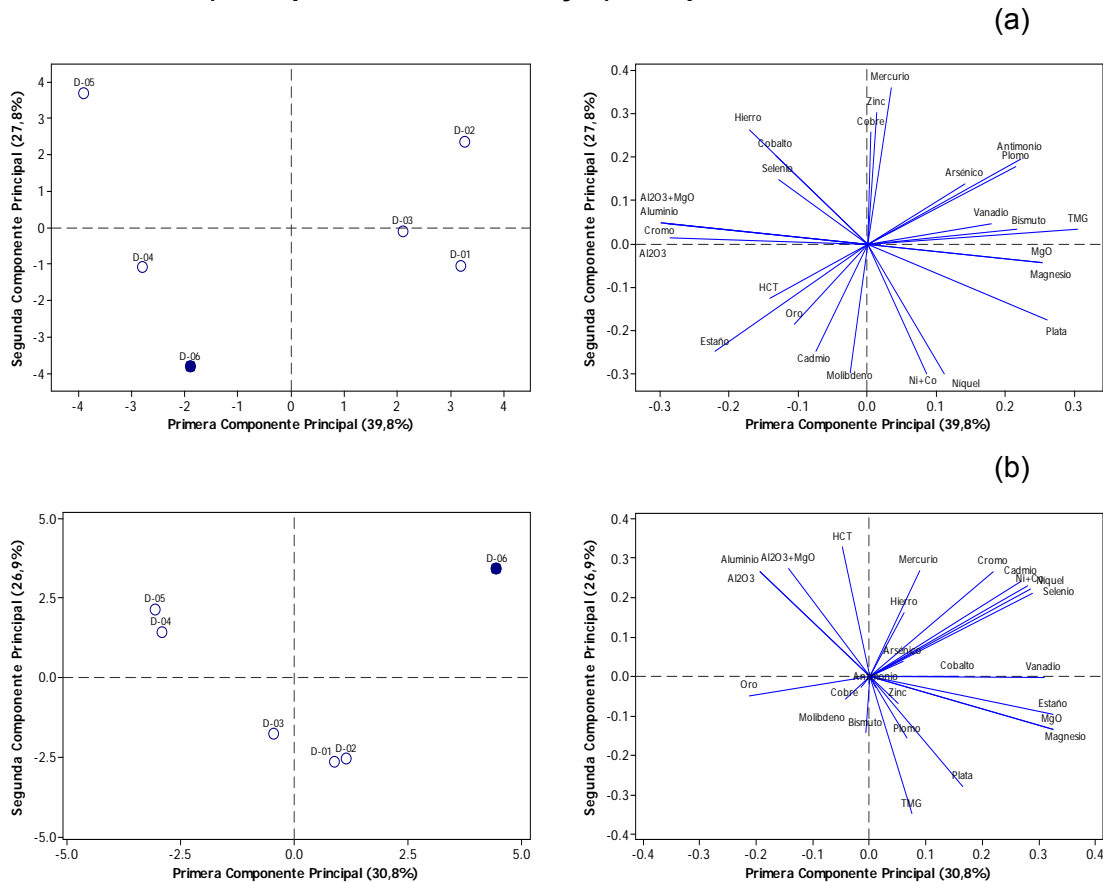
El análisis de componentes principales (ACP) de la campaña invernal 2009 (**Figura 5.9-85a**), indicó que las dos primeras componentes generadas están explicando el 67,6% de la variabilidad total de la información. La primera componente principal (eje X; 39,8%), permite observar una clara segregación entre las estaciones asociadas al sector del muelle de Punta Padrones (D-01 a D-03), respecto del resto de las estaciones de muestreo, situación que se explica por los comparativamente mayores niveles de antimonio, plomo, magnesio, plata, MgO y tamaño de partículas mayores que se asociaron a este sector de muestreo; en tanto que el resto de las estaciones, presentaron mayores niveles de aluminio y sus respectivos óxidos; así como también de cromo.

Por su parte, la segunda componente principal (eje Y; 27,8%), presentó la separación de las estaciones D-05 y D-02 por presentar niveles mayores de hierro, mercurio, zinc y cobre respecto del resto del área de estudio, mientras que la estación de referencia (D-06), evidenció niveles de estaño, cadmio, molibdeno y níquel mayores que los puntos de muestreo emplazados al interior de Bahía Caldera.

El ACP de la campaña estival 2010 (**Figura 5.9-85b**), reveló que las dos primeras componentes están explicando un 57,7% de la variabilidad total de la información. En forma similar a lo mencionado en la campaña precedente, nuevamente se verificó una disgregación de las estaciones de muestreo, identificándose en el eje X (30,8%), la conformación de tres grupos, uno formado solamente por la estación D-06, un segundo grupo conformado por las estaciones localizadas en torno al muelle de Punta Padrones (D-01 a D-03) y otro formado por las estaciones D-04 y D-05.

Esta segregación espacial de los puntos de muestreo se explica por los niveles comparativamente mayores que presentó para las variables cadmio, níquel, Ni+Co, selenio, vanadio, estaño, magnesio y el óxido de magnesio, la estación de referencia D-06, respecto del resto de los puntos de muestreo (eje x); mientras que al considerar la dispersión de los puntos en el eje y (26,9%), se debe destacar que el grupo de estaciones emplazadas en las cercanías del muelle (D-01 a D-03), presentaron un mayor tamaño de partículas, niveles de plata comparativamente mayores que el resto del área y niveles de aluminio y sus óxidos, hidrocarburos totales, mercurio y cromo más bajos que en el resto de las estaciones de muestreo (**Figura 5.9-85b**).

**Figura 5.9-85**  
**Análisis de Componentes Principales para los Elementos Traza en los Sedimentos Marinos de Bahía Caldera. En círculo completamente azul estación D-06 de referencia.**  
**a) Campaña Invernal 2009 y b) Campaña Estival 2010**



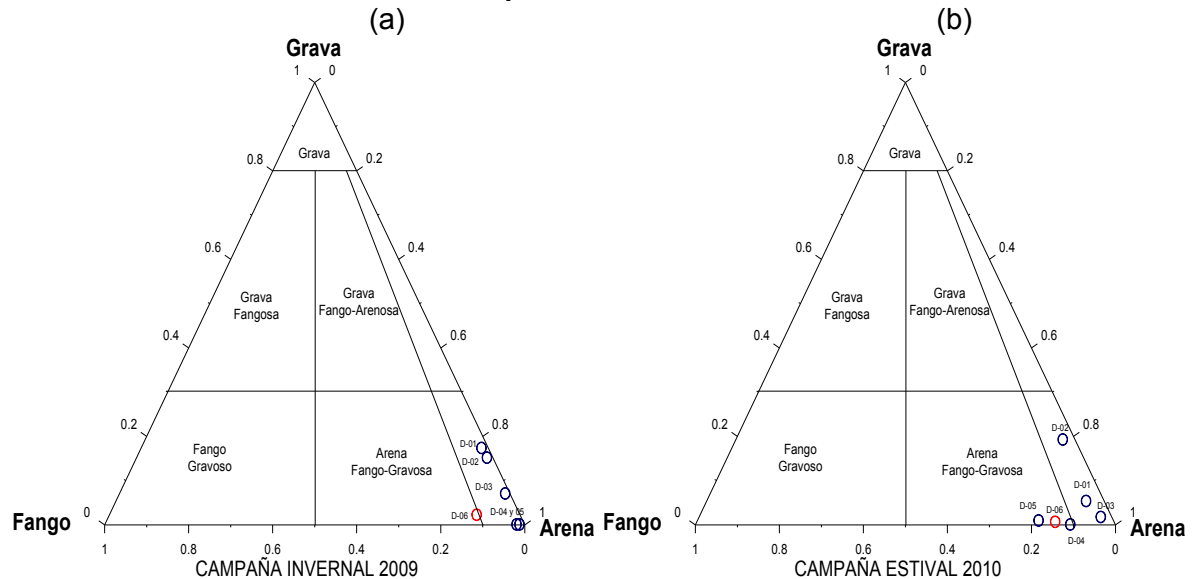
La **Tabla 5.9-44** y **Figuras 5.9-86** y **5.9-87** presentan las características granulométricas de los sedimentos evaluados por estación y campaña de muestreo. El diagrama ternario (**Figura 5.9-86**), reveló el amplio predominio de las arenas en el área de estudio, especialmente en las estaciones ubicadas en torno al muelle de Punta Padrones (estaciones D-01 a D-03), donde se identificaron arenas gruesas (campaña invernal 2009) y arenas medias a gruesas (campaña estival 2010; **Tabla 5.9-44**). Si bien, en el resto de las estaciones de muestreo (D-04 a D-06), predominó la presencia de partículas de menor tamaño que clasificaron entre arenas finas a muy finas (**Figura 5.9-87a**), en ambas campañas se detectó una baja cantidad de sedimentos  $<63\mu\text{m}$ , los cuales alcanzaron aportes porcentuales  $>10\%$  solamente en la estación de referencia (D-06) durante el período invernal 2009 y en las estaciones D-04, D-05 y D-06 durante la campaña estival 2010.

**Tabla 5.9-44**  
**Caracterización Granulométrica de los Sedimentos Sublitorales de Bahía Caldera por Campaña y Estación de Muestreo.**

Campaña Invernal 2009				
Estación	TMG (µm)	TMG (Φ)	Tipo Sedimento	D. STD (Φ)
D-01	752,7	0,410	Arena gruesa	1,337
D-02	657,7	0,604	Arena gruesa	1,184
D-03	558,7	0,840	Arena gruesa	1,185
D-04	147,0	2,766	Arena fina	0,830
D-05	99,3	3,333	Arena muy fina	0,529
D-06	143,8	2,798	Arena fina	1,130
Campaña Estival 2010				
Estación	TMG (µm)	TMG (Φ)	Tipo Sedimento	D. STD (Φ)
D-01	478,7	1,063	Arena media	1,305
D-02	731,6	0,451	Arena gruesa	1,377
D-03	445,6	1,166	Arena media	1,169
D-04	140,7	2,830	Arena fina	0,908
D-05	87,3	3,518	Arena muy fina	0,718
D-06	97,4	3,361	Arena muy fina	0,754

Nota: TMG = Tamaño medio grano, D. STD = desviación estándar.

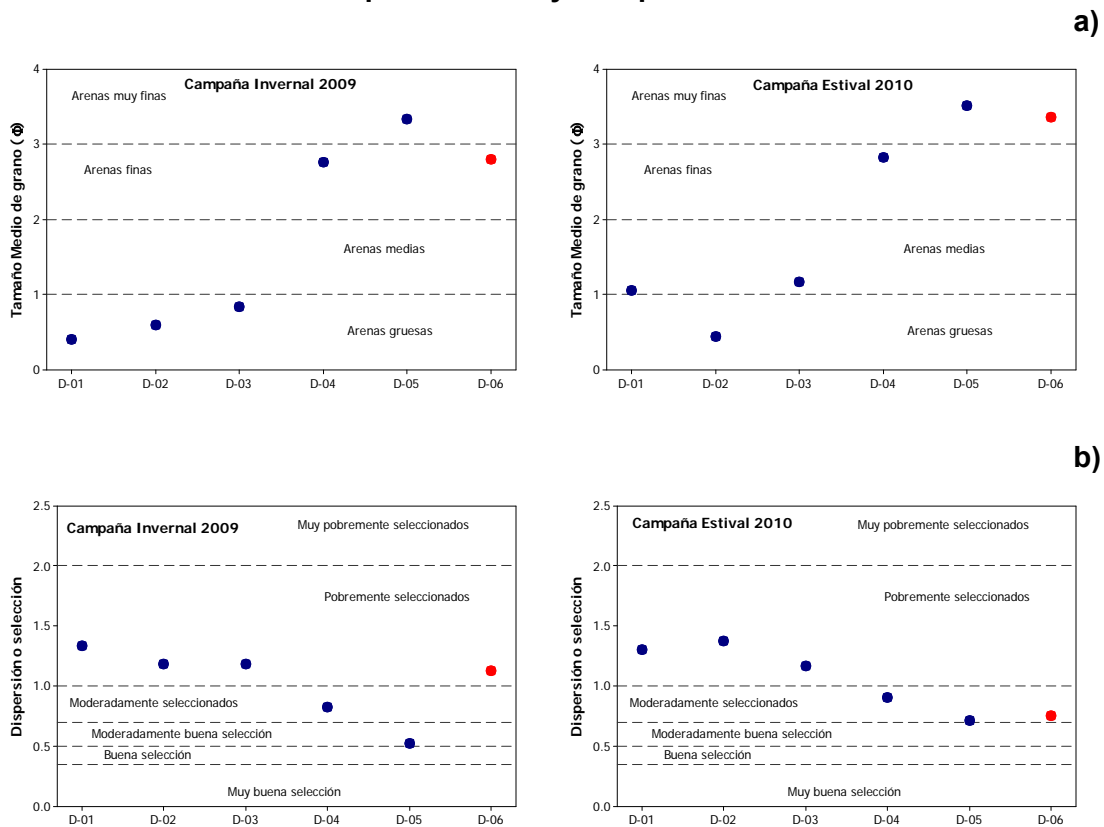
**Figura 5.9-86**  
**Gráfico Ternario de las Muestras de Sedimentos Submareales Colectadas por Estación de Muestreo, en rojo estación de referencia D-06. a) Campaña Invernal 2009, b) Campaña Estival 2010.**



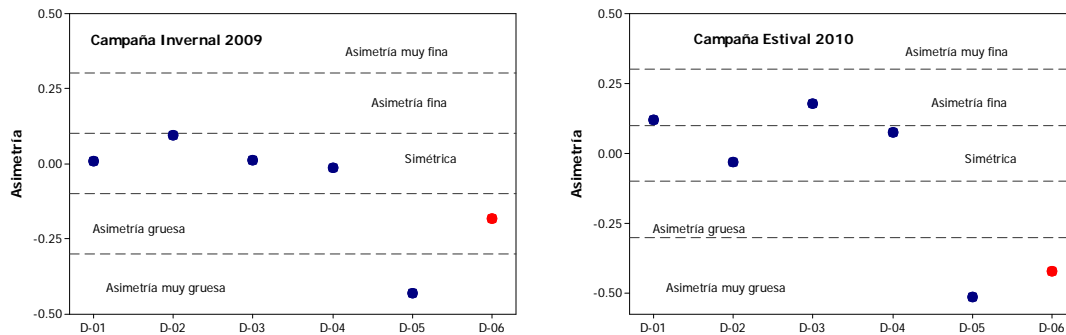
El análisis de las características sedimentarias de las estaciones de muestreo, reveló que las estaciones ubicadas en torno al muelle de Punta Padrones (D-01 a D-03), presentaron una condición constante entre las campañas, caracterizada por la presencia de sedimentos comparativamente mayores los cuales evidenciaron una pobre selección con una distribución en general asimétrica hacia los gránulos finos (**Figuras 5.9-87b y 5.9-87c**). El resto de las estaciones de muestreo, evidenciaron una selección que osciló entre moderadamente a moderadamente bien seleccionados; a excepción de la estación de referencia (D-06), la cual durante la campaña invernal 2009 presentó sedimentos pobremente seleccionados lo que involucra la presencia de procesos de mezcla, esta situación cambió durante la campaña estival 2010, donde los sedimentos de este punto de muestreo (D-06), evidenciaron una mejor selección con un mayor predominio de las arenas denominadas muy finas (**Figura 5.9-87**).

**Figura 5.9-87**

**a) Tamaño Medio de Grano, b) Selección y c) Asimetría de los Sedimentos Marinos Colectados por Estación y Campaña de Muestreo.**



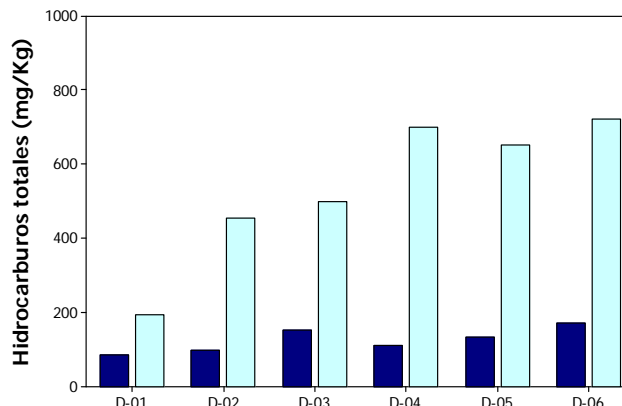
c)



**b) Hidrocarburos totales**

Los niveles de hidrocarburos totales durante la campaña invernal 2009, evidenciaron una concentración promedio de 125,7 mg/Kg  $\pm$  33,5, con un rango de fluctuación que osciló entre los 85 mg/Kg (estación D-01) a 172 mg/Kg (estación D-06). Por su parte, durante el período estival 2010, toda el área de estudio presentó niveles comparativamente mayores que los registrados en la campaña precedente, alcanzando una magnitud promedio de 537,5 mg/Kg  $\pm$  200,5, con un amplio rango de oscilación que varió entre los 193,52 mg/Kg (estación D-01) y un máximo de 723,38 mg/Kg (estación D-06). La representación gráfica de los niveles de hidrocarburos por estación y campaña de muestreo (**Figura 5.9-88**), se caracterizó por el notorio contraste entre campañas ( $p=0,004$ ). Sin embargo, pese a las diferencias numéricas y gráficas encontradas, en ambas campañas de evaluación, las menores concentraciones de hidrocarburos totales se encontraron asociadas a la estación D-01; en tanto que las mayores magnitudes de hidrocarburos estuvieron asociadas a la estación de referencia D-06.

**Figura 5.9-88**  
**Concentración de HCT en los Sedimentos Marinos por Estación y Campaña Muestreo.**  
**Estaciones Bahía Caldera (D-01-D-05), D-06 estación de Referencia.**



Nota: Barras azules campaña Invernal 2009, barras celestes campaña Estival 2010

c) Elementos Traza

La **Tabla 5.9-45**, presenta la estadística básica asociada a la determinación de cada uno de los elementos traza evaluados en los sedimentos marinos del área de estudio considerando cada una de las campañas realizadas. Adicionalmente, se adjunta los índices o directrices de calidad de sedimentos utilizados a nivel internacional. ERL= efectos de bajo rango; ERM: efectos de rangos medios; TEL: y PEL: nivel de efectos probables. En este contexto los objetivos de estos índices son comparables, los ERLs y TELs representan las concentraciones químicas bajo las cuales los efectos biológicos raramente son observados; en tanto que los índices ERMs y PELs se asocian con niveles o concentraciones sobre los cuales es mas frecuentemente observar algún efecto biológico (Long *et al.*, 1998).

**Tabla 5.9-45**  
**Concentración de Elementos Traza Determinados por Campaña de Muestreo en el Area de Estudio.**

Parámetros	Campaña Invernal (µg/g)	Campaña Estival (µg/g)	ERL (µg/g)	ERM (µg/g)	TEL (µg/g)	PEL (*) (µg/g)
Cobre	52,3 ± 57,7 11,3 – 177,1	97,4 ± 109,2 10,5 – 277,5	34	270	18,7	108
Cadmio	0,746 ± 0,293 0,465 – 1,420	2,860 ± 4,480 0,756 – 12,600	1,2	9,6	0,676	4,21
Plomo	6,51 ± 2,99 2,48 – 13,00	6,00 ± 3,85 2,34 – 15,20	46,7	218	30,2	112
Hierro	4584,2 ± 2437,5 1771,6 – 8706,0	5171,0 ± 2964,6 1520,0 – 9175,3	---	---	---	---
Zinc	54,0 ± 16,4 40,8 – 87,2	46,9 ± 33,9 11,9 – 109,8	150	410	124	271
Cromo	43,1 ± 16,9 25,9 – 67,5	32,6 ± 18,1 16,6 – 67,0	81	370	52,3	160
Mercurio	0,208 ± 0,030 0,168 – 0,245	0,188 ± 0,024 0,160 – 0,221	0,15	0,71	0,13	0,696
Oro	0,189 ± 0,078 0,099 – 0,313	0,144 ± 0,057 0,062 – 0,202	---	---	---	---
Aluminio	8595,1 ± 6626,3 2690,4 – 16632,4	6626,5 ± 3069,1 2868,1 – 11133,3	---	---	---	---
Plata	0,766 ± 0,282 0,340 – 1,010	0,925 ± 0,174 0,675 – 1,120	1,0	3,7	0,733	1,77
Magnesio	4139,8 ± 1870,2 2629,3 ± 7347,9	3031,8 ± 747,7 1995,2 ± 3763,7	---	---	---	---
Óxido de Aluminio	16240,3 ± 12520,3 5083,5 – 31426,6	12524,1 ± 5800,6 5420,6 – 21041,9	---	---	---	---
Óxido de Magnesio	6864,6 ± 3101,1 4360,3 – 12184,0	5032,8 ± 1241,2 3312,0 – 6247,8	---	---	---	---
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +MgO	23104,9 ± 10228,8 13102,8 – 35786,9	17556,8 ± 5012,5 10990,0 – 24353,9	---	---	---	---
Arsénico	3,47 ± 0,85 2,82 – 5,17	2,59 ± 0,48 2,01 – 3,17	8,2	70	7,24	41,6
Bismuto	20,92 ± 10,66 7,71 – 31,90	20,03 ± 5,41 11,60 – 25,90	---	---	---	---
Molibdeno	3,07 ± 0,46 2,55 – 3,90	3,81 ± 0,32 3,45 – 4,26	---	---	---	---
Níquel	10,36 ± 2,53 6,23 – 13,00	9,69 ± 9,14 5,19 – 28,30	20,9	51,6	15,9	42,8

Parámetros	Campaña Invernal (µg/g)	Campaña Estival (µg/g)	ERL (µg/g)	ERM (µg/g)	TEL (µg/g)	PEL (*) (µg/g)
Cobalto	3,20 ± 0,80 2,49 – 4,71	2,64 ± 0,74 1,88 – 3,85	---	---	---	---
Ni+Co	13,6 ± 2,0 10,9 – 16,1	12,3 ± 9,4 7,1 – 31,4	---	---	---	---
Antimonio	9,94 ± 6,06 1,62 – 17,8	12,09 ± 2,43 8,15 – 14,8	---	---	---	---
Selenio	1,39 ± 0,17 1,24 – 1,65	1,39 ± 0,31 1,20 – 2,02	---	---	---	---
Estaño	2,89 ± 0,52 2,29 – 3,69	2,37 ± 0,29 2,05 – 2,68	---	---	---	---
Vanadio	7,2 ± 2,7 4,81 – 12,30	11,9 ± 3,7 7,89 – 17,10	---	---	---	---

(\*): utilizado como nivel referencial para la calidad de los sedimentos nacionales. Según Directemar, estos valores son solamente referenciales y no constituyen una herramienta de carácter regulatorio o impositivo.

Diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,050$ ) entre campañas de monitoreo, solamente se registró para los elementos traza vanadio, arsénico, molibdeno y cadmio. En tanto que al analizar los resultados por estación de muestreo, es posible identificar algunas tendencias que se mantienen a lo largo del período de evaluación ambiental (invierno 2009 – estival 2010), destacando a las estaciones de muestreo emplazadas en las cercanías del muelle de Punta Padrones (D-01 a D-03), por presentar permanentemente mayores niveles de magnesio, óxido de magnesio, antimonio, vanadio y bajos niveles de aluminio y cromo. Sin embargo, de las estaciones de muestreo anteriormente mencionadas, destacó en forma particular la estación D-02 (localizada hacia la cabecera del muelle), por evidenciar niveles comparativamente mayores de hierro, zinc, cobre y plomo, cabe destacar que estos máximos identificados son espacialmente puntuales, no detectándose altos niveles en las otras estaciones de muestreo localizadas en las cercanías del muelle (D-01 y D-03). La representación gráfica de las concentraciones por variable y campaña son presentadas en las **Figuras 5.9-89 a 5.9-92** (barras azules campaña invernal 2009, barras celestes campaña estival 2010).

Hacia el sector de fondo de saco de la Bahía (estación D-05), destacaron máximos puntuales asociados a las variables hierro, zinc, cobre, plomo, aluminio y sus óxidos; en tanto que la estación de referencia (D-06), presentó máximos asociados a los elementos níquel, vanadio y cadmio, este último solamente en la campaña estival 2010. Distribuciones con escasa variación entre las estaciones de muestreo, se observó en las variables arsénico, cobalto, molibdeno, estaño, selenio, plata, mercurio y oro.



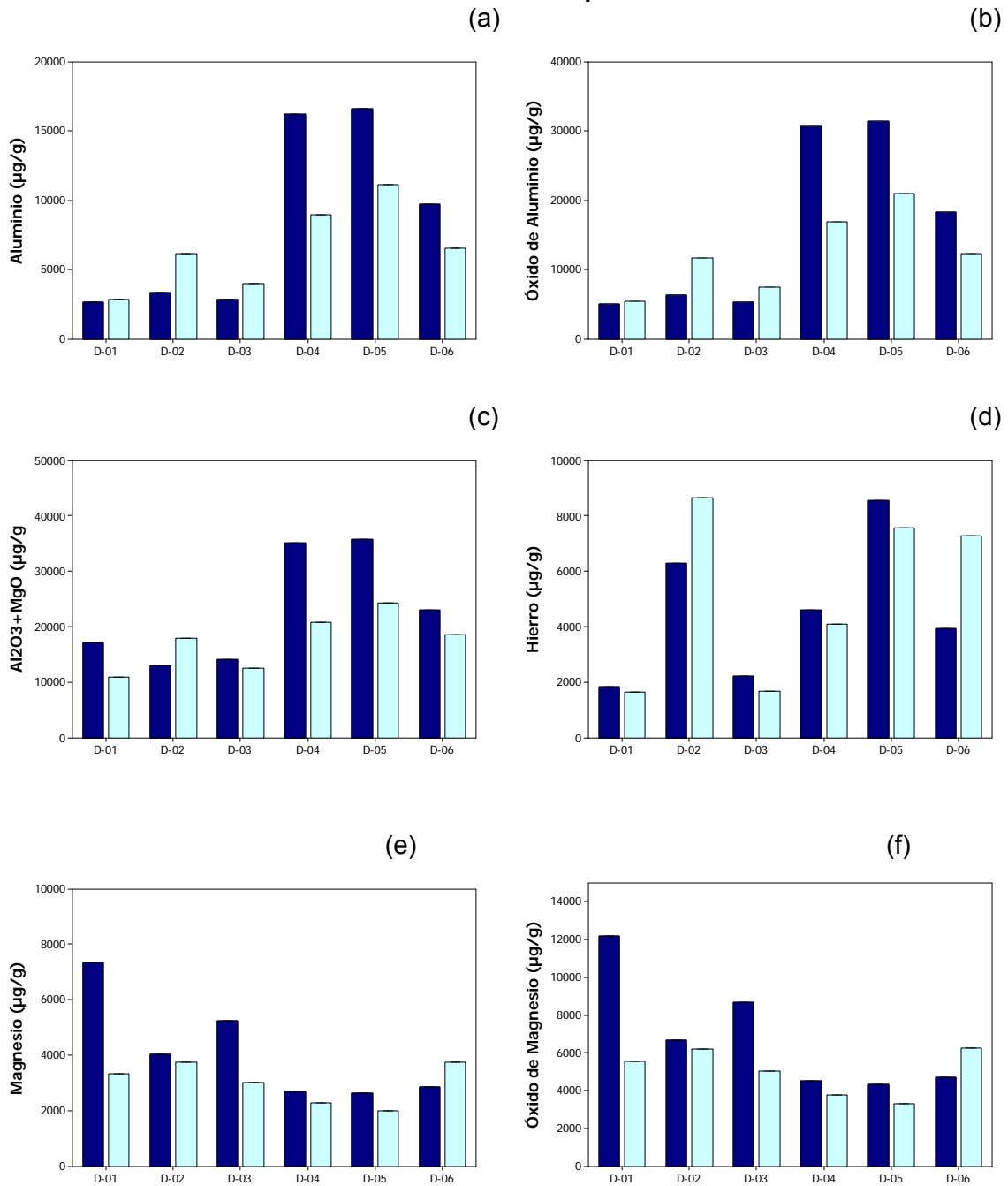
Al considerar las distintas magnitudes reportadas y dejando de lado los óxidos de aluminio y magnesio así como también la mezcla Níquel + Cobalto, el orden de importancia de los metales traza evaluados en los sedimentos marinos del área de estudio durante la campaña invernal 2009 es el siguiente: Al > Fe > Mg >> Zn > Cu > Cr > Bi > Ni > Sb > V > Pb > As > Co > Mo > Sn > Se >> Ag > Cd > Hg y Au. Por su parte, durante la campaña estival 2010, las concentraciones promedios no presentaron mayores diferencias respecto de la distribución reportada en el período invernal, predominando en las fracciones mayores los aportes del Al > Fe y Mg; sin embargo en las fracciones menores se detectaron pequeños cambios encontrándose en orden de importancia el Cu > Zn > Cr > Bi > Ni > Sb > V > Pb > Co > Mo > Sn > Cd > As > Se >> Ag > Hg y Au, destacó durante el período estival 2010 el alza evidenciada por el cadmio. Esta alza es totalmente puntual y se encuentra asociada exclusivamente a un máximo identificado en la estación de referencia D-06 localizada en las afueras de Bahía Caldera (Tabla 5.9-45).

Es importante destacar que en general, los niveles reportados para el área de estudio se ajustan a los rangos que se han informado en otras zonas costeras de nuestro país, no detectándose una marcada influencia antropogénica en la distribución de las variables analizadas; a excepción de valores puntuales de cobre en la estación D-05 campaña estival y en ambas campañas de la estación D-02. Sin embargo, aunque los niveles de cobre reportados en estos puntos de muestreo (D-05 y D-02) son comparativamente mayores que las magnitudes informadas para el sector marino de la patagonia (15,0-38,4 µg/g; Ahumada *et al.*, 2002), los canales interiores de Chiloé (10,2-95,4 µg/g; Silva *et al.*, 2009) o para Bahía San Vicente (17,19-81,73 µg/g; Ahumada & Vargas, 2005), son sensiblemente inferiores a las máximas determinaciones que se han detectado en el sector intermareal de Chañaral (>1.700 µg/g; Ramírez *et al.*, 2005), el cual presenta altos niveles de cobre producto de la depositación de desechos mineros en el sector costero (Ramírez *et al.*, 2005).

Aunque el cadmio presentó un máximo puntual asociado a la estación de referencia D-06, la totalidad de los registros obtenidos en ambos períodos de muestreo son inferiores a los estudios que se han desarrollado en otros sectores costeros semi-cerrados como la Bahía San Vicente (> 5 µg/g; por Ahumada & Vargas, 2005) o en Bahía Concepción (6,27 µg/g; Salamanca, 1988). El plomo en tanto, evidenció niveles que se encuentran dentro del rango de variación que se ha detectado en Bahía Mejillones (15,1 µg/g; Valdés & Sifeddine, 2009), o en el sector menos industrializado de Bahía San Vicente (9 a 14 µg/g; Ahumada & Vargas, 2005) y el sector del Seno de Reloncaví (6,94-16,22 µg/g; Silva *et al.*, 2009), y contrastan con las concentraciones comparativamente mayores que se han informado para el sector industrializado de Bahía San Vicente (>50 µg/g; Ahumada & Vargas, 2005).

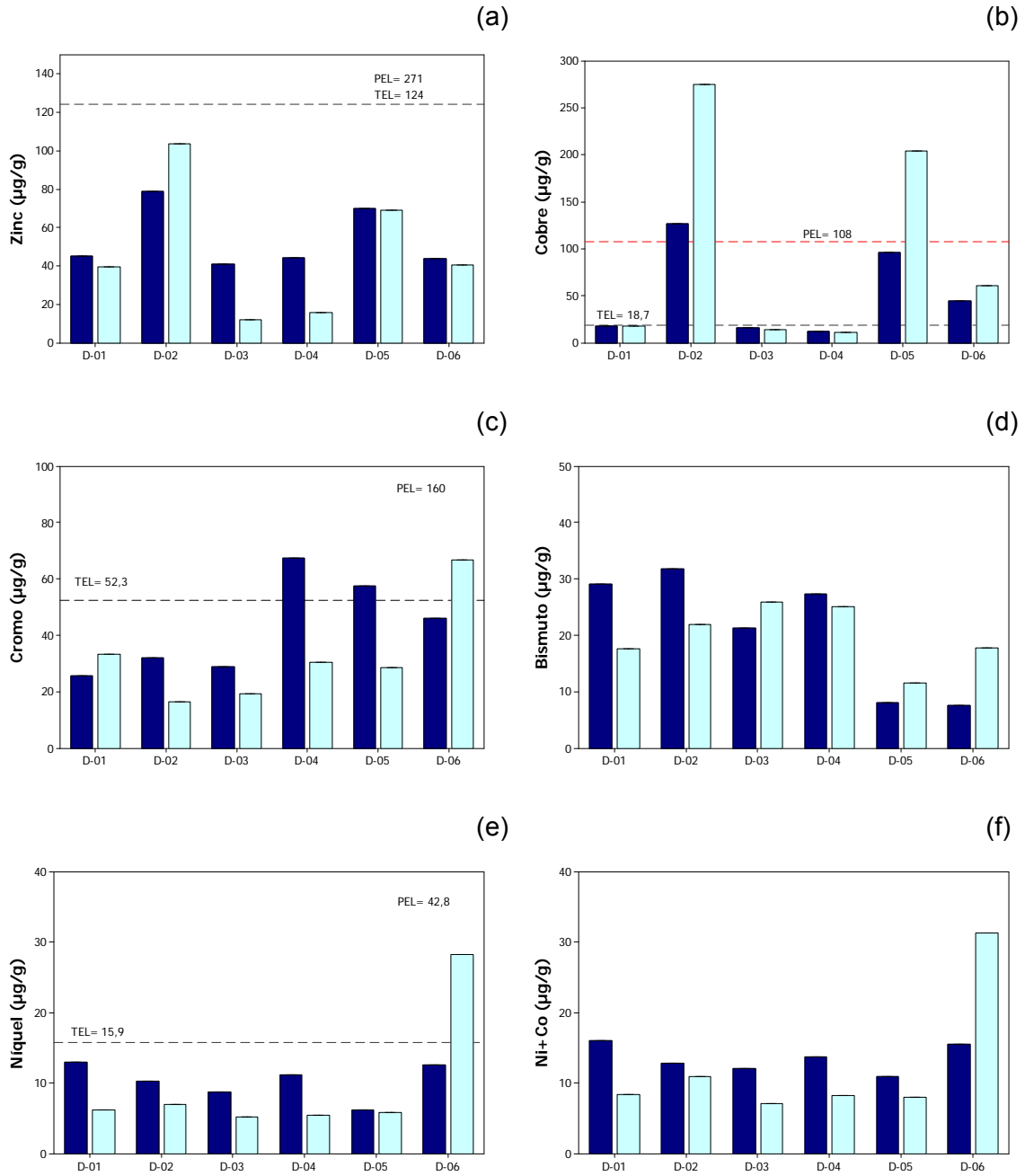
Por su parte el zinc (40,8-87,2 µg/g campaña invernal y 11,9-109,8 µg/g campaña estival; Tabla 5.9-45), presentó máximos comparativamente mayores que los resultados que se han descrito para Bahía Mejillones (13,1 a 51,4 µg/g; Valdés, 2004; Valdés & Sifeddine, 2009 o Bahía Concepción (91,8 µg/g; Salamanca, 1988); sin embargo, estos niveles son similares a las máximas determinaciones que se han reportado para la zona del Seno de Reloncaví (23,4-95,4 µg/g; Silva *et al.*, 2009).

**Figura 5.9-89**  
**Concentración de los Elementos Traza por Estación de Muestreo.**



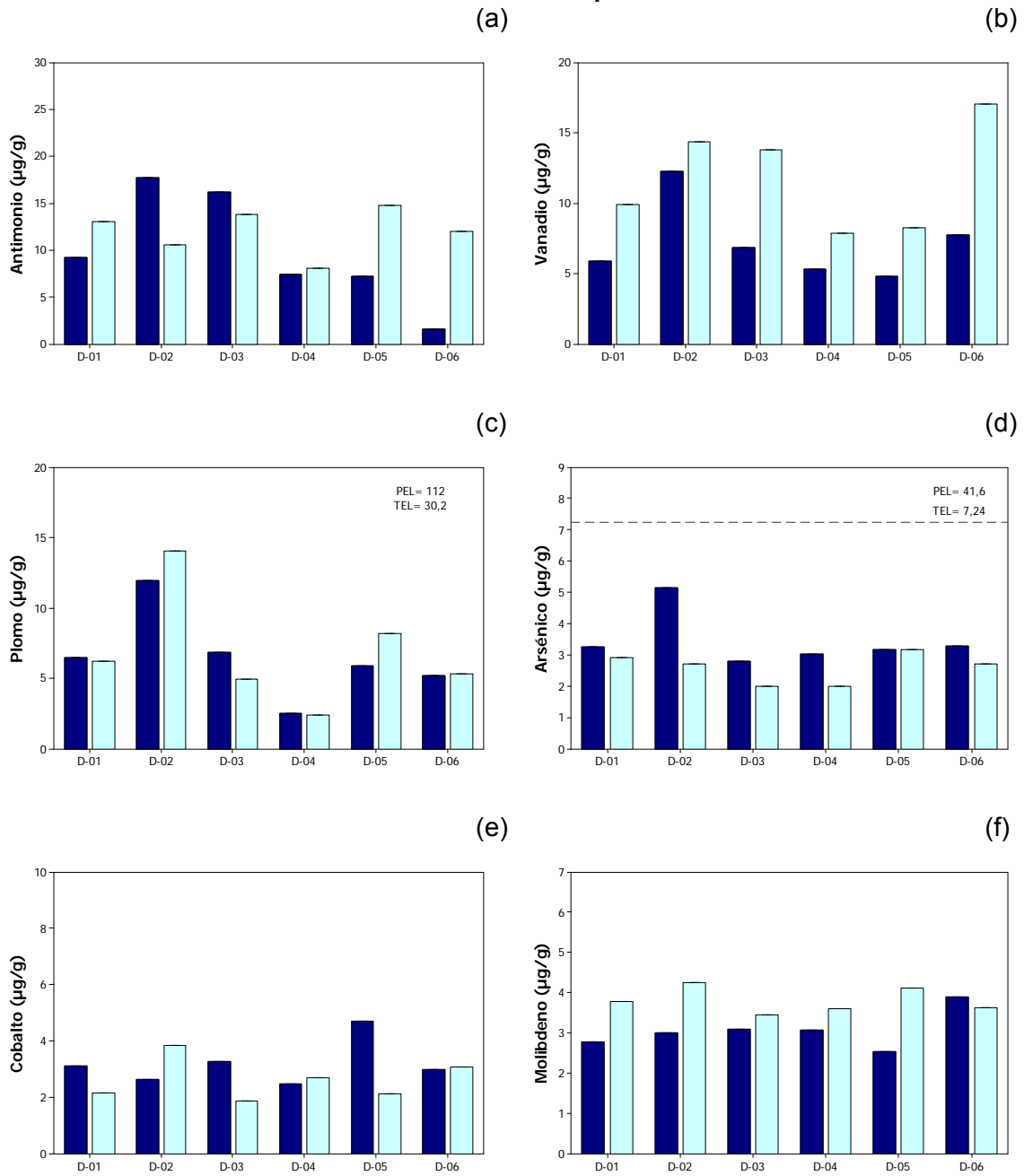
Nota: Barras en azul Campaña Invernal 2009, barras celestes Campaña Estival 2010.

**Figura 5.9-90**  
**Concentración de los Elementos Traza por Estación de Muestreo.**



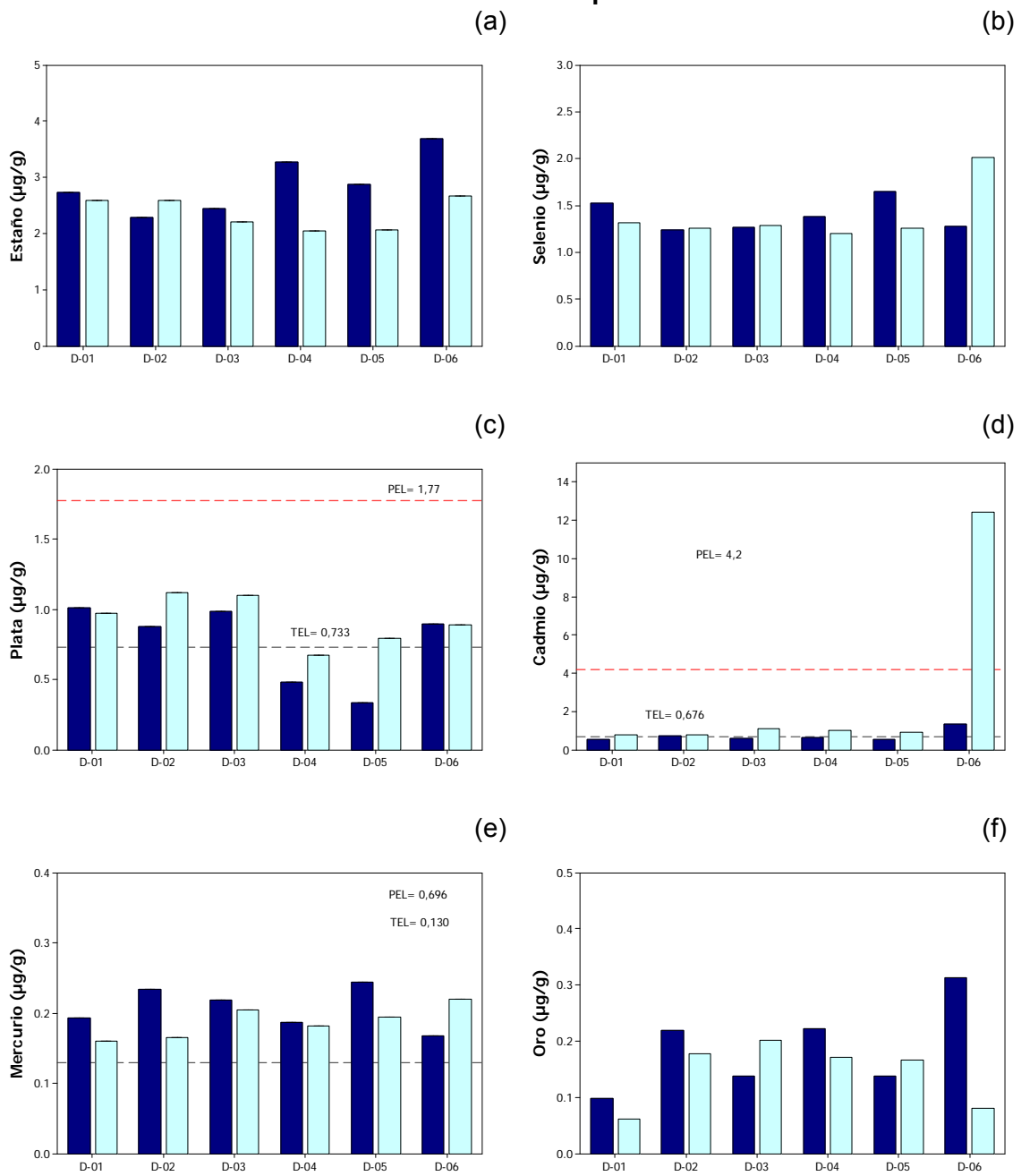
Nota: Barras en azul Campaña Invernal 2009, barras celestes Campaña Estival 2010.

**Figura 5.9-91**  
**Concentración de los Elementos Traza por Estación de Muestreo.**



Nota: Barras en azul Campaña Invernal 2009, barras celestes Campaña Estival 2010.

**Figura 5.9-92**  
**Concentración de los Elementos Traza por Estación de Muestreo.**



Nota: Barras en azul Campaña Invernal 2009, barras celestes Campaña Estival 2010.

#### 5.9.3.4 Comunidades planctónicas

El estudio de comunidades planctónicas al interior de Bahía Caldera fue realizado considerando la prospección en sus componentes fitoplancton y zooplancton.

##### a) Fitoplancton

La estructura taxonómica de fitoplancton durante la campaña de Septiembre de 2009, reportó un total de 44 especies identificadas, las cuales estuvieron agrupadas en cuatro Clases o grupos mayores, las cuales fueron Bacillariophyceae, Chlorophyceae, Dinophyceae y Charophyceae. Entre ellas, el grupo mayormente representado correspondió a las Diatomeas (Clase Bacillariophyceae), con una contribución cercana al 86,4 % del total de especies identificadas. En segundo término, pero con un porcentaje significativamente menor, aparece la clase Dinophyceae, representada por 5 especies con el 11,4 %. Las clases restantes (Chlorophyceae y Charophyceae), estuvieron representadas por sólo una especie.

Durante la campaña de Diciembre de 2009, se verificó una importante disminución en el total de especies identificadas, alcanzando las 22 especies, las cuales estuvieron agrupadas en sólo dos Clases o grupos mayores, las cuales fueron Bacillariophyceae y Dinophyceae. Nuevamente el grupo mayormente representado correspondió a las Diatomeas (Clase Bacillariophyceae), con una contribución cercana al 91 % del total de especies identificadas y, de manera similar, la clase Dinophyceae aparece como el segundo grupo en importancia, representada por solo dos especies. Durante esta campañas las clases Chlorophyceae y Charophyceae no estuvieron representadas.

Las **Tablas 5.9-46** y **5.9-47** presentan el listado de todas las especies fitoplanctónicas identificadas en este estudio. En la campaña invernal se verificaron 11 especies presentes en las tres estaciones de muestreo, todas pertenecientes a la clase Bacillariophyceae; estas son: *Corethron hystrix*, *Chaetoceros debilis*, *Chaetoceros didymus*, *Chaetoceros decipiens*, *Chaetoceros sociales*, *Eucampia corneta*, *Lauderia boreales*, *Leptocylindrus danicus*, *Nitzschia seriata*, *Schroderella delicatula* y *Thalassiosira aestivalis*. Por su parte, durante el verano se identificaron 8 especies de alta ocurrencia; estas son: *Chaetoceros debilis*, *Chaetoceros decipiens*, *Chaetoceros curvisetus*, *Chaetoceros sociales*, *Chaetoceros radicans*, *Coscinodiscus centrales*, *Skeletonema sp* y *Rhizolenia sp*.

En términos espaciales, la estación que presentó el mayor número de especies identificadas durante la campaña invernal fue TP-02, ubicada cerca del fondo de saco de la bahía, con un total de 31 especies, significando un nivel de ocurrencia relativa (riqueza) de 70% (**Figura 5.9-93**). En tanto que las estaciones restantes presentaron un número de especies similar (23 y 24 especies para TP-01 y TP-03, respectivamente), significando valores de riqueza de 52% para TP-01 y 54,% para TP-03.

Durante el verano, se mantuvo la estructura descrita para el período invernal, donde TP-02 presentó la mayor riqueza específica del área evaluada (45%), mientras que las estaciones restantes TP-01 (30%) y TP3 (25%) evidenciaron riquezas secundarias.

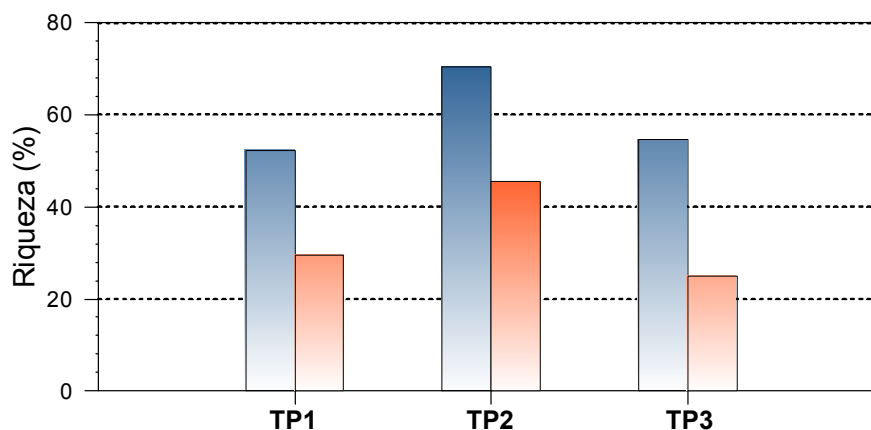
**Tabla 5.9-46**  
**Composición Fitoplanctónica en Bahía Caldera.**  
**Campaña Invernal de 2009.**

Especie	TP-01	TP-02	TP-03
<b>CLASE BACILLARIOPHYCEAE</b>			
<i>Achnanthes sp.</i>	-	-	+
<i>Biddulphia aurita</i>	+	+	-
<i>Corethron hystrix</i>	+	+	+
<i>Chaetoceros brevis</i>	+	-	-
<i>Chaetoceros debilis</i>	+	+	+
<i>Chaetoceros didymus</i>	+	+	+
<i>Chaetoceros decipiens</i>	+	+	+
<i>Chaetoceros diadema</i>	-	+	-
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	-	+	+
<i>Chaetoceros socialis</i>	+	+	+
<i>Chaetoceros radicans</i>	+	-	-
<i>Ceratulina pelagica</i>	-	+	-
<i>Coconeis sp.</i>	-	+	+
<i>Coscinodiscus marginatus</i>	-	+	-
<i>Eucampia cornuta</i>	+	+	+
<i>Gomphonema hebridense</i>	-	+	+
<i>Gomphonema pseudoexiguum</i>	-	-	+
<i>Grammatophora angulosa</i>	-	+	+
<i>Grammatophora marina</i>	-	+	-
<i>Lauderia borealis</i>	+	+	+
<i>Leptocylindrus danicus</i>	+	+	+
<i>Lichmophora abbreviata</i>	-	+	+
<i>Melosira varians</i>	+	+	-
<i>Melosira distans</i>	-	-	+
<i>Navicula sp</i>	+	+	-
<i>Navicula ammphila</i>	-	+	-
<i>Navicula dicephala</i>	+	-	-
<i>Nitzschia seriata</i>	+	+	+
<i>Nitzschia closterium</i>	-	-	+
<i>Nitzschia angularis</i>	+	-	-
<i>Pinnularia borealis</i>	-	+	+
<i>Pleurosigma normanii</i>	-	+	-
<i>Schroderella delicatula</i>	+	+	+
<i>Stephanopyxis palmeriana</i>	+	+	-
<i>Stephanopyxis turris</i>	-	-	+
<i>Thalassiosira aestivalis</i>	+	+	+
<i>Rhizosolenia sp.</i>	-	+	-
<i>Thalassiothrix nitzschioides</i>	+	+	-
<b>CLASE DINOPHYCEAE</b>			
<i>Dinophysis rotundata</i>	-	+	+
<i>Protoperidinium bipes</i>	-	-	+
<i>Ceratium furca</i>	+	-	-
<i>Ceratium tripos</i>	+	-	-
<b>CLASE CHLOROPHYCEAE</b>			
<i>Pediastrum simplex</i>	+	-	-
<b>CLASE CHAROPHYCEAE</b>			
<i>Closterium acerosum</i>	-	+	-

**Tabla 5.9-47**  
**Composición Fitoplanctónica en Bahía Caldera.**  
**Campaña Estival de 2010.**

Especie	TP-01	TP-02	TP-03
<b>CLASE BACILLARIOPHYCEAE</b>			
<i>Chaetoceros affines</i>	+	-	-
<i>Chaetoceros brevis</i>	-	+	+
<i>Chaetoceros debilis</i>	+	+	+
<i>Chaetoceros decipiens</i>	+	+	+
<i>Chaetoceros diadema</i>	-	+	-
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	+	+	+
<i>Chaetoceros socialis</i>	+	+	+
<i>Chaetoceros radicans</i>	+	+	+
<i>Chaetoceros convolutus</i>	+	+	-
<i>Chaetoceros similis</i>	-	+	-
<i>Coscinodiscus centralis</i>	+	+	+
<i>Entopyla sp</i>	-	+	-
<i>Melosira pseudogranulata</i>	-	+	+
<i>Nitzschia seriata</i>	-	+	+
<i>Nitzschia closterium</i>	+	+	-
<i>Skeletonema sp.</i>	+	+	+
<i>Stephanopyxis palmeriana</i>	-	+	-
<i>Rhizosolenia sp.</i>	+	+	+
<i>Rhizosolenia setigera</i>	-	+	-
<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>	+	+	-
<b>CLASE DINOPHYCEAE</b>			
<i>Protoperdinium sp</i>	-	+	-
<i>Ceratium furca</i>	+	-	-

**Figura 5.9-93**  
**Riqueza Específica del Fitoplancton Colectado en Bahía Caldera., Campañas Invernal (celeste) y Estival (naranja) de 2009.**



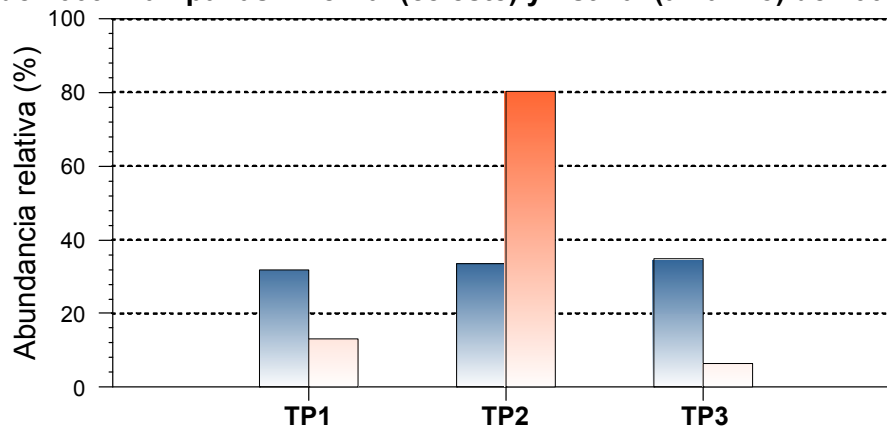


a.1) *Análisis comunitario*

El patrón distribución de especies en términos cuantitativos o de “conteo crudo” durante el invierno arrojó que el número de células alcanzó un total de 10.341.340 cel/mL (**Tabla 5.9-48**), mientras que en la campaña estival se verificó una abundancia marcadamente inferior, totalizando 37.510 cel/mL (**Tabla 5.9-49**). En términos espaciales, durante el invierno de 2009 la distribución espacial de la abundancia fitoplanctónicas establece que las tres estaciones evaluadas presentaron niveles de abundancia relativa similares, en torno al 30%. Así, la estación TP-03 presentó los mayores valores de abundancia, con un total de 1796720  $\text{cél mL}^{-1}$  contabilizados, significando una abundancia relativa en torno al 35%, mientras que la estación TP-01 presentó los menores niveles de abundancia con valores cercanos a 32 % (**Figura 5.9-94**).

Durante el verano (**Tabla 5.9-49**), se verificó un amplio dominio en abundancia asociado a la estación TP-02, la cual significó cerca del 80% de la abundancia total del período. Las estaciones restantes presentaron abundancias que representaron menos del 15 % respecto del total de la fauna identificada.

**Figura 5.9-94**  
**Abundancia de Organismos del Fitoplancton Colectado en Bahía Caldera. Septiembre de 2009. Campañas Invernal (celeste) y Estival (amarillo) de 2009.**



**Tabla 5.9-48**  
**Densidad (cél. mL<sup>-1</sup>) Taxa Fitoplanctónicas por Estación de Muestreo. Campaña Invernal 2009.**

Espece	TP-01	TP-02	TP-03
<b>CLASE BACILLARIOPHYCEAE</b>			
<i>Achnanthes sp.</i>			10
<i>Biddulphia aurita</i>	10	10	
<i>Corethron hystrix</i>	20	20	10
<i>Chaetoceros brevis</i>	175500		
<i>Chaetoceros debilis</i>	36000	121500	67500
<i>Chaetoceros didymus</i>	72000	256500	153000
<i>Chaetoceros decipiens</i>	270000	207000	229500
<i>Chaetoceros diadema</i>		32000	
<i>Chaetoceros curvisetus</i>		112500	108000
<i>Chaetoceros socialis</i>	49500	157500	229500
<i>Chaetoceros radicans</i>	6000		
<i>Ceratulina pelagica</i>		20	
<i>Coconeis sp.</i>		10	20
<i>Coscinodiscus marginatus</i>		10	
<i>Eucampia cornuta</i>	190	170	50
<i>Gomphonema hebridense</i>		10	10
<i>Gomphonema pseudoexiguum</i>			20
<i>Grammatophora angulosa</i>		20	10
<i>Grammatophora marina</i>		10	
<i>Lauderia borealis</i>	117000	94500	144000
<i>Leptocylindrus danicus</i>	5370	4100	7510
<i>Lichmophora abbreviata</i>		130	70
<i>Melosira varians</i>	20	20	
<i>Melosira distans</i>			640
<i>Navicula sp</i>	10	20	
<i>Navicula ammphila</i>		10	
<i>Navicula dicephala</i>	10		
<i>Nitzschia seriata</i>	2380	1120	1420
<i>Nitzschia closterium</i>			10
<i>Nitzschia angularis</i>	30		
<i>Pinnularia borealis</i>		10	50
<i>Pleurosigma normanii</i>		30	
<i>Schroderella delicatula</i>	904500	747000	855000
<i>Stephanopyxis palmeriana</i>	60	250	
<i>Stephanopyxis turris</i>			10
<i>Thalassiosira aestivalis</i>	380	320	330
<i>Rhizosolenia sp.</i>		10	
<i>Thalassiothrix nitzschioides</i>	100	10	
<b>CLASE DINOPHYCEAE</b>			
<i>Dinophysis rotundata</i>		10	20
<i>Protoperidinium bipes</i>			30
<i>Ceratium furca</i>	10		
<i>Ceratium tripos</i>	10		
<b>CLASE CHLOROPHYCEAE</b>			
<i>Pediastrum simplex</i>	20		
<b>CLASE CHAROPHYCEAE</b>			
<i>Closterium acerosum</i>		10	
<b>Promedio</b>	<b>71266,09</b>	<b>55962,26</b>	<b>74863,33</b>

Especie	TP-01	TP-02	TP-03
<b>Desviación estándar</b>	193965,41	145116,34	182051,26
<b>Coefficiente de variación</b>	2,72	2,59	2,43

**Tabla 5.9-49**  
**Densidad (cél. mL<sup>-1</sup>) de Taxa Fitoplanctónicas por Estación de Muestreo. Campaña Estival 2010.**

Especie	TP-01	TP-02	TP-03
<b>CLASE BACILLARIOPHYCEAE</b>			
<i>Chaetoceros affines</i>	6		
<i>Chaetoceros brevis</i>		3850	138
<i>Chaetoceros debilis</i>	39	80	45
<i>Chaetoceros decipiens</i>	72	100	66
<i>Chaetoceros diadema</i>		20	
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	33	470	24
<i>Chaetoceros socialis</i>	1983	6530	813
<i>Chaetoceros radicans</i>	3	220	33
<i>Chaetoceros convolutus</i>	9	120	
<i>Chaetoceros similis</i>		20	
<i>Coscinodiscus centralis</i>	12	20	6
<i>Entopyla sp</i>		10	
<i>Melosira pseudogranulata</i>		40	3
<i>Nitzschia seriata</i>		120	3
<i>Nitzschia closterium</i>	3	10	
<i>Skeletonema sp.</i>	261	880	93
<i>Stephanopyxis palmeriana</i>		260	
<i>Rhizosolenia sp.</i>	6	2190	9
<i>Rhizosolenia setigera</i>		90	
<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>	12	40	
<b>CLASE DINOPHYCEAE</b>			
<i>Protoperdinium sp</i>		10	
<i>Ceratium furca</i>	3		
<b>Promedio</b>	187,85	754	112,09
<b>Desviación estándar</b>	543,90	1655,27	236,35
<b>Coefficiente de variación</b>	2,90	2,20	2,11

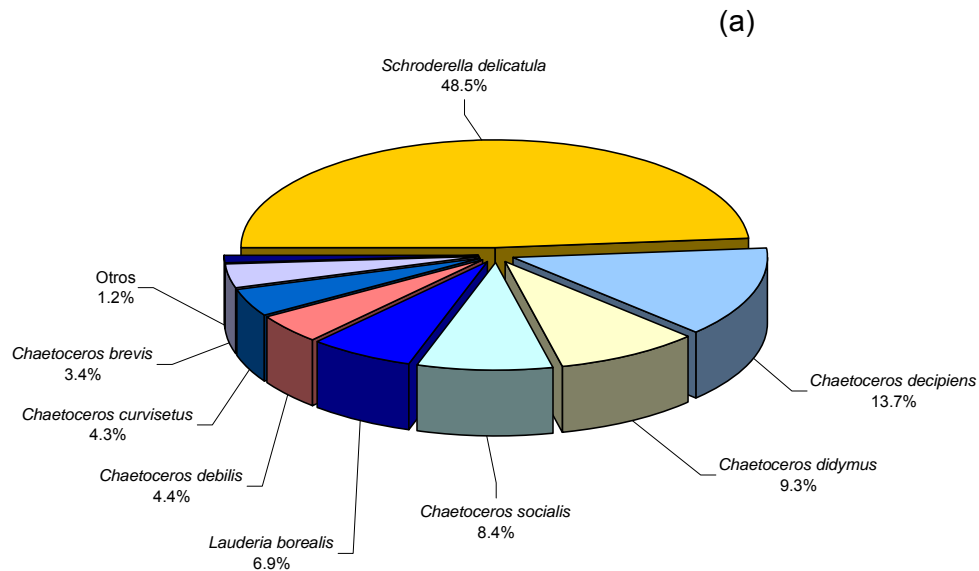
Durante el período invernal de 2009, el grupo más abundante correspondió a Bacillariophyceae, el cual representó más del 99,9 % del total de individuos determinados con un total de 5.170.560 células mL<sup>-1</sup>, dentro del cual destaca el amplio predominio de la especie *Schroderella delicatula*, la cual significó cerca del 50 % de la abundancia total en el área evaluada. De manera secundaria, y con abundancias que fluctuaron entre 6,4 y 13,7 %, destacan las especies *Chaetoceros decipiens*, *Chaetoceros didymus*, *Chaetoceros socialis* y *Lauderia borealis* (**Figura 5.9-95**).

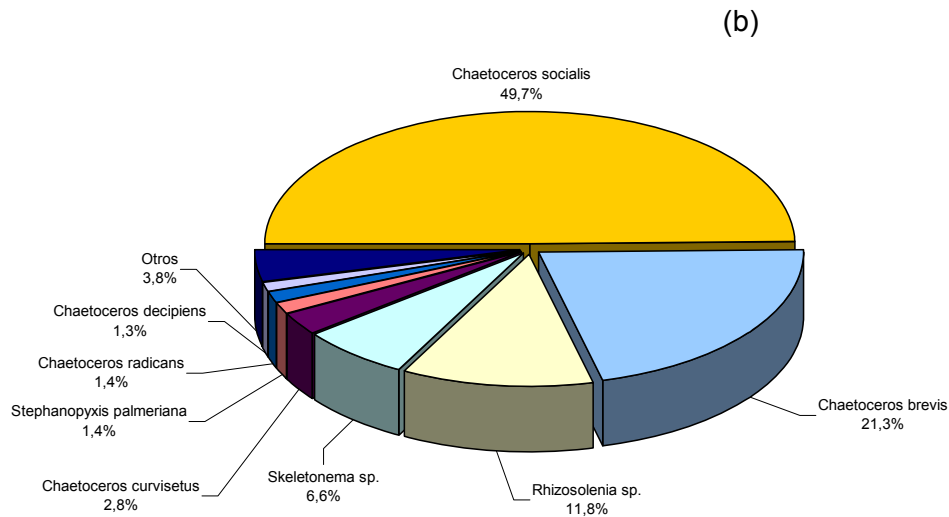
El resto de las Clases fitoplanctónicas descritas (Chlorophyceae, Dinophyceae y Charophyceae), presentaron niveles de abundancia marginales, representando en conjunto un porcentaje cercano al 0,002%.

Durante el verano, nuevamente el grupo más abundante correspondió a Bacillariophyceae, representando también el 99,9 % del total de individuos determinados ( $37.484 \text{ c\acute{e}l mL}^{-1}$ ); sin embargo, esta campaña estuvo dominada por una especie distinta de la reportada en el invierno, *Chaetoceros socialis*, la cual significó el 47,8 % de la abundancia total en el área evaluada. Abundancias secundarias presentaron las especies *Chaetoceros brevis* (20,5%), *Rhizosomelia* sp (11,3%) y *Skeletonema* (6,3%) (**Figura 5.9-95**).

La Clases Dinophyceae estuvo escasamente representada, con niveles de abundancia marginales, representando un porcentaje cercano al 0,07% del total de los individuos contabilizados.

**Figura 5.9-95**  
**Abundancia Relativa de cada Taxa Fitoplanctónico (%) en Bahía Caldera Durante los**  
**Períodos: a) invernal y b) estival.**





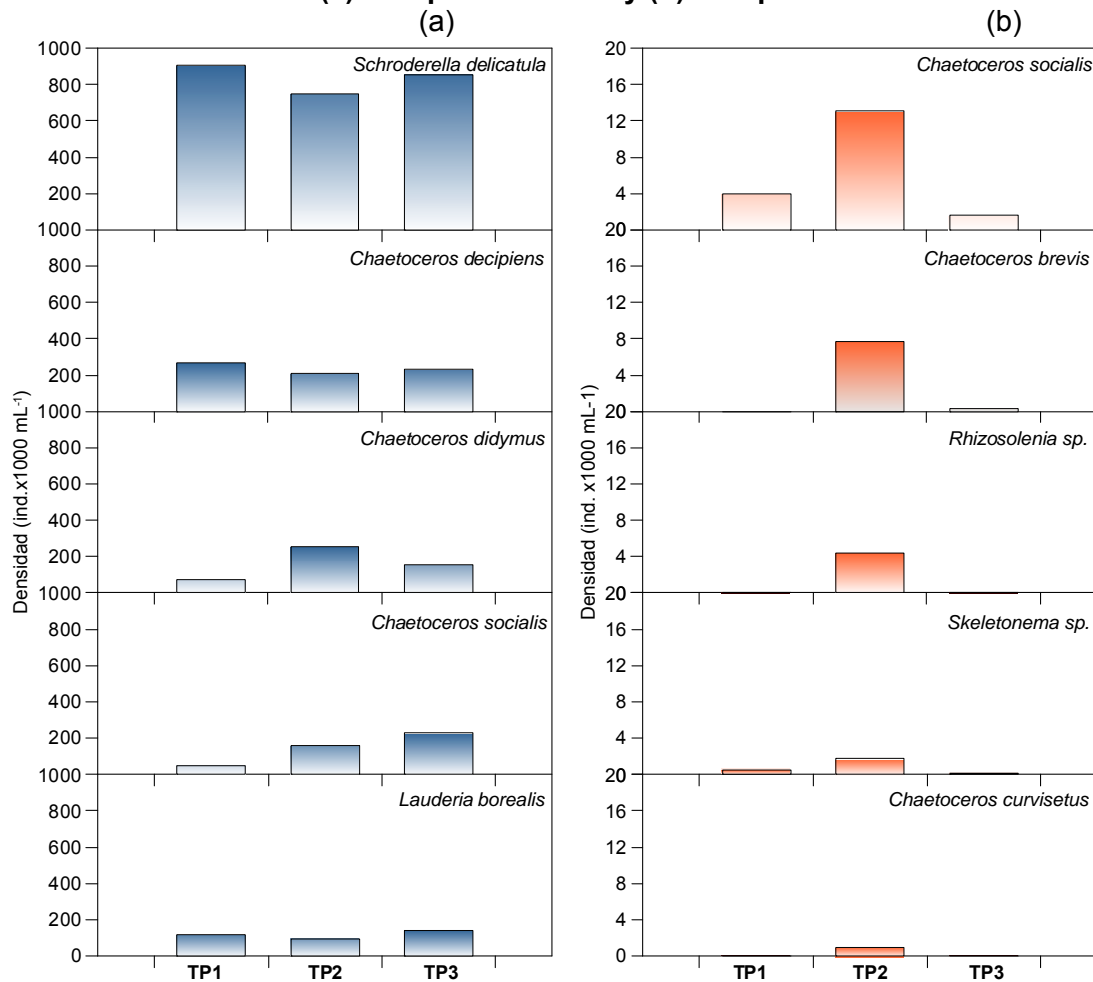
En la **Figura 5.9-96**, se presenta la distribución espacial de los grupos que presentaron niveles de abundancia superiores al 5% durante la campaña invernal de 2009. La gráfica muestra la amplia dominancia de *Schroderella delicatula* en las tres estaciones evaluadas, con densidades que fluctuaron entre 747000 y los 904500 cel mL<sup>-1</sup>.

Las otras especies importantes en términos de abundancia (*Chaetoceros decipiens*, *Chaetoceros didymus*, *Chaetoceros sociales* y *Lauderia borealis*), presentaron densidades notoriamente inferiores (<250000 cel mL<sup>-1</sup>), sin diferenciaciones importantes entre las abundancias de las tres estaciones evaluadas, a excepción de lo observado para *Chaetoceros didymus* y *Chaetoceros sociales*, las cuales presentaron menores densidades asociadas a la estación TP-01.

Durante el período estival, se verifican niveles de abundancia marcadamente inferiores respecto del período invernal, donde la especie más abundante *Chaetoceros socialis* presentó mayores abundancias asociadas a la estación TP2, ubicada frente a Puerto Padrones.

Las otras especies importantes en términos de abundancia (*Chaetoceros brevis*, *Rhizosolenia*, *Skeletonema* y *Chaetoceros curvisetus*), también presentaron abundancias asociadas a la estación TP-02.

**Figura 5.9-96**  
**Densidad de las Principales Taxa Encontradas en el Area de Estudio por Estación de muestreo. (a) Campaña Invernal y (b) Campaña Estival.**



En la **Tabla 5.9-50** se presentan los resultados de los cálculos de los distintos índices univariados. De estos resultados, se puede evidenciar que durante la campaña invernal no existió una dominancia marcada de alguna especie sobre la comunidad fitoplanctónica, obteniendo valores cercanos al 0,5. Se establecen altos valores de diversidad en todas las estaciones, destacando la estación TP-02, ubicada hacia el sector de fondo de saco de la Bahía.

Durante el período estival, se observó una disminución de los índices de diversidad en todas las estaciones debido a las menores riquezas y abundancias registradas en este período. Los valores más altos de diversidad, al igual que en la campaña invernal, se encuentran asociados a la estación TP-02. Durante este período, sólo la estación TP-01 presentó dominancias altas, asociadas a la alta presencia en esta estación de la especie *Chaetoceros socialis*.

**Tabla 5.9-50.**  
**Parámetros Comunitarios: Número Total de Especies (S); Número Individuos (N); Índice de Dominancia (D); Índice de Diversidad de Shannon (H'); e Índice de Equidad de Pielou (J').**

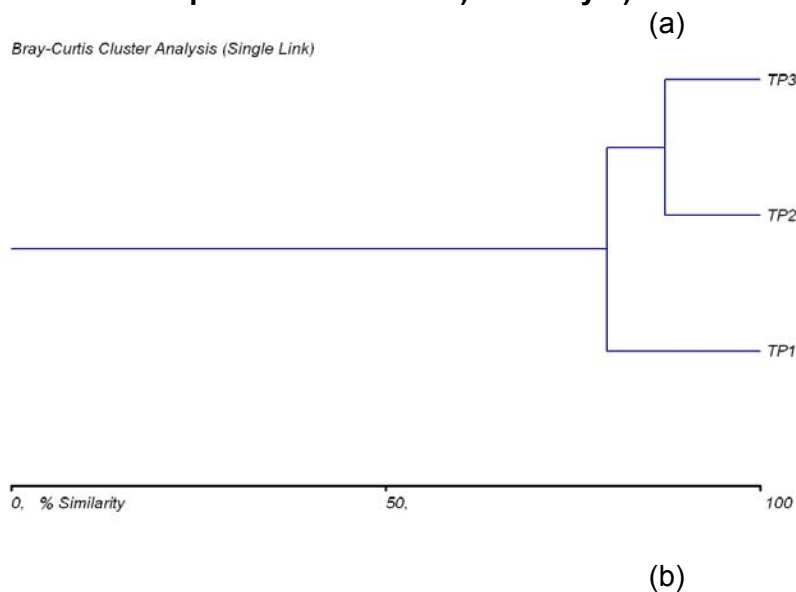
Período	Estaciones	Riqueza	Nº Individuos	Equidad	Diversidad	Dominancia
		S	N	J'	H'	D'
Estival	TP-01	23	1639120	0,45	2,07	0,55
	TP-02	31	1734830	0,51	2,51	0,49
	TP-03	24	1796720	0,51	2,36	0,49
Invernal	TP-01	13	2442	0,30	0,76	0,70
	TP-02	20	15080	0,55	1,64	0,45
	TP-03	11	1233	0,52	1,26	0,48

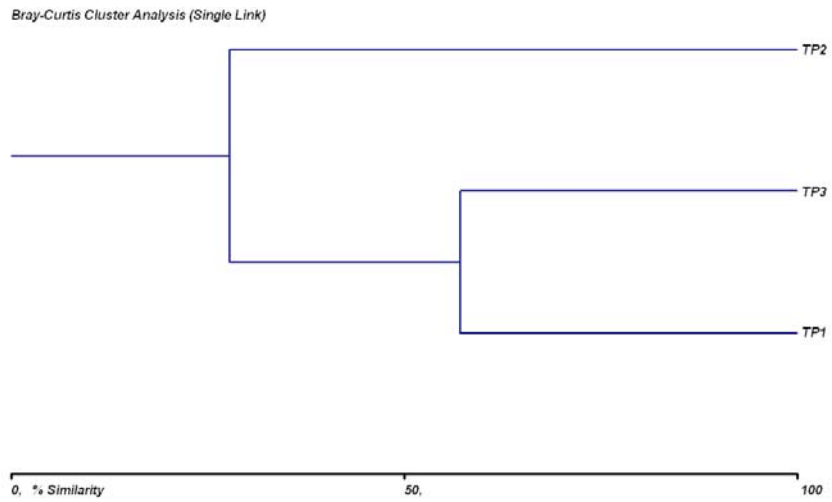
a.2 *Clasificación numérica*

En la Figura 5.9-97 se presenta el dendrograma resultante de la clasificación numérica para las 3 estaciones analizadas en base a una matriz de similitud con datos de abundancia de las especies colectadas, para ambos períodos de evaluación. El resultado del análisis, establece que durante la campaña invernal se verifica una diferenciación de la estación TP-01 respecto de las estaciones restantes, con un porcentaje de similitud de 80%.

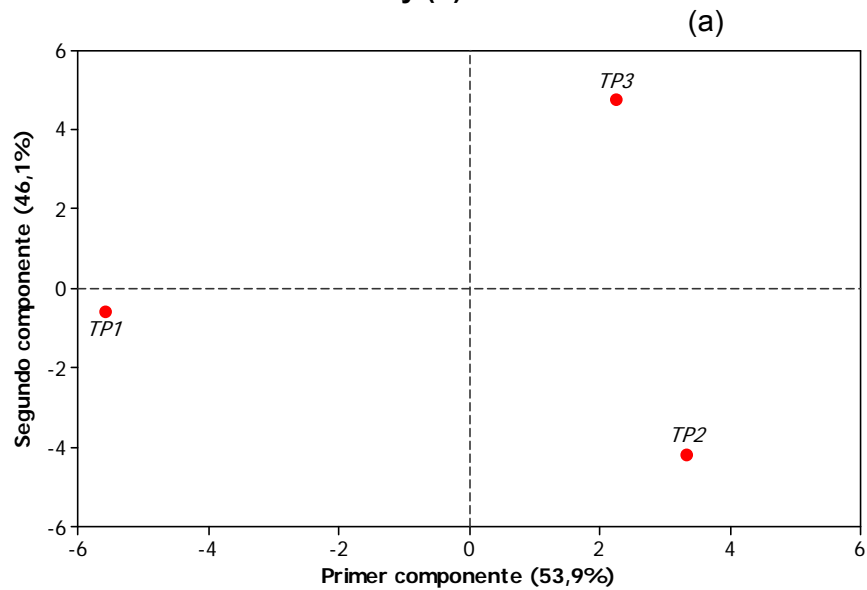
El resultado del análisis de escalación no métrica multidimensional (NMDS) coincide con el dendrograma, ya que del mismo modo que el análisis de clasificación numérica, diferenció en el primer componente a la estación TP-01 con un nivel de similitud del 53,9 %.(Figura 5.9-98).

**Figura 5.9-97**  
**Índice de Similitud de Bray- Curtis, para las Taxa Encontradas en cada Estación de Muestreo para los Períodos a) Estival y b) Invernal.**

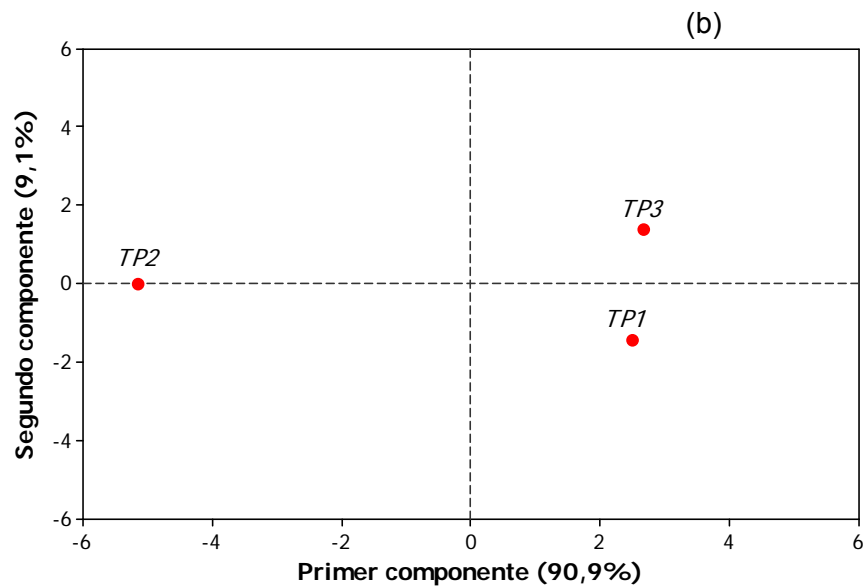




**Figura 5.9-98**  
Análisis de Escalación no Métrica Multidimensional (NMDS) para los Períodos (a) Estival y (b) Invernal.







## b) Zooplancton

La comunidad zooplanctónica durante la campaña invernal, presentó un total de 27 taxa, las cuales estuvieron agrupadas en 13 grupos mayores, los cuales fueron Copepoda, Mycidacea, Decapoda, Stomatopoda, Cirripedia, Gastropoda, Hydrozoa, Siphonophora Ctenophora, Polychaeta, Chaetognata, Urochordata y larvas de peces, contabilizándose un total de 18.540 individuos en los tres sectores evaluados.

En la **Tabla 5.9-51** se presenta la composición taxonómica identificada (presencia/ausencia) en cada estación de muestreo. Se verificó que un número importante de especies (13,48%), presentaran porcentajes de ocurrencia del 100%, esto es, que estuvieron presentes en todas las estaciones de muestreo evaluadas.

**Tabla 5.9-51**  
**Composición Zooplanctónica Identificados en el Área de Estudio (Campaña Invernal)**

Taxa	Familia	TP-01	TP-02	TP-03
Copepoda	Acartiidae	+	+	+
Copepoda	Calanidae	+	+	+
Copepoda	Centropagidae	+	+	-
Copepoda	Paracalanidae	+	-	-
Mycidacea		-	-	+
Decapoda	Larvas zoea	+	+	+
Decapoda		+	+	+
Decapoda	Larva Megalopa	+	+	+
Decapoda	Larva nauplius	+	+	+
Decapoda	Larva Zoea	+	+	+
Stomatopoda		+	+	+
Cirripedia	Larvas Cipris	+	+	+

Taxa	Familia	TP-01	TP-02	TP-03
Gastropoda	(Larva)	+	-	+
Hydrozoa	Phialellidae	+	+	+
Hydrozoa	<i>Phialidium</i>	+	-	-
Hydrozoa	<i>Obelia</i>	+	+	+
Hydrozoa	Euphysidae	-	-	+
Hydrozoa	Tubulariidae	-	+	-
Hydrozoa		+	-	-
Siphonophora		+	-	-
Ctenófora		+	-	+
Polychaeta	Tomopteridae	+	-	-
Polychaeta	Syllidae	-	-	+
Polychaeta	Spionidae	+	+	+
Chaetognatha	Sagittidae	+	-	-
Urochordata	Oikopleuridae	+	-	-
Chordata	huevos	+	+	+

Durante la campaña estival, se presentó un total de 18 taxa las cuales estuvieron agrupadas en 10 grupos mayores: Copepoda, Decapoda, Stomatopoda, Cirripedia, Gastropoda, Hydrozoa, Polychaeta, Chaetognata, Urochordata y larvas de peces, contabilizándose un total de 1.066 individuos en los tres sectores evaluados.

En la **Tabla 5.9-52**, se presenta la composición taxonómica identificada (presencia/ausencia) en cada estación de muestreo. Se verificó que cinco especies presentaron porcentajes de ocurrencia del 100%, esto es, que estuvieron presentes en todas las estaciones de muestreo evaluadas. Las especies correspondieron a *Calanus* sp., larvas zoea, larvas cipris, *Obelia* sp. y larvas de spionidae.

**Tabla 5.9-52**  
**Composición Zooplanctónica en el Área de Estudio (Campaña Estival).**

Taxa	Especie	TP-01	TP-02	TP-03
Copepoda	<i>Acartia</i> sp	+	-	-
Copepoda	<i>Calanus</i> sp	+	+	+
Copepoda	<i>Centropages</i>	-	+	+
Decapoda	Larvas mysis	+	-	+
Decapoda	Larva Megalopa	+	+	-
Decapoda	Larva nauplius	-	+	-
Decapoda	Larva Zoea	+	+	+
Stomatopoda	Familia Indet	-	-	+
Cirripedia	Larvas Cipris	+	+	+
Gastropoda	Larva	-	+	-
Hydrozoa	<i>Phialella</i>	-	+	+
Hydrozoa	<i>Obelia</i>	+	+	+
Hydrozoa	<i>Especie Indet.</i>	-	+	-
Polychaeta	Larvas	+	+	+
Chaetognatha	<i>Sagitta</i> sp	-	+	-

Taxa	Especie	TP-01	TP-02	TP-03
Urochordata	<i>Oikopleura</i>	-	+	+
Chordata	huevos	+	+	-
Chordata	Larvas	+	-	+

b.1) *Análisis comunitario*

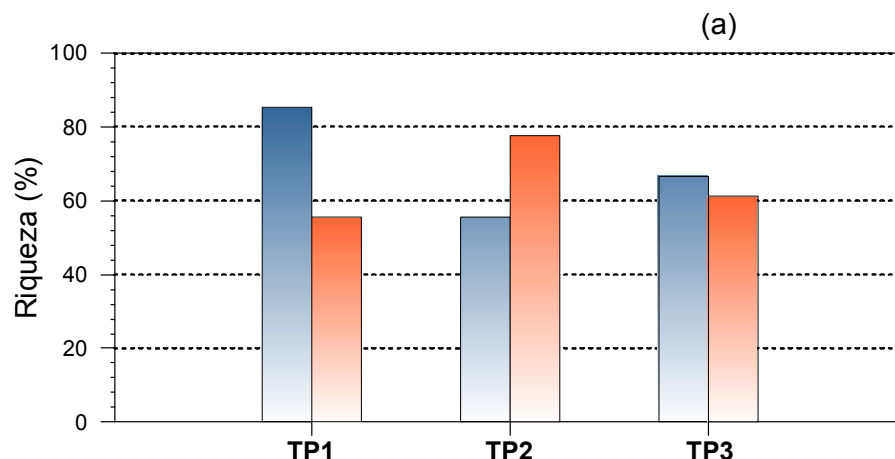
El patrón de distribución de especies por estación, presentó valores significativos de riqueza durante el período invernal, superando el 50% del total de especies colectadas en cada una de las estaciones muestreadas (**Figura 5.9-99a**). La estación TP-01 ubicada frente al sector de Punta Padrones, presentó los mayores niveles de riqueza (número de especies identificadas) alcanzando un total de 23 taxa, significando un nivel de riqueza superior al 85%. Las estaciones restantes, presentaron niveles de riqueza de 15 y 18 taxa, presentando el 56 y 67 % del total de especies identificadas.

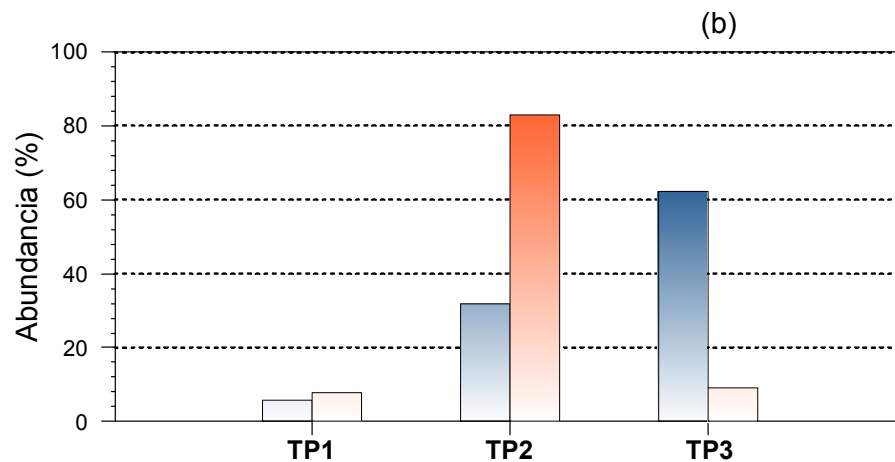
Durante el verano, también se observaron valores de riqueza por sobre el 50% del total de especies colectadas en cada una de las estaciones muestreadas (**Figura 5.9-99a**), destacando la estación cercana al Puerto de Caldera (TP-02) como la que presentó los mayores niveles de riqueza (78%) identificándose 11 taxa. Las estaciones restantes presentaron niveles de riqueza de 55% y 61%, con 10 y 11 taxa, respectivamente.

En términos de abundancia, el período invernal estableció que el sector 3, ubicado en el sector oriental de la Bahía, presentó la mayor cantidad de individuos contabilizados, significando el 62% del la abundancia total registrada durante este período. La estación TP-01 presentó la menor cantidad de individuos identificados de los tres sectores evaluados, significando el 5,6 % de la abundancia total (**Figura 5.9-99b**).

Por su parte, durante la campaña estival el sector ubicado en las cercanías a Puerto Padrones presentó la mayor cantidad de individuos contabilizados, significando sobre el 80% del la abundancia total del período (**Figura 5.9-99b**).

**Figura 5.9-99**  
**(a) Número de Especies y (b) Número de Ejemplares Contabilizados por Estación de Muestreo. Bahía Caldera, Septiembre de 2009.**





Nota: Período invernal (barra azul), período estival (barra naranja).

Las densidades encontradas para las diferentes taxa por estación de muestreo, durante el período invernal se presentan en la **Tabla 5.9-53**. Se observa que la estación TP-03, ubicada en el sector oriental de la Bahía, presentó la mayor diversidad promedio, con un valor de 737,2 ind. m<sup>-3</sup>, caracterizada por la amplia dominancia del grupo de larvas zoea, situación no observada en otras estaciones de muestreo.

**Tabla 5.9-53**  
**Densidad (ind. m<sup>-3</sup>) de Taxa Zooplanctónicas por Estación de muestreo.**  
**Campaña Septiembre de 2009.**

Taxa	Familia	TP1	TP2	TP3
Copepoda	Acartiidae	48,88	303,75	243,32
Copepoda	Calanidae	14,99	20,64	8,55
Copepoda	Centropagidae	12,18	1,23	
Copepoda	Paracalanidae	8,33		
Mycidacea				6,17
Decapoda	Larvas zoea	3,67	65,18	131,72
Decapoda		1,73	30,05	51,58
Decapoda	Larva Megalopa	0,67	3,70	155,45
Decapoda	Larva nauplius	102,92	1446,12	504,72
Decapoda	Larva Zoea	141,88	164,44	3197,29
Stomatopoda		3,10	27,72	110,14
Cirripedia	Larvas Cipris	41,96	199,36	313,71
Gastropoda	(Larva)	0,33		37,74
Hydrozoa	Phialellidae	10,02	110,81	266,73
Hydrozoa	<i>Phialidium</i>	0,35		
Hydrozoa	<i>Obelia</i>	3,50	5,24	127,02
Hydrozoa	Euphysidae			4,12
Hydrozoa	Tubulariidae		0,90	
Hydrozoa		0,35		

Taxa	Familia	TP1	TP2	TP3
Siphonophora		3,67		
Ctenófora		29,74		2,85
Polychaetea	Tomopteridae	0,35		
Polychaetea	Syllidae			52,44
Polychaetea	Spionidae	32,43	572,74	555,66
Chaetognatha	Sagittidae	34,98		
Urochordata	Oikopleuridae	23,90		
Chordata	huevos	5,49	16,78	7,13
Promedio		22,84	197,91	320,91
Desviación estándar		35,18	378,89	737,17
Coeficiente de variacion		1,54	1,91	2,30

Durante la campaña estival, las mayores densidades promedio estuvieron asociadas a la estación TP-02, ubicada en el sector de Puerto Padrones, presentando una densidad promedio de 63,3 ind. m<sup>-3</sup>, caracterizada por la amplia dominancia del grupo de larvas zoea, situación similar a la observada en otras estaciones de muestreo.

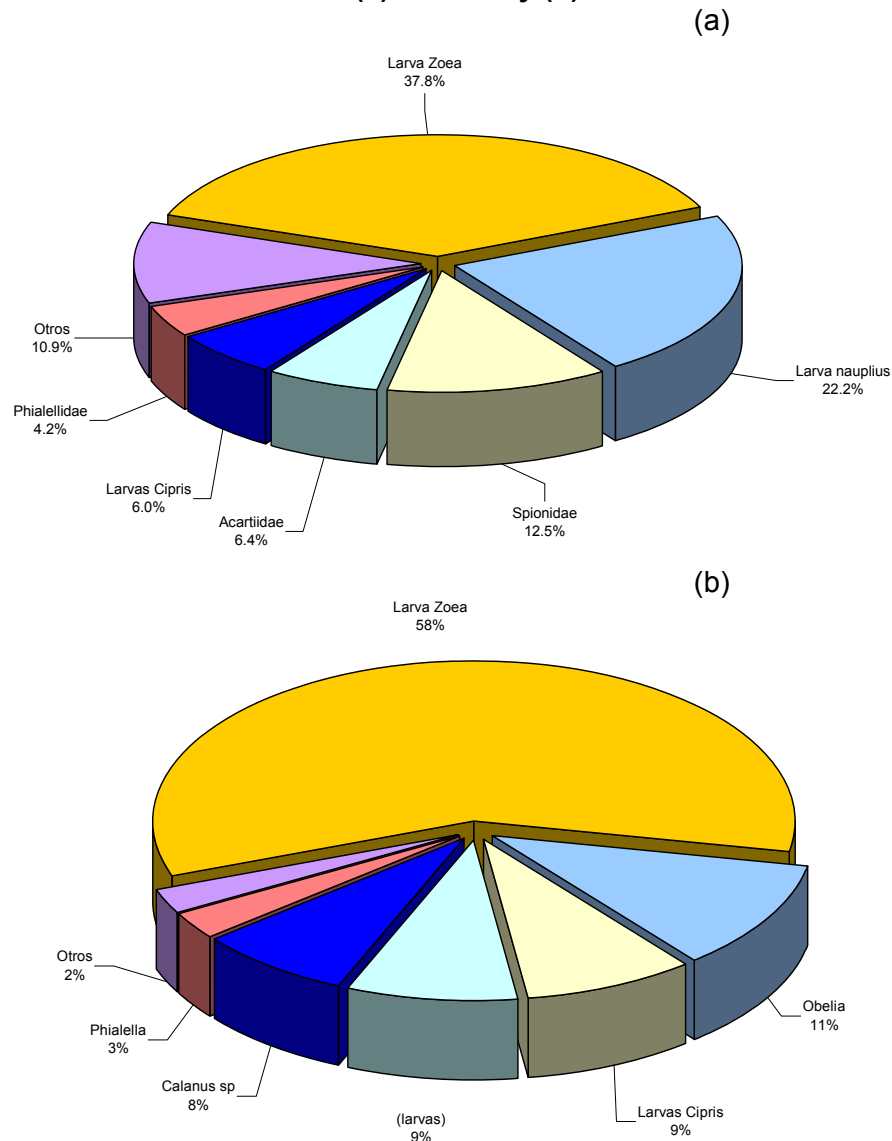
**Tabla 5.9-54**  
**Densidad (ind. m<sup>-3</sup>) de Taxa Zooplanctónicos por Estación de Muestreo. Campaña Enero de 2010.**

Taxa	Especie	TP1	TP2	TP3
Copepoda	<i>Acartia sp</i>	0,71		
Copepoda	<i>Calanus sp</i>	4,67	52,34	24,47
Copepoda	<i>Centropages</i>		0,14	0,28
Decapoda	Larvas mysis	0,14		0,42
Decapoda	Larva Megalopa	0,14	0,28	
Decapoda	Larva nauplius		8,91	
Decapoda	Larva Zoea	54,47	513,82	56,02
Stomatopoda	Familia Indet			0,71
Cirripedia	Larvas Cipris	0,42	91,11	2,55
Gastropoda	Larva		0,42	
Hydrozoa	<i>Phialella</i>		30,98	0,42
Hydrozoa	<i>Obelia</i>	22,64	89,98	5,52
Hydrozoa	<i>Especie Indet.</i>		5,80	
Polychaeta	Larvas	0,14	85,73	5,66
Chaetognatha	<i>Sagitta sp</i>		0,14	
Urochordata	<i>Oikopleura</i>		1,41	0,85
Chordata	Huevos	0,28	4,39	
Chordata	Larvas	0,28		0,14
	Promedio	8,39	63,25	8,82
	Desviación estándar	17,63	134,62	17,18
	Coeficiente de variacion	2,10	2,13	1,95

Durante la campaña invernal, los grupos más abundantes correspondieron a larvas de crustáceos de los tipos (zoea y nauplios), los cuales en conjunto representaron cerca del 60% de la abundancia total de este estudio (**Figura 5.9-100a**). Otros taxa con abundancias destacadas fueron Spionidae (12,5%), *Acartia* sp. (6,4 %), larvas cipris (6,0%) y Phialella (4,2%). Cabe destacar que todos estos taxa estuvieron presentes en la totalidad de las muestras analizadas, significando frecuencias del 100 % de ocurrencia.

El período estival, nuevamente el grupo más abundante correspondió a larvas zoea (58%), mientras que en segundo término se identificó a la especie *Ofelia* (11%) y a las larvas cipris (9%) y larvas de spionidae (**Figura 5.9-100b**).

**Figura 5.9-100**  
**Abundancia Relativa de cada Taxa Zooplanctónico (%) en Bahía Caldera Durante los**  
**Períodos: (a) Invernal y (b) Estival.**

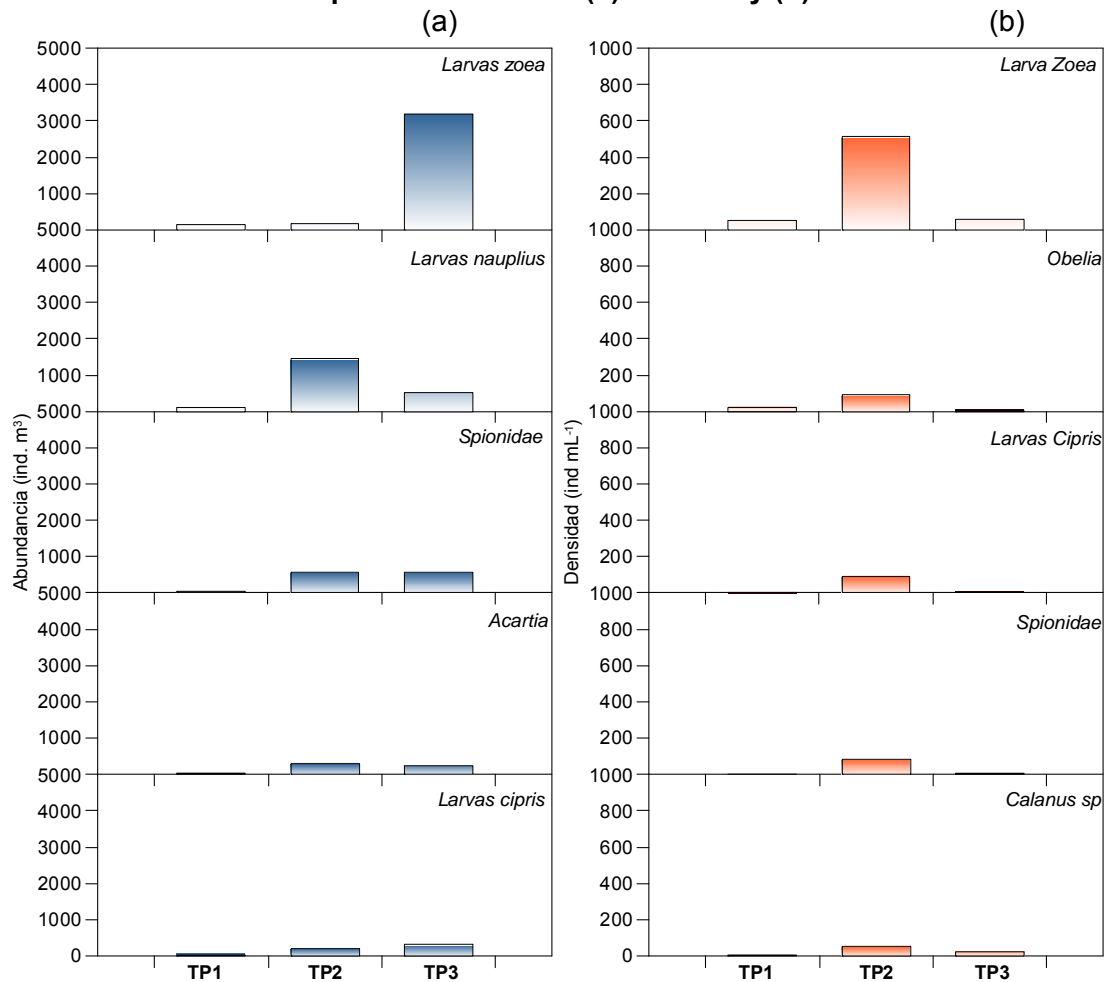


En la **Figura 5.9-101**, se muestra la distribución espacial de los grupos que presentaron niveles de abundancia superiores al 5% para los períodos invernal y estival. Durante la campaña de invierno, se observó que el taxa dominante (larvas zoea) establece su amplio predominio sólo en los niveles de abundancia aportados por una sola estación (TP-03), donde presentó densidades cercanas a 3000 ind. m<sup>-3</sup>, mientras que en las estaciones restantes presentó abundancias <200 ind. m<sup>-3</sup>.

De los taxa restantes, sólo larvas nauplius presentó densidades > 1000 ind. m<sup>-3</sup>, aunque sólo asociado a la estación TP2. Cabe destacar que todos los taxa evaluados presentaron menores niveles de abundancia asociados a la estación TP-01, la cual estuvo ubicada en el sector cercano a Punta Padrones.

Durante el período estival (**Figura 5.9-101b**), el taxón más abundante (larvas zoea) estableció amplios niveles de abundancia centrados en básicamente una estación, la cual estuvo emplazada en las cercanías de Puerto Padrones (TP-02), donde presentó densidades en torno a los 500 ind. m<sup>-3</sup>, mientras que en las estaciones restantes presentó abundancias <55 ind. m<sup>-3</sup>. Los taxa restantes sólo presentaron densidades < 100 ind. m<sup>-3</sup>, también asociados a la estación TP-02.

**Figura 5.9-101**  
**Densidad de las Principales Taxa Encontradas en el Area de Estudio por Estación de Muestreo para los Periodos (a) Invernal y (b) Estival.**



En la **Tabla 5.9-55** se presentan los resultados de los cálculos de los distintos índices univariados para ambos periodos evaluados. Durante el invierno, los niveles de dominancia fueron bajos ( $<0,4$ ) estableciendo que la comunidad zooplanctónica no estuvo dominada por sólo una estación predominante. Esta situación determinó además, que los valores del índice de equidad o equitatividad de Pielou presentaran valores cercanos o mayores a  $0,50$ , quedando de manifiesto una buena relación entre el número de organismos y la riqueza específica. Con respecto al índice de diversidad, durante esta campaña, se observaron altos valores, especialmente asociados a la estación TP-01, relacionada con el sector de Punta Padrones.

Durante la campaña estival, los niveles de dominancia fueron bajos  $<0,5$ , a excepción de la estación de Puerto Padrones que presentó un valor de dominancia de  $0,66$ . De igual manera, los índices de equidad o equitatividad de Pielou fueron cercanos a mayores a  $0,50$  en las estaciones TP-02 y TP-03, estableciendo una buena relación entre el número de organismos y la riqueza específica.



**Tabla 5.9-55**  
**Parámetros Comunitarios: Número Total de Especies (S); Número Individuos (N); Índice de Dominancia (D); Índice de Diversidad de Shannon (H'); e Índice de Equidad de Pielou (J').**

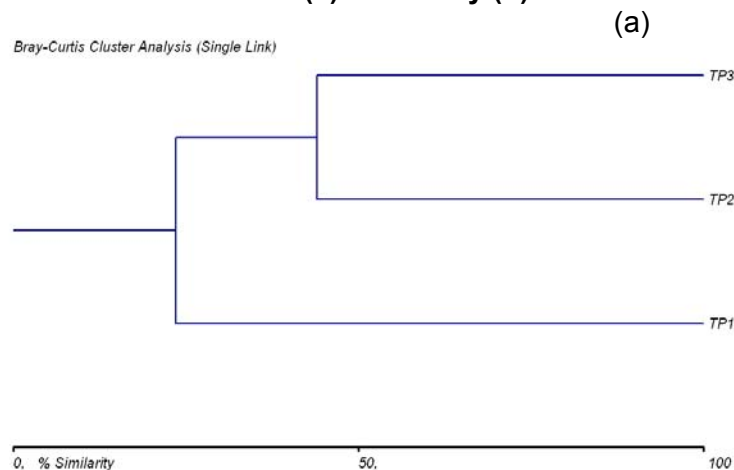
		Riqueza	Nº Individuos	Equidad	Diversidad	Dominancia
Período	Estaciones	S	N	J'	H'	D'
Invernal	TP-01	23	525,4	0,74	3,33	0,26
	TP -02	15	2968,7	0.60	2,35	0,40
	TP -03	18	5776,3	0.59	2,44	0,41
Estival	TP-01	10	84	0,40	0,93	0,66
	TP -02	14	885	0.54	1,42	0,46
	TP -03	11	97	0.52	1,24	0,48

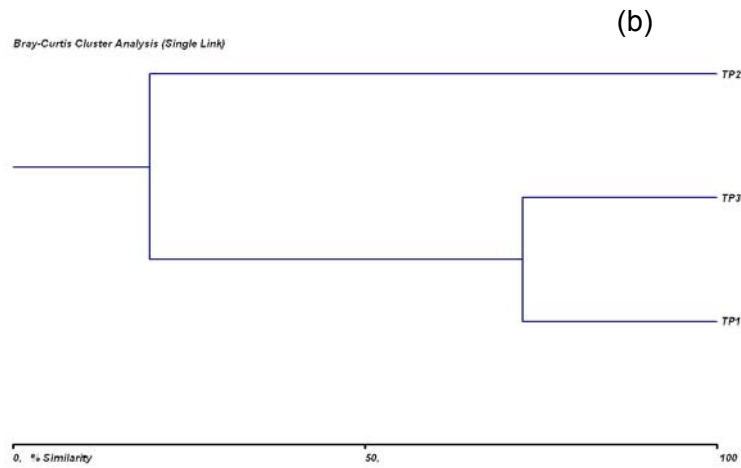
b.1) *Clasificación numérica*

En la **Figura 5.9-102** se presenta el dendrograma resultante de la clasificación numérica para las 3 estaciones analizadas en base a una matriz de similaridad con datos de abundancia de las especies colectadas, en ambos periodos estacionales (invierno y verano). El resultado del análisis, diferenció a la estación TP-01 durante el período invernal, la cual se caracterizó por la alta diversidad y número de especies, implicando además una alta equidad. Durante el invierno se diferenció la estación TP-02, la cual presentó también la mayor riqueza y diversidad del período.

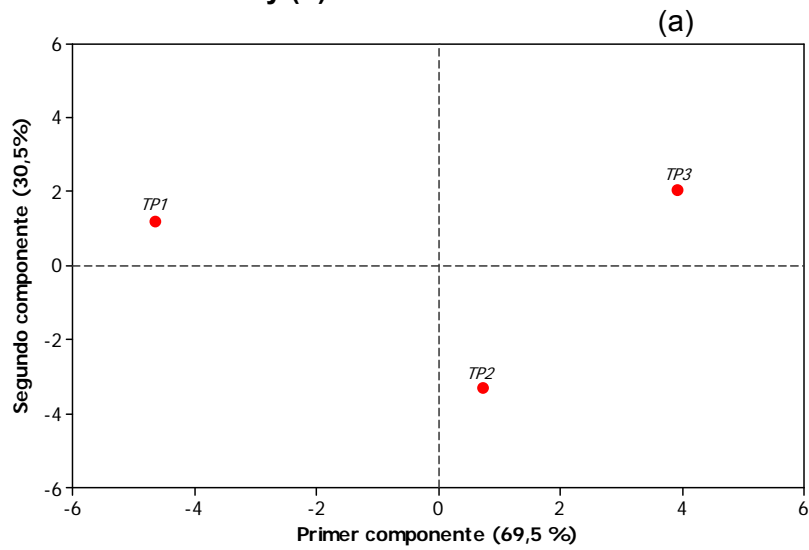
El resultado del análisis de escalación no métrica multidimensional (NMDS) coincide con el dendrograma, ya que del mismo modo que el análisis de clasificación numérica, diferenció en el primer componente a la estación TP-01 con un nivel de similitud del 69,5 % durante la campaña invernal, y TP-02 durante el verano con un 78%. (**Figura 5.9-103**).

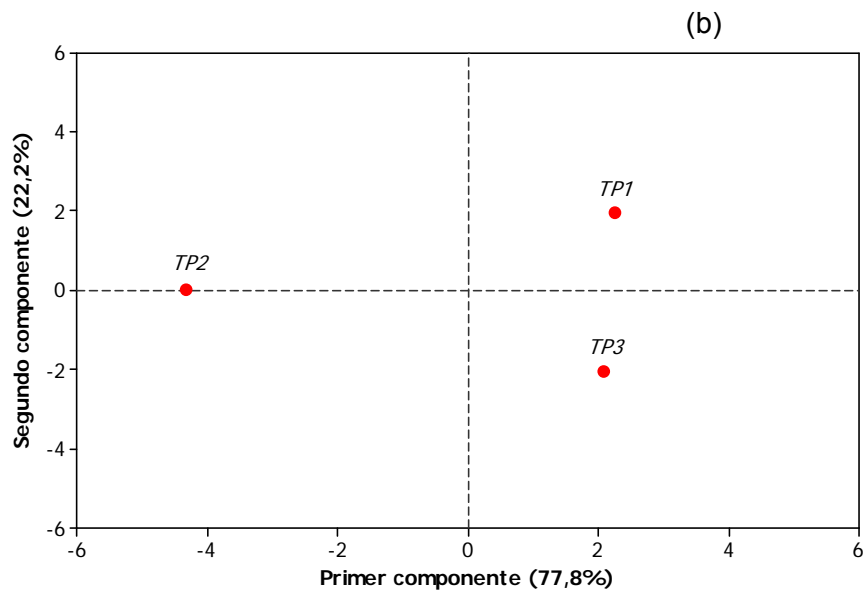
**Figura 5.9-102**  
**Índice de Similitud de Bray- Curtis para las Taxa Encontradas en Cada Estación de Muestreo durante los Períodos: (a) Invernal y (b) Estival en Bahía Caldera.**





**Figura 5.9-103**  
**Análisis de Escalación no Métrica Multidimensional (NMDS) Durante los Períodos: (a) Invernal y (b) Estival en Bahía Caldera.**





### 5.9.3.5 Comunidades bentónicas intermareales

#### a) Riqueza del Área de Estudio

En conjunto, en las dos campañas de muestreo realizadas (invernal y estival) se registró un total de 58 especies, 46 en condiciones invernales y 46 en condiciones estivales (**Tabla 5.9-56**).

A nivel de grupos mayores se observa que entre el periodo invernal y estival, en términos generales, se repiten aquellos con las mayores riquezas, esto es, rodófitas dentro de las algas, y los gastrópodos dentro de los invertebrados (**Tabla 5.9-56**).

Es posible observar también que algunas especies presentan abundancias claramente mayores en ciertos niveles intermareales y que se mantienen entre el periodo invernal y estival (e.g., *J. cirratus*, *G. chilense*), mostrando de igual forma distribuciones que coinciden con patrones clásicos de zonación descritos para estos ambientes.

El nivel intermareal alto presentó una riqueza de 11 especies entre los dos periodos, destacando el patrón de distribución y la alta cobertura, tanto de adultos como reclutas, del cirripedio *J. cirratus*, junto con la alta densidad del herbívoro *E. peruviana* (**Figura 5.9-104 y 5.9-105**). Dentro de las algas, las únicas que alcanzan coberturas importantes en este nivel son la rodófita *Porphyra columbina* y la Clorófitas *Ulva rigida* durante el periodo invernal, aunque esta cobertura disminuye en el periodo estival (**Figura 5.9-105**). Cabe destacar que solo en este nivel, se registró espacio primario libre "roca desnuda" el cual tendió a mantenerse entre los periodos estudiados.

El nivel intermareal medio tuvo una riqueza de 35 especies, dentro de las que destacan las algas *Ulva rigida*, *Gelidium chilense* y *Polysiphonia paniculata*. Dentro de los invertebrados que destacan en este nivel, cabe mencionar *Notochthamalus scabrosus* y el placóforo *Chiton granosus* los cuales son representantes típicos de este nivel de marea. En este nivel también es posible encontrar a *Heliaster heliantus*, uno de los carnívoros Asteroídeos claves dentro de las tramas tróficas intermareales de estos ambientes, registrando densidades de 5 ind m<sup>-2</sup> tanto en invierno como en verano (**Figura 5.9-104**).

Por último, el nivel intermareal bajo estuvo caracterizado por la alta cobertura de algas coralinas incrustantes y la presencia de *L. nigrescens*, ambos representantes conspicuos de este ambiente. Dentro de los invertebrados, destaca la aparición de dos de los herbívoros de mayor tamaño de los ambientes intermareales rocosos del norte de Chile, los placóforos *Enoplochiton niger* (Sanhueza *et al.*, 2008) con una densidad media de 4 ind m<sup>-2</sup>, y *Acanthopleura echinata* (Camus *et al.* en prensa) con una densidad media de 1 ind m<sup>-2</sup> (**Figura 5.9-105**).

**Tabla 5.9-56**

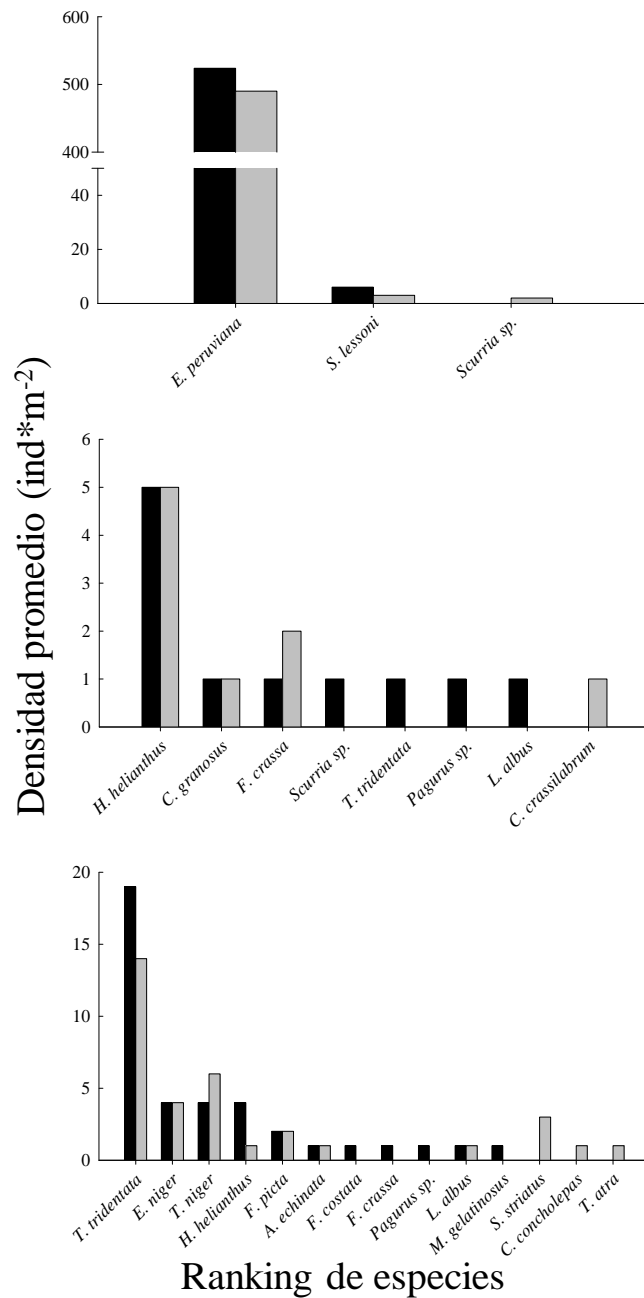
**Total de Especies de la Comunidad Intermareal Rocosa Registradas en los 4 Sectores en el Muestreo Invernal 2009 (Inv) y Estival 2010 (Est) en Bahía Caldera.**

TAXA	NIVEL INTERMAREAL					
	Alto		Medio		Bajo	
Especie	Inv	Est	Inv	Est	Inv	Est
<b>CHOLOPHYTA</b>						
<i>Chaetomorpha</i> sp. Kützing					0,25	
<i>Codium fragile</i> (Suringar) Hariot ssp. <i>tomentosoides</i>			0,75			
<i>Pseudulvella</i> sp. Wille	0,75	2,25	2,25	2,25	1,75	4,75
<i>Ulva rigida</i> C. Agardh	7	1,5	19,25	19,25		
<b>PHAEOPHYTA</b>						
<i>Adenocystis utricularis</i> (Bory) Skottsberg				0,75		
<i>Colpomenia sinuosa</i> (Roth) Derbés & Solier			0,5	0,75		
<i>Endarachne binghamiae</i> J. Agardh			3	0,5		
<i>Glossophora kunthii</i> (C. Agardh) J. Agardh					5	1,5
<i>Lessonia nigrescens</i> Bory					3,25	11
<i>Ralfsia</i> sp. Berkeley			2,75		1,25	
<i>Scytosiphon lomentaria</i> (Lyngbye) J. Agardh			0,5			
<b>RHODOPHYTA</b>						
<i>Amphiroa dimorpha</i> Lemoine					1	
<i>Amphiroa peruana</i> Areschoug					0,25	2
<i>Centroceras clavulatum</i> (C. Agardh) Montagne			0,25			
<i>Ceramium</i> sp. Roth			2	0,75		12,5
<i>Chondracanthus chamissoi</i> (C. Agardh) Kützing			0,25	1,5		
<i>Chondria californica</i> (Collins) Kylin			3,25	2,25		
<i>Corallina officinalis</i> (Decaisne) Kützing			1,25	0,25	0,5	
Corallinaceae incrustantes			1,25	1,25	81,25	60
<i>Chondrus canaliculatus</i> (C. Agardh) Greville						
<i>Gastroclonium cylindricum</i> Santelices, Abbott & Ramírez			2,25			
<i>Gelidium chilense</i> (Montagne) Santelices & Montalva			25,25	34,75		

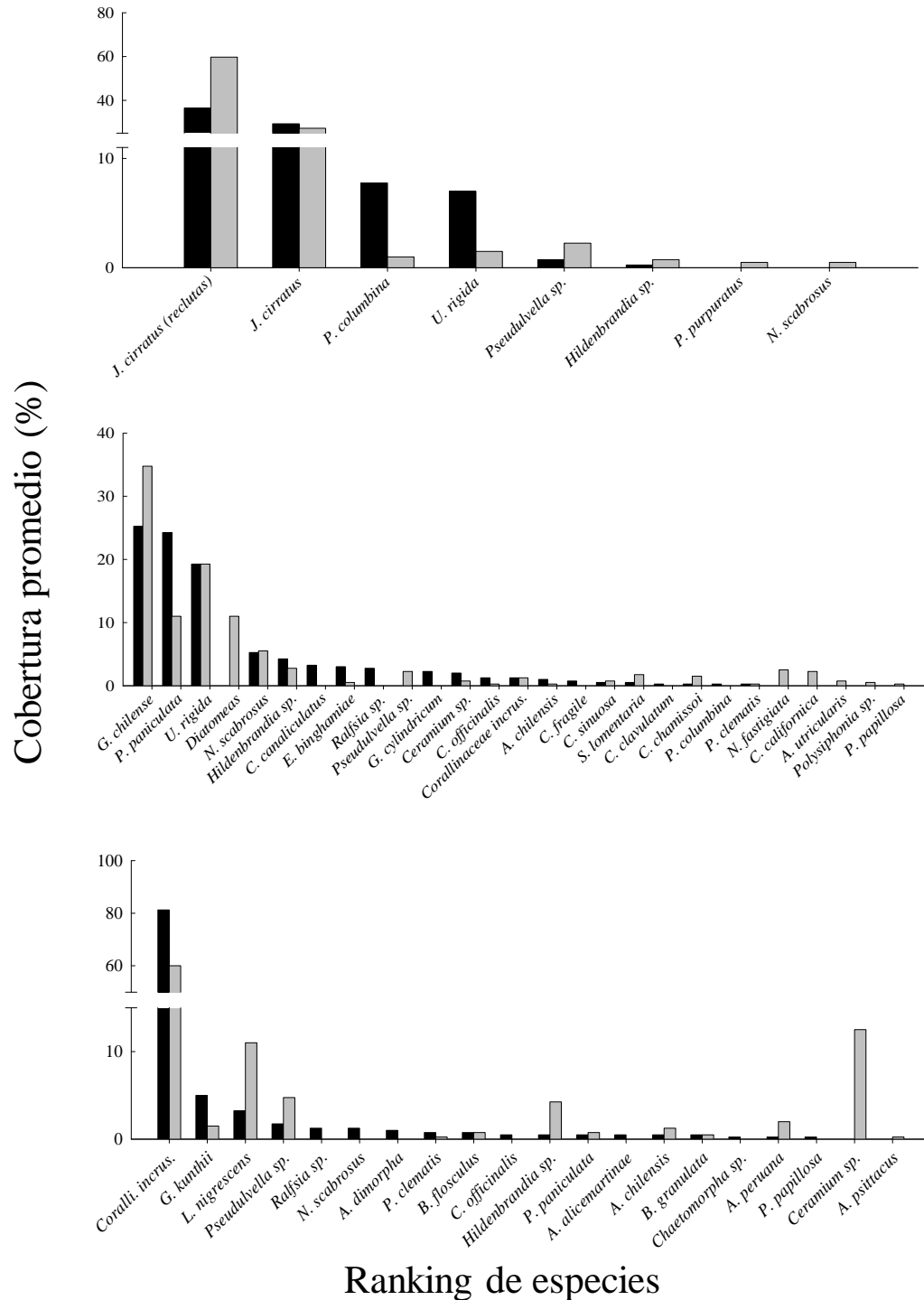
TAXA	NIVEL INTERMAREAL					
	Alto		Medio		Bajo	
Especie	Inv	Est	Inv	Est	Inv	Est
<i>Hildenbrandia</i> sp. Nardo	0,25	0,75	4,25	2,75	0,5	4,25
<i>Nothogenia fastigiata</i> (Bory) Parkinson				2,5		
<i>Polysiphonia paniculata</i> Montagne			24,25	11	0,5	0,75
<i>Polysiphonia</i> sp.				0,5		
<i>Porphyra columbina</i> Montagne	7,75	1	0,25			
<b>BACILLARIOPHYCEA</b>						
Diatomeas				11		
<b>CNIDARIA</b>						
<i>Anemonia alicemartinae</i> Häussermann & Föersterra,					0,5	
<i>Anthothoe chilensis</i> (Lesson, 1830)			1	0,25	0,5	1,25
<i>Phymactis clematis</i> (Drayton in Dana, 1846)			0,25	0,25	0,75	0,25
<i>Phymactis papillosa</i> (Lesson, 1830)				0,25	0,25	
<b>MOLLUSCA</b>						
<b>POLYPLACOPHORA</b>						
<i>Acanthopleura echinata</i> (Barnes, 1824)					(1)	(1)
<i>Chiton granosus</i> (Frembly, 1827)			(1)	(1)		
<i>Enoplochiton niger</i> (Barnes, 1824)					(4)	(4)
<b>GASTROPODA</b>						
<i>Concholepas concholepas</i> (Bruguère, 1789)						(1)
<i>Crassilabrum crassilabrum</i> Sowerby 1834				(1)		
<i>Echinolittorina peruviana</i> (Lamarck, 1822)	(524)	(490)				
<i>Fissurella costata</i> Lesson, 1831					(1)	
<i>Fissurella crassa</i> (Lamarck, 1822)			(1)	(2)	(1)	
<i>Fissurella picta</i> (Gmelin, 1791)					(2)	(2)
<i>Scurria</i> sp. Gray, 1847		(2)	(1)			
<i>Siphonaria lessoni</i> (Blainville, 1824)		(3)				
<i>Tegula atra</i> (Lesson 1830)						(1)
<i>Tegula tridentata</i> (Potiez & Michaud, 1838)			(1)		(19)	(3,5)
<b>BIVALVIA</b>						
<i>Brachidontes granulata</i> (Hanley, 1843)				1,75	0,5	0,5
<i>Perumytilus purpuratus</i> (Lamarck, 1819)		0,5				
<b>ARTROPODA-CRUSTACEA</b>						
<b>CIRIPEDIA</b>						
<i>Austromegabalanus psittacus</i> (Molina, 1782)						0,25
<i>Balanus flosculus</i> Darwin					0,75	0,75
<i>Jehlius cirratus</i> (Darwin)	29,2	27,25				
<i>J. cirratus</i> (reclutas)	36,5	59,75				
<i>Notochthamalus scabrosus</i> (Darwin)	0	0,5	5,25	5,5	1,25	
<b>DECAPODA</b>						
<i>Pagurus</i> sp Fabricius, 1775			(1)		(1)	
<b>ECHINODERMATA</b>						
<b>ECHINOIDEA</b>						
<i>Loxechinus albus</i> (Molina, 1782)			(1)		(1)	(1)
<i>Tetrapyqus niger</i> (Molina, 1782)					(4)	(6)
<b>ASTEROIDEA</b>						

TAXA	NIVEL INTERMAREAL					
	Alto		Medio		Bajo	
<i>Especie</i>	Inv	Est	Inv	Est	Inv	Est
<i>Heliaster helianthus</i> (Lamarck, 1816)			(5)	(5)	(4)	(1)
<i>Meyenaster gelatinosus</i> (Meyen, 1834)					(1)	
<i>Stichaster striatus</i> Müller & Troschel, 1840						(3)
ROCA DESNUDA	18,5	6				

**Figura 5.9-104**  
**Ranking de Especies Sésiles en Función de su Cobertura Promedio (%) en cada Nivel Intermareal Rocoso (Alto, Medio y Bajo) en el Periodo Invernal (barras negras) y Estival (barras grises).**



**Figura 5.9-105**  
**Ranking de Especies Móviles en Función de su Densidad Promedio (ind m<sup>-2</sup>) en cada Nivel Intermareal Rocoso (Alto, Medio y Bajo) en el Periodo Invernal (barras negras) y Estival (barras grises).**





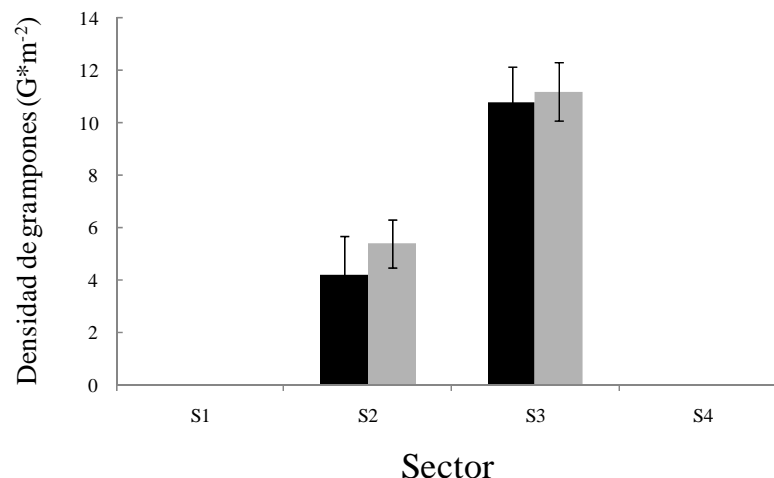
b) Caracterización de cada sector muestreado

a.1) Sector A

En la **Tabla 5.9-57** se detalla la abundancia de cada una de de las especies registradas, para cada nivel intermareal entre los periodos de estudio, donde se observa que la composición de especies y sus respectivas abundancias no variaron de manera significativa entre los periodos de invierno y verano. El cirripedio *J. cirratus*, tanto reclutas como adultos, mantuvo altas coberturas en la zona intermareal alta, al igual que *G. chilense*, como algas coralinas incrustantes mantuvieron sus abundancias entre periodos en el intermareal medio y bajo, respectivamente (**Tabla 5.9-57**). En este sector destaca la ausencia del alga *L. nigrescens* en la zona intermareal baja (**Figura 5.9-106**). Esta ausencia principalmente es debida a las características particulares de este sector, ubicado en una zona protegida dentro de Bahía Caldera, condición que no favorece la presencia de *L. nigrescens* la que habita principalmente zonas con un nivel de exposición alto al oleaje.

Este sector fue el que alcanzó comparativamente la mayor diversidad de organismos móviles entre sectores, con  $H' = 1,4$ , al igual que el mayor valor de uniformidad, y el menor de dominancia (**Tabla 5.9-58**).

**Figura 5.9-106**  
**Densidad de Grampones ( $G\ m^{-2}$ ) de *Lessonia nigrescens* Bory en cada Sector Muestreado en Bahía Caldera en el Periodo Invernal (barras negras) y Estival (barras grises).**



**Tabla 5.9-57**  
**Especies de la Comunidad Intermareal Rocosa Registradas en el Sector 1 Durante**  
**Muestreo Invernal 2009 y Estival 2010 en Bahía Caldera.**

TAXA	NIVEL INTERMAREAL					
	Alto		Medio		Bajo	
<i>Especie</i>	Inv	Est	Inv	Est	Inv	Est
<b>CHOLOPHYTA</b>						
<i>Pseudovella</i> sp. Wille		5	7	9		3
<i>Ulva rigida</i> C. Agardh	3	1		1		
<b>PHAEOPHYTA</b>						
<i>Adenocystis utricularis</i> (Bory) Skottsberg				1		0
<i>Colpomenia sinuosa</i> (Roth) Derbés & Solier				1		
<i>Glossophora kunthii</i> (C. Agardh) J. Agardh					18	6
<i>Ralfsia</i> sp. Berkeley					5	
<b>RHODOPHYTA</b>						
<i>Ceramium</i> sp. Roth			3			
Corallinaceae incrustantes			3		74	90
<i>Gelidium chilense</i> (Montagne) Santelices &			73	80		
<i>Hildenbrandia</i> sp. Nardo	1	1	7	1		
<b>CNIDARIA</b>						
<i>Anemonia alicemartinae</i> Häussermann &					2	
<i>Phymactis clematis</i> (Drayton in Dana, 1846)					1	
<b>MOLLUSCA</b>						
<b>GASTROPODA</b>						
<i>Echinolittorina peruviana</i> (Lamarck, 1822)	(6)	(15)				
<i>Scurria</i> sp. Gray, 1847		(1)				
<i>Siphonaria lessoni</i> (Blainville, 1824)	(2)	(1)				
<i>Tegula tridentata</i> (Potiez & Michaud, 1838)			(1)		(16)	(7)
<b>ARTROPODA-CRUSTACEA</b>						
<b>CIRIPEDIA</b>						
<i>J. cirratus</i> (reclutas)	83	81				
<i>Jehlius cirratus</i> (Darwin)	13	3				
<i>Notochthamalus scabrosus</i> (Darwin)		2	7	7		
<b>DECAPODA</b>						
<i>Pagurus</i> sp Fabricius, 1775			(1)			
<b>ECHINODERMATA</b>						
<b>ECHINOIDEA</b>						
<i>Loxechinus albus</i> (Molina, 1782)			(1)			
<i>Tetrapyqus niger</i> (Molina, 1782)					(1)	(1)
<b>ASTEROIDEA</b>						
<i>Heliaster helianthus</i> (Lamarck, 1816)			(1)	(1)	(1)	(1)
<b>ROCA DESNUDA</b>		7	1		1	

**Tabla 5.9-58**  
**Atributos Comunitarios para Cada Sector Muestreado. Especies Móviles y Sésiles.**  
**Periodo invernal (Inv) y Estival (Est).**

Período	Sector	Especies Móviles					Especies Sésiles				
		S	N	H'	J'	D	S	C %	H'	J'	D
Invierno	S-1	7	30	1,4	0,7	0,4	12	300	1,7	0,7	0,2
	S-2	9	83	0,8	0,4	0,7	25	264	2,4	0,8	0,1
	S-3	6	308	0,2	0,1	1	11	300	1,7	0,7	0,2
	S-4	8	159	0,3	0,2	0,9	14	262	1,6	0,6	0,3
Verano	S-1	6	27	1,2	0,7	0,4	9	200	1,2	0,6	0,4
	S-2	11	193	0,5	0,2	0,8	19	203	2	0,7	0,2
	S-3	9	138	0,5	0,2	0,8	11	204	1,6	0,7	0,3
	S-4	3	180	0,1	0,1	0,9	9	191	1,4	0,6	0,3

Nota: Riqueza específica (S) medida como número de especies o taxa presentes en el pool de cuadrantes muestreados por sector; abundancia numérica (N) para las especies móviles medida como número de individuos total por sector; abundancia en cobertura (C %) para las especies sésiles medida como la suma porcentaje de cobertura de las especies por sector. Índices de diversidad univariada H' Diversidad de Shannon-Wiener, uniformidad J' de Pielou y dominancia D Simpson.

#### a.2) Sector B

Este sector fue el que registró la mayor riqueza de especies con un total de 43. En la **Tabla 5.9-59** se detalla la abundancia de cada una de estas especies para cada nivel intermareal. A diferencia del Sector 1, aquí es posible observar la presencia del alga *L. nigrescens* en el nivel intermareal bajo, alcanzando una alta densidad de grampones tanto en invierno como en verano (**Figura 5.9-106**), lo que nos indica que este es un sector de mayor exposición al oleaje respecto del Sector 1, lo que a su vez está influenciado por su mayor cercanía al límite sur de Bahía Caldera. Al igual que en el Sector 1, el alga *G. chilense* fue la que tuvo mayor cobertura en el nivel medio de este sector en ambos periodos, destacando también *Chondrus canaliculatus*, y el alga crustosa *Hildenbrandia* sp. en invierno, y *Nothogenia fastigiata* en verano (**Tabla 5.9-59**). El gastrópodo pulmonado *E. peruviana* tuvo una alta densidad en la zona intermareal alta, en donde también el cirripedio *J. cirratus* y el alga *U. rigida* destacaron por sus altas coberturas. En este nivel alto también se registró gran cantidad de espacio primario disponible en el periodo invernal, el cual se redujo solo al 3% durante el periodo estival (**Tabla 5.9-59**).

Este sector presentó la mayor riqueza de especies, lo que se vió reflejado en los mayores valores del índice de diversidad univariada de Shannon-Wiener para las especies sésiles en ambos periodos; situación que no se observó para las especies móviles con bajos valores del índice. La uniformidad de especies sésiles registrada en este sector fue la mayor en comparación a los otros sectores, lo que también se relacionó con la menor dominancia registrada para este tipo de especies (**Tabla 5.9-58**).

**Tabla 5.9-59**  
**Especies de la Comunidad Intermareal Rocosa Registradas en el Sector 2 Durante**  
**Muestreo Invernal 2009 y Estival 2010 en Bahía Caldera.**

TAXA	NIVEL INTERMAEAL					
	Alto		Medio		Bajo	
	Inv	Est	Inv	Est	Inv	Est
<b>Espece</b>						
<b>CHLOPHYTA</b>						
<i>Chaetomorpha</i> sp. Kützing					1	
<i>Codium fragile</i> (Suringar) Hariot ssp.			1			
<i>Pseudovella</i> sp. Wille	3	4				
<i>Ulva rigida</i> C. Agardh	10	5	5	3		
<b>PHAEOPHYTA</b>						
<i>Adenocystis utricularis</i> (Bory) Skottsberg				1		
<i>Colpomenia sinuosa</i> (Roth) Derbés & Solier			1	1		
<i>Endarachne binghamiae</i> J. Agardh			2	1		
<i>Glossophora kunthii</i> (C. Agardh) J. Agardh					1	
<i>Lessonia nigrescens</i> Bory					8	39
<i>Ralfsia</i> sp. Berkeley			9			
<b>RHODOPHYTA</b>						
<i>Amphiroa peruana</i> Areschoug					1	1
<i>Centroceras clavulatum</i> (C. Agardh) Montagne			1			
<i>Ceramium</i> sp. Roth			5	3		50
<i>Chondria californica</i> (Collins) Kylin				9		
<i>Chondrus canaliculatus</i> (C. Agardh) Greville			13			
<i>Corallina officinalis</i> (Decaisne) Kützing			4	1	2	
Corallinaceae incrustantes			2	1	76	
<i>Gastroclonium cylindricum</i> Santelices, Abbott &			9			
<i>Gelidium chilense</i> (Montagne) Santelices &			26	59		
<i>Hildenbrandia</i> sp. Nardo		1	10	2	2	2
<i>Nothogenia fastigiata</i> (Bory) Parkinson				10		
<i>Porphyra columbina</i> Montagne	3					
<b>CNIDARIA</b>						
<i>Anthothoe chilensis</i> (Lesson, 1830)			4	1	2	2
<i>Phymactis clematis</i> (Drayton in Dana, 1846)			1	1	1	1
<i>Phymactis papillosa</i> (Lesson, 1830)				1	1	
<b>MOLLUSCA</b>						
<b>POLYPLACOPHORA</b>						
<i>Chiton granosus</i> (Frembly, 1827)			(1)			
<b>GASTROPODA</b>						
<i>Crassilabrum crassilabrum</i> Sowerby 1834				(1)		
<i>Concholepas concholepas</i> (Bruguère, 1789)						(1)
<i>Echinolittorina peruviana</i> (Lamarck, 1822)	(68)	(175)				
<i>Fissurella crassa</i> (Lamarck, 1822)					(1)	
<i>Fissurella picta</i> (Gmelin, 1791)					(2)	(2)
<i>Scurria</i> sp. Gray, 1847		(1)				
<i>Siphonaria lessoni</i> (Blainville, 1824)	(1)	(2)				
<i>Tegula tridentata</i> (Potiez & Michaud, 1838)					(3)	(7)

TAXA	NIVEL INTERMAEAL					
	Alto		Medio		Bajo	
Especie	Inv	Est	Inv	Est	Inv	Est
BIVALVIA						
<i>Brachidontes granulata</i> (Hanley, 1843)					2	2

<b>ARTROPODA-CRUSTACEA</b>						
CIRIPEDIA						
<i>Balanus flosculus</i> Darwin						3
<i>Jehlius cirratus</i> (Darwin)	48	81				
<i>J. cirratus</i> (reclutas)		4				
<i>Notochthamalus scabrosus</i> (Darwin)			7	6	3	
<b>ECHINODERMATA</b>						
ECHINOIDEA						
<i>Tetrapyrgus niger</i> (Molina, 1782)					(1)	(1)
ASTEROIDEA						
<i>Heliaster helianthus</i> (Lamarck, 1816)			(4)	(1)	(1)	
<i>Meyenaster gelatinosus</i> (Meyen, 1834)					(1)	
<i>Stichaster striatus</i> Müller & Troschel, 1840						(1)
ROCA DESNUDA	36	3				

### a.3) Sector C

Este sector registró un total de 31 especies entre los periodos de estudio (**Tabla 5.9-60**) y se destacó por presentar la mayor densidad de *L. nigrescens* en el nivel intermareal bajo (**Figura 5.9-106**), lo que claramente está relacionado con su alto grado de exposición al oleaje. En el intermareal medio no se registró gran diversidad de especies, donde dominaron grandes parches del alga Rhodophyta *Polysiphonia paniculata* (97%) en el periodo invernal. Esta dominancia disminuyó significativamente en el verano, donde se pudo observar que gran parte de este parche se había desprendido, encontrándose en su lugar una alta cobertura de diatomeas (**Tabla 5.9-60**). En el intermareal alto se observó una alta cobertura de reclutas del cirripedio *J. cirratus* en ambos periodos. Por su parte las algas *Porphyra columbina* y *U. rígida* disminuyeron sus coberturas de invierno a verano. De igual forma se registró una alta densidad del herbívoro pulmonado *E. peruviana* asociada al nivel alto de este sector (**Tabla 5.9-60**).

La diversidad de especies móviles fue la menor registrada para los 4 sectores la que estuvo acompañada por una baja uniformidad ( $J^2 = 0,09$ ) y una alta dominancia ( $D = 0,95$ ), valores que mejoraron en el periodo estival. En cuanto a las especies sésiles el índice de diversidad de Shannon-Wiener fue cercano  $H^2 = 1,6$  en ambos periodos.

**Tabla 5.9-48**  
**Especies de la Comunidad Intermareal Rocosa del Sector 3 Durante Muestreo Invernal 2009 y Estival 2010 en Bahía Caldera.**

TAXA	NIVEL INTERMAEAL					
	Alto		Medio		Bajo	
Especie	Inv	Est	Inv	Est	Inv	Est
<b>CHOLOPHYTA</b>						
<i>Codium fragile</i> (Suringar) Hariot ssp. <i>tomentosoides</i> (Van			2			
<i>Pseudovella</i> sp. Wille						1
<i>Ulva rigida</i> C. Agardh	15		1	2		
<b>PHAEOPHYTA</b>						
<i>Glossophora kunthii</i> (C. Agardh) J. Agardh					1	
<i>Lessonia nigrescens</i> Bory					5	5
<b>RHODOPHYTA</b>						
<i>Amphiroa dimorpha</i> Lemoine					4	
<i>Amphiroa peruana</i> Areschoug						7
Corallinaceae incrustantes				1	83	80
<i>Hildenbrandia</i> sp. Nardo		1		2		
<i>Polysiphonia paniculata</i> Montagne			97	44	2	3
<i>Porphyra columbina</i> Montagne	28	4				
<b>BACILLARIOPHYCEA</b>						
Diatomeas				44		
<b>CNIDARIA</b>						
<i>Anthothoe chilensis</i> (Lesson, 1830)						3
<b>MOLLUSCA</b>						
<b>POLYPLACOPHORA</b>						
<i>Acanthopleura echinata</i> (Barnes, 1824)					(1)	(1)
<i>Chiton granosus</i> (Frembly, 1827)				(1)		
<i>Enoplochiton niger</i> (Barnes, 1824)					(4)	(4)
<b>GASTROPODA</b>						
<i>Echinolittorina peruviana</i> (Lamarck, 1822)	(300)	(125)				
<i>Fissurella costata</i> Lesson, 1831					(1)	
<i>Fissurella crassa</i> (Lamarck, 1822)				(1)		
<i>Siphonaria lessoni</i> (Blainville, 1824)	(1)					
<i>Tegula atra</i> (Lesson 1830)						(1)
<b>BIVALVIA</b>						
<i>Brachidontes granulata</i> (Hanley, 1843)				7		
<i>Perumytilus purpuratus</i> (Lamarck, 1819)		1				
<b>ARTROPODA-CRUSTACEA</b>						
<b>CIRIPEDIA</b>						
<i>Austromegabalanus psittacus</i> (Molina, 1782)						1
<i>Balanus flosculus</i> Darwin					3	
<i>J. cirratus</i> (reclutas)	51	90				
<i>Jehlius cirratus</i> (Darwin)	6	3				
<i>Notochthamalus scabrosus</i> (Darwin)					2	
<b>ECHINODERMATA</b>						
<b>ECHINOIDEA</b>						

TAXA	NIVEL INTERMAEAL					
	Alto		Medio		Bajo	
Especie	Inv	Est	Inv	Est	Inv	Est
<i>Loxechinus albus</i> (Molina, 1782)						(1)
ASTEROIDEA						
<i>Heliaster helianthus</i> (Lamarck, 1816)				(2)	(1)	
<i>Stichaster striatus</i> Müller & Troschel, 1840						(2)
ROCA DESNUDA		1			1	

a.4) Sector D

En este sector se registro un total de 28 especies en los 2 periodos (**Tabla 5.9-61**). En este sector; al igual que en el Sector 1, no se registró la presencia de *L. nigrescens* en el nivel intermareal bajo, estando este nivel principalmente dominado por la presencia de algas coralinas incrustantes (**Tabla 5.9-61**). El nivel medio estuvo dominado por la cobertura del alga Chlorophyta *U. rigida* en ambos periodos, y la Phaeophyta *Endarachne binghamiae* durante el periodo invernal. Por su parte en nivel alto estuvo dominado por reclutas del cirripedio *J. cirratus* y un alto número de individuos de *E. peruviana*. A diferencia de los otros sectores muestreados, en este destaca la ausencia de algas en el nivel intermareal alto tanto en invierno como en verano, y donde también es posible observar un 38% de roca desnuda en invierno, el cual disminuyó en verano principalmente por el uso de este espacio por parte de reclutas del cirripedio *J. cirratus* (**Tabla 5.9-61**).

La diversidad de especies móviles de este sector fue baja, con baja uniformidad y una alta dominancia tanto para invierno como para verano. En cambio la diversidad, uniformidad y dominancia de especies sésiles en este sector fue similar a los valores registrados en los sectores 1 y 3 para ambos periodos de estudio (**Tabla 5.9-58**).

**Tabla 5.9-61**  
**Especies de la Comunidad Intermareal Rocosa Registradas en el Sector 4 Durante**  
**Muestreo Invernal 2009 y Estival 2010 en Bahía Caldera.**

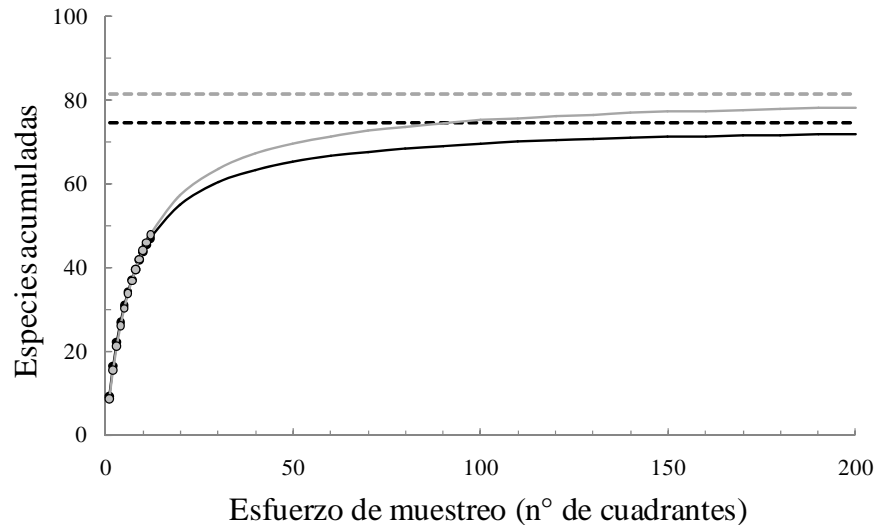
TAXA	NIVEL INTERMAEAL					
	Alto		Medio		Bajo	
Especie	Inv	Est	Inv	Est	Inv	Est
<b>CHOLOPHYTA</b>						
<i>Pseudulvella</i> sp. Wille			2		7	15
<i>Ulva rigida</i> C. Agardh			71	71		
<b>PHAEOPHYTA</b>						
<i>Adenocystis utricularis</i> (Bory) Skottsberg				1		
<i>Colpomenia sinuosa</i> (Roth) Derbés & Solier			1	1		
<i>Endarachne binghamiae</i> J. Agardh			10	1		
<i>Ralfsia</i> sp. Berkeley			2			
<i>Scytosiphon lomentaria</i> (Lyngbye) J. Agardh			2			
<b>RHODOPHYTA</b>						
<i>Chondracanthus chamissoi</i> (C. Agardh) Kützing			1	6		
<i>Corallina officinalis</i> (Decaisne) Kützing			1			
Corallinaceae incrustantes				3	92	70
<i>Gelidium chilense</i> (Montagne) Santelices &			2			
<i>Hildenbrandia</i> sp. Nardo				6		15
<i>Polysiphonia</i> sp.				2		
<i>Porphyra columbina</i> Montagne			1			
<b>CNIDARIA</b>						
<i>Phymactis clematis</i> (Drayton in Dana, 1846)					1	
<b>MOLLUSCA</b>						
<b>GASTROPODA</b>						
<i>Echinolittorina peruviana</i> (Lamarck, 1822)	(150)	(175)				
<i>Fissurella crassa</i> (Lamarck, 1822)			(1)			
<i>Scurria</i> sp. Gray, 1847			(1)			
<b>BIVALVIA</b>						
<i>Perumytilus purpuratus</i> (Lamarck, 1819)		(1)				
<i>Siphonaria lessoni</i> (Blainville, 1824)	(2)					
<b>ARTROPODA-CRUSTACEA</b>						
<b>CIRIPEDIA</b>						
<i>J. cirratus</i> (reclutas)	12	64				
<i>Jehlius cirratus</i> (Darwin)	50	22				
<i>Notochthamalus scabrosus</i> (Darwin)			7	9		
<b>DECAPODA</b>						
<i>Pagurus</i> sp Fabricius, 1775					(1)	
<b>ECHINODERMATA</b>						
<b>ECHINOIDEA</b>						
<i>Loxechinus albus</i> (Molina, 1782)					(1)	
<i>Tetrapygyus niger</i> (Molina, 1782)					(2)	(4)
<b>ASTEROIDEA</b>						
<i>Heliaster helianthus</i> (Lamarck, 1816)				(1)	(1)	
<b>ROCA DESNUDA</b>	38	13				



**b) Función de acumulación de especies**

Utilizando curvas de acumulación de especies se pudo observar que el número total teórico de especies para la comunidad intermareal alcanzó a 74,51 para el periodo invernal y de 81,57 para el estival (**Figura 5.9-95**), ajustándose ambas funciones de buena forma a la ecuación de Clench con un  $R^2 = 0,9999$  y  $R^2 = 0,9998$  respectivamente. El hecho que el ajuste ( $R^2$ ) sea cercano 1, apoya la estimación de los valores teóricos máximos para esta comunidad, máximos que se alcanzarían con un esfuerzo superior a los 200 cuadrantes a muestrear.

**Figura 5.9-107**  
**Curva de Acumulación de Especies de la Totalidad de Cuadrantes Muestreados en el Periodo Invernal (color negro) y Estival (color gris) para la Comunidad Intermareal de Bahía Caldera.**



Nota: Los círculos llenos representan las medias calculadas a partir de los datos obtenidos, mientras que la prolongación de la curva representa la función ajustada mediante la ecuación de Clench y la progresión teórica al aumentar el esfuerzo de muestreo. La línea punteada representa el valor máximo teórico de especies para la comunidad.

**c) Análisis de Escalamiento Multidimensional (MDS)**

El análisis no evidenció diferencias en composición de especies entre el periodo invernal y estival, ya sea al comparar todas las especies (presencia-ausencia ANOSIM  $R$  global = -0,05;  $P = 0,81$ ), las especies sésiles ( $R$  global = -0,066;  $P = 0,905$ ) y las especies móviles ( $R$  global = -0,105;  $P = 0,999$ ) (ver **Figura 5.9- 108a, 109a y 110a**, respectivamente).

Igual situación se observó en función del factor Sector, en donde ninguno de estos se diferenciaron composicionalmente entre sí (todas las especies ANOSIM R global = -0,046; P = 0,705 (**Figura 5.9-108b**), sésiles ANOSIM R global = -0,048; P = 0,743 (**Figura 5.9-109b**), móviles ANOSIM R global = -0,04; P = 0,696 (**Figura 5.9-98b**). Las comparaciones pareadas entre sectores no se detallan ya que ninguna de estas resultó significativa.

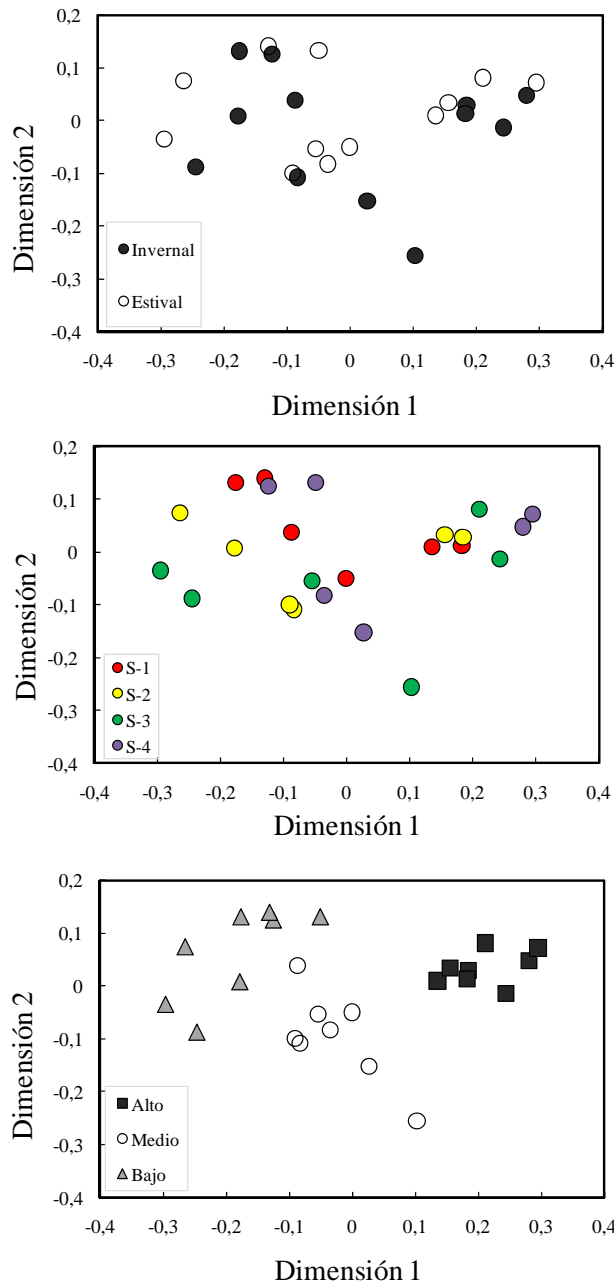
La ordenación MDS sí evidenció agrupaciones en función del factor nivel intermareal. Para el total de especies la prueba de ANOSIM (R global = 0,828; P = 0,001) mostró una clara separación en la composición de la zona intermareal alta con respecto de la media (R = 0,876; P = 0,001) y de la baja (R = 0,976; P = 0,001). Igual diferenciación también se observó entre las zonas media y baja (R = 0,542; P = 0,001) (**Figura 5.9-108c**).

Igual situación se presentó en relación a la comparación taxonómica de las especies móviles (ANOSIM R global = 0,703; P = 0,001), donde el nivel alto se separó claramente del medio (R = 0,831; P = 0,001) y del bajo (R = 0,893; P = 0,001). De igual forma los niveles medio y bajo también fueron composicionalmente diferentes entre sí en función de los organismos móviles (R = 0,372; P = 0,001) (**Figura 5.9-109c**).

La comparación de los organismos sésiles por su parte mostró claramente una separación entre los 3 niveles analizados (ANOSIM R global = 0,808; P = 0,001), en donde el nivel alto se separó del nivel medio (R = 0,782; P = 0,001) y bajo (R = 0,951; P = 0,001), como así también se separaron los niveles medio y bajo (R = 0,542; P = 0,001) (**Figura 5.9-110c**). Este resultado indica una estructuración de aquellos organismos que son ocupantes obligados del espacio en el ambiente intermareal (organismos sésiles) mientras que los organismos móviles podrían habitar y moverse de forma más heterogénea en la zona intermareal, principalmente entre los niveles medio y bajo de los 4 sectores muestreados.

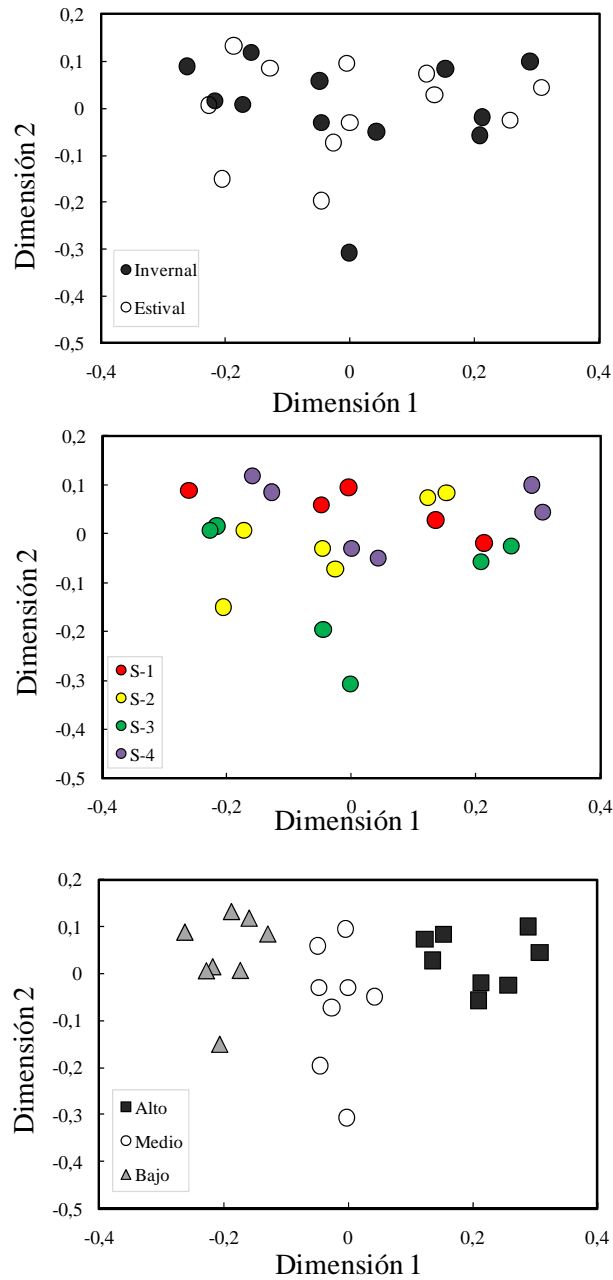
Figura 5.9-108

Análisis de Ordenación (MDS Stress = 0,13) de la Composición Taxonómica: a) entre el Periodo Invernal y Estival; b), entre los 4 Sectores Muestreados (Sector 1 = S-1, Sector 2 = S-2, Sector 3 = S-3 y Sector 4 = S-4) y c) entre los Cuadrantes Muestreados en cada Nivel Intermareal (Alto, Medio y Bajo). Ordenación de la Composición Taxonómica Total en Base a una Matriz de Similitud de Jaccard con Datos de Presencia-Ausencia.



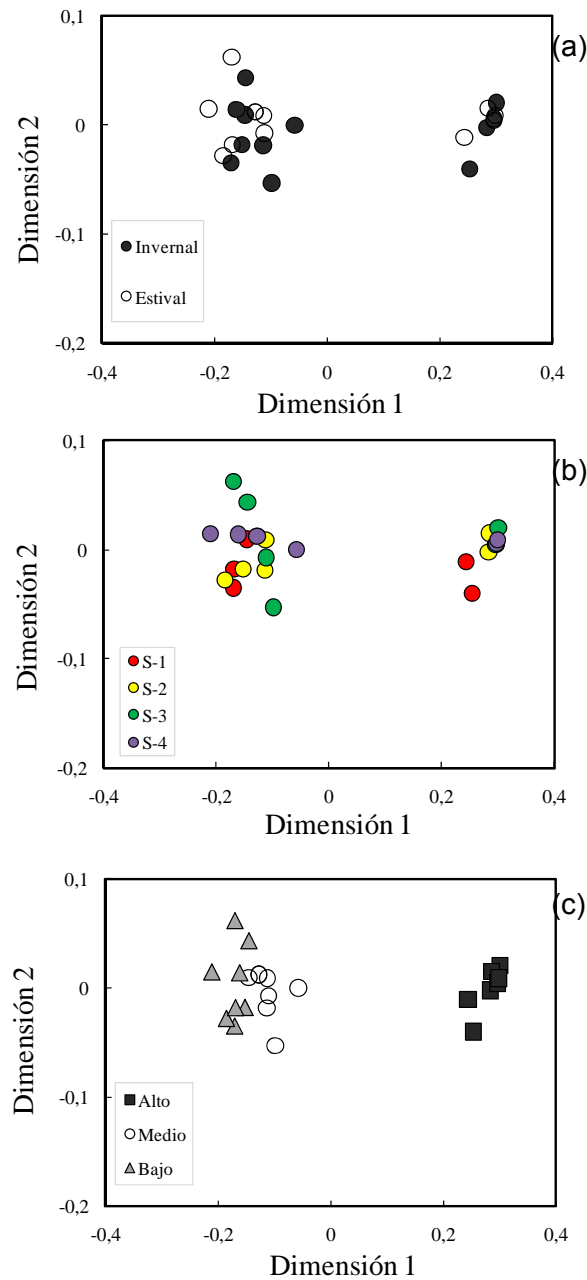
**Figura 5.9-109**

**Análisis de Ordenación (MDS Stress = 0,12) de la Composición Taxonómica de Organismos Sésiles entre a) el periodo Invernal y Estival, b) entre los 4 Sectores Muestreados (Sector 1 = S-1, Sector 2 = S-2, Sector 3 = S-3 y Sector 4 = S-4), y c) Entre los Cuadrantes Muestreados en Cada Nivel Intermareal (Alto, Medio y Bajo). Ordenación de la Composición Taxonómica de los Organismos Sésiles en Base a una Matriz de Similitud de Bray-Curtis con Datos de Porcentaje de Cobertura.**



**Figura 5.9-110**

**Análisis de Ordenación (MDS Stress = 0,04) de la Composición Taxonómica de Organismos Móviles a) entre el Periodo Invernal y Estival, b) entre los 4 Sectores Muestreados (Sector 1 = S-1, Sector 2 = S-2, Sector 3 = S-3 y Sector 4 = S-4), y c) entre los Cuadrantes Muestreados en Cada Nivel Intermareal (Alto, Medio y Bajo). Ordenación de la Composición Taxonómica de Organismos Móviles en Base a una Matriz de Similitud de Bray-Curtis con Datos de Densidad de Individuos.**



**d) Parche de *Perumytilus purpuratus* (Lamarck, 1819)**

La composición taxonómica del cuadrante muestreado en el único sector en donde se registró un parche significativo de *P. purpuratus* se detalla en la **Tabla 5.9-62**. Tal muestreo se realizó en el borde del parche, y en un sector que evidenció lo mejor posible la biodiversidad visible en el parche, pero también la presencia de sustrato primario disponible. La cobertura principal fue de *P. purpuratus* con un 36% en el invierno, la cual aumentó al 39% en el verano. También se registraron algunas algas pero con muy baja cobertura individual, no superior al 2% (**Tabla 5.9-62**) en ambos periodos. Solo se registró la presencia de 2 organismos móviles tanto en invierno como en verano, donde *E. peuviana* alcanzó una alta densidad de 1.100 ind m<sup>-2</sup> en invierno y 1.900 ind m<sup>-2</sup> en verano, mientras que *S. lessoni* con 12 ind m<sup>-2</sup> en invierno y 4 ind m<sup>-2</sup> en verano. El sustrato primario disponible disminuyó un 4%, causado por la aparición del alga *Cladophora fascicularis* y un leve aumento del parche de *Perumytilus purpuratus*.

**Tabla 5.9-62**  
**Composición Taxonómica y Abundancia de las Especies Registradas en el Cuadrante Muestreado en el Parche de *Perumytilus purpuratus* (Lamarck, 1822) Encontrado cerca del Sector 4.**

TAXA	ABUNDANCIA	
	Invernal	Estival
<i>Especie</i>		
<b>CHOLOPHYTA</b>		
<i>Chaetomorpha</i> sp. Kützing	1%	
<i>Cladophora fascicularis</i> (Mertens) Kützing		2%
<i>Ulva rigida</i> C. Agardh	1%	2%
<b>PHAEOPHYTA</b>		
<i>Colpomenia sinuosa</i> (Roth) Derbés & Solier	1%	
<b>RHODOPHYTA</b>		
<i>Centroceras clavulatum</i> (C. Agardh) Montagne	2%	
<i>Ceramium</i> sp. Roth	1%	2%
<i>Chondracanthus chamissoi</i> (C. Agardh) Kützing		1%
<b>MOLLUSCA</b>		
<b>GASTROPODA</b>		
<i>Echinolittorina peruviana</i> (Lamarck, 1822)	1.100 ind m <sup>-2</sup>	1.900 ind m <sup>-2</sup>
<i>Siphonaria lessoni</i> (Blainville, 1824)	12 ind m <sup>-2</sup>	4 ind m <sup>-2</sup>
<b>BIVALVIA</b>		
<i>Perumytilus purpuratus</i> (Lamarck, 1819)	34%	39%
<b>ROCA DESNUDA</b>	60%	54%

Nota: Para las especies sésiles se indica su porcentaje de cobertura (%), mientras que para las especies móviles se indica su densidad (ind m<sup>-2</sup>) tanto para el periodo invernal y estival muestreados.

### 5.9.3.6 Comunidades bentónicas submareales

#### a) Fauna

La **Tabla 5.9-63** y las **Figuras 5.9-111** y **5.9-112** presentan los parámetros de abundancia total, biomasa total y número de especies, agrupados en los principales grupos taxonómicos encontrados en la comunidad macrobentónica del submareal adyacente a las instalaciones del Muelle Punta Padrones en Bahía Caldera.

En el periodo invernal, la comunidad de macroinfauna estuvo compuesta por un total de 79 especies que pertenecieron a cuatro grupos taxonómicos mayores; Polychaeta, Crustacea, Mollusca y otros. De este número de especies, el 44,3% perteneció al grupo Polychaeta, el grupo Crustacea y Mollusca aportaron con un 26,6% y 20,3%, respectivamente. Por otra parte, en verano se registró un total de 107 especies que pertenecieron a los grupos taxonómicos señalados anteriormente. El grupo más abundante fue Crustacea con un 51,9% del total de especies, seguido de Polychaeta (48,1), los restantes contribuyeron en conjunto el 35%, siendo más abundante Mollusca.

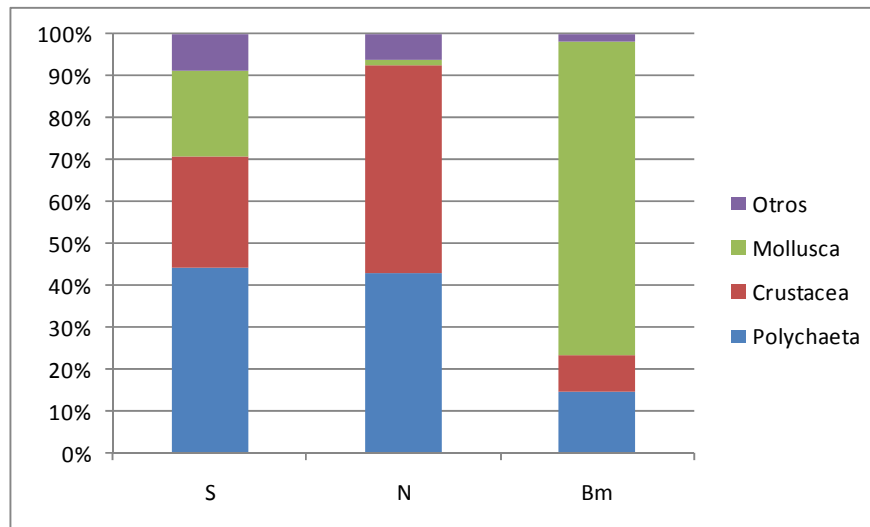
Las **Tablas 5.9-65** y **5.9-66** presentan la abundancia promedio para los periodos invernal y estival, respectivamente. La abundancia numérica total, al considerar la totalidad de muestras colectadas en el área (n=18), alcanzó a 16139 individuos durante el invierno. El 49,9% de toda la abundancia correspondió a ejemplares del grupo Crustacea (**Figura 5.9-99**), seguido muy de cerca por el grupo Polychaeta (42,7%). Los grupos restantes sumaron entre todos los 7,4% restantes, siendo el ítem más importante la denominación Otros (6,2%). Para el periodo estival, se determinaron 22034 individuos. El 53,0% de toda la abundancia correspondió a ejemplares del grupo Crustacea (**Figura 5.9-100**), seguido muy de cerca por el grupo Polychaeta (43,2%). Los grupos restantes sumaron un 3,7%, siendo el más importante Otros (2,9%).

Las **Tablas 5.9-67** y **5.9-68** presentan la biomasa promedio para los periodos invernal y estival, respectivamente. Durante la campaña invernal, la biomasa considerando la totalidad de muestras, fue de 11,53 g (131,28 g peso húmedo). El grupo dominante fue Mollusca con un 75,2%, los grupos restantes presentaron valores inferiores al 15% (**Tabla 5.9-67**). Para el periodo estival, esta variable registró un valor de 19,47 g (198,63 g peso húmedo). El grupo dominante fue Mollusca con un 55,3%, seguido de Mollusca con un 30,8%; los grupos restantes presentaron valores inferiores al 12% (**Tabla 5.9-68**).

**Tabla 5.9-63**  
**Distribución Porcentual para los Principales Grupos Taxonómicos Mayores Presentes en el Área de Estudio en los Parámetros de Número de Especies (S), Abundancia (N) y Biomasa (Bm). Periodo Invernal.**

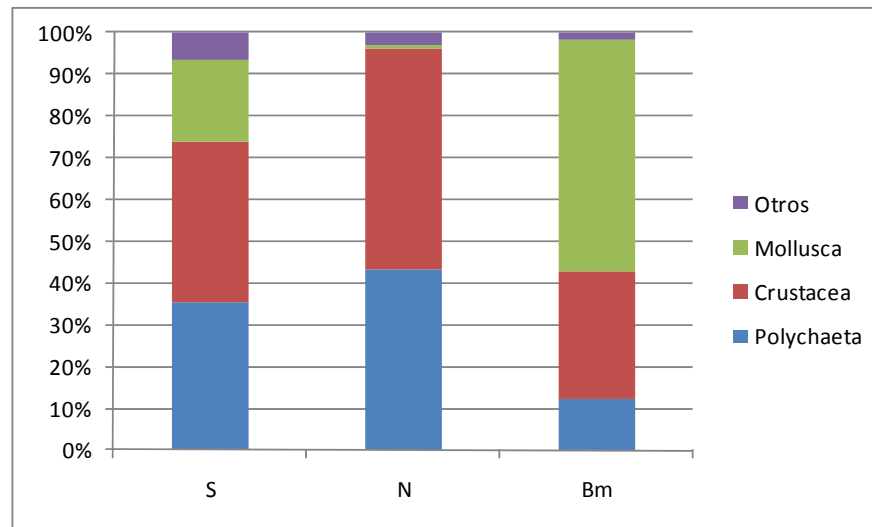
Período	TAXA	S	%	N	%	Bm	%
Invierno	Polychaeta	35	44.3	6895	42.7	1.6961	14.7
	Crustacea	21	26.6	8052	49.9	0.9762	8.5
	Mollusca	16	20.3	195	1.2	8.6698	75.2
	Otros	7	8.9	997	6.2	0.1932	1.7
	TOTAL	79	100.0	16139	100.0	11.5352	100.0
Verano	Polychaeta	38	48,1	9523	43,2	2,3406	12,0
	Crustacea	41	51,9	11678	53,0	6,0052	30,8
	Mollusca	21	26,6	186	0,8	10,7647	55,3
	Otros	7	8,9	647	2,9	0,3639	1,9
	TOTAL	107	135,4	22034	100,0	19,4743	100,0

**Figura 5.9-111**  
**Composición Porcentual de la Abundancia Numérica (N°), Biomasa (Bm) y Riqueza Específica (S) de la Macroinfauna Bentónica en el Área de Estudio (I). Periodo invernal 2009.**





**Figura 5.9-112**  
**Composición Porcentual de la Abundancia Numérica (N°), Biomasa (Bm) y Riqueza Específica (S) de la Macroinfauna Bentónica en el Area de Estudio. Periodo Estival 2010.**



La **Tabla 5.9-63** presenta el listado de las especies más importantes de la comunidad en densidad y en biomasa, y cuyos valores significaron sobre el 5% del total en cualquiera de estos dos parámetros. Del total de especies o formas discriminadas durante la campaña invernal, 8 alcanzaron este límite, dos del grupo Mollusca, tres del grupo Polychaeta y tres del grupo Crustacea; en conjunto concentraron el 63,89% de la abundancia y el 71,81% de la biomasa totales del área. En verano la situación fue similar, registrándose el mismo número de especies o formas discriminadas que alcanzaron este límite, tres del grupo Mollusca, dos del grupo Polychaeta y tres del grupo Crustacea; en conjunto concentraron el 49,00% de la abundancia y el 70,42% de la biomasa totales del área.

En relación al parámetro de la abundancia, al considerar el área completa, la comunidad estuvo en ambos periodos estacionales dominada por el taxa *Ostracoda*, el cual significó el 24,99% del total de esta variable en el periodo invernal y un 28,65% en el periodo estival (**Tabla 5.9-64**).

En el caso de la biomasa, en invierno el predominio estuvo dado por el grupo Mollusca, específicamente por *Tegula atra* con un 35,73% del total. Por otra parte en verano, también dominó el grupo Mollusca, dominando esta vez por la especie *Oliva peruviana* la cual aportó con un 18,05% del total.

**Tabla 5.9-64**  
**Especies o Formas Discriminadas más Importantes (sobre el 5%) en Abundancia y Biomasa y su Contribución al Porcentaje Total. N: Densidad Promedio; Bm: Biomasa Promedio.**

Especie	Campaña invernal				Campaña estival			
	N	%	Bm	%	N	%	Bm	%
Mollusca								
<i>Oliva peruviana</i>	15	0.09	3.44883	29.90	20	0,09	3,51536	18,05
<i>Tegula Atra.</i>	10	0.06	4.12142	35.73	6	0,03	2,83495	14,56
<i>Trophon sp.</i>					7	0,03	2,29572	11,79
Polychaeta								
<i>Syllis sp.</i>	1366	8.46	0.01566	0.14	1333	5,91	0,01328	0,07
<i>Capitella capitata</i>	1130	7.00	0.30808	2.67	2018	8,95	0,41102	2,11
<i>Polydora socialis</i>	1548	9.59	0.08006	0.69				
Crustacea								
Gammaridae	839	5.20	0.06881	0.60				
<i>Pagurus sp.</i>					199	0,88	2,21041	11,35
<i>Pinnixa bahamindei</i>					1005	4,46	2,16121	11,10
Phoxocephalidae	1372	8.50	0.09979	0.87				
Ostracoda	4033	24.99	0.14003	1.21	6461	28,65	0,27032	1,39
Total	10313	63.89	1.075	71.81	11049	49,00	13,7122	70,42

**Tabla 5.9-65**  
**Abundancia Promedio (ind/0,1 m<sup>2</sup>) de los Ttaxa Presentes en las Estaciones de Muestreo. Campaña Invernal 2009.**

	D-01	D-02	D-03	D-04	D-05	D-06
Onuphidae	83.7	16.3	3.7	3.7	0.0	14.3
<i>Paramphinome australis</i>	74.0	31.7	2.3	0.3	0.0	0.0
Syllis	228.0	61.7	107.0	58.7	0.0	0.0
Exogone	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Cirratulus cirratus</i>	17.0	59.7	4.0	2.3	2.3	5.0
<i>Capitella capitata</i>	193.3	100.0	69.0	6.0	5.0	3.3
Hesionidae	20.3	12.0	13.0	3.3	0.0	0.0
<i>Typosillis sp</i>	96.3	32.7	13.3	3.7	0.0	0.3
<i>Glycera americana</i>	12.0	23.7	3.7	3.7	0.0	0.0
<i>Goniada sp</i>	14.0	0.0	2.7	2.7	4.7	0.0
<i>Ophelia sp</i>	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Anaitides sp</i>	4.3	3.0	0.0	0.7	0.3	0.0
<i>Sigambra bassi</i>	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
<i>Oenone sp</i>	0.7	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
Terebellidae	0.3	1.0	2.0	2.3	0.0	0.0
<i>Eulalia sp</i>	0.7	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Maldanidae	2.7	0.0	1.3	0.7	0.0	0.0
Harmothoe	5.7	20.7	3.7	0.0	0.0	0.0
<i>Eteone sp</i>	1.0	4.3	1.7	0.3	13.3	0.0
Chaetopteridae	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Haploscoloplos sp</i>	0.3	0.0	0.3	4.3	11.7	0.3

	D-01	D-02	D-03	D-04	D-05	D-06
<i>Diopatra chilensis</i>	0.0	1.7	0.0	0.0	0.3	0.3
<i>Lumbrineris tetraura</i>	0.0	2.0	0.7	3.7	0.0	3.0
<i>Sthenelais sp</i>	0.0	4.3	2.7	0.0	0.0	0.0
Pisionidae	0.0	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0
Orbinidae	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Nephtys ferruginia</i>	1.3	0.0	3.0	3.7	12.0	10.0
<i>Prionospio peruana</i>	0.0	0.0	35.0	0.0	3.7	1.0
<i>Paraprionospio pinnata</i>	0.0	0.0	0.0	4.3	1.3	1.7
Sabellidae	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0
Ampharetidae	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.7
<i>Cossura chilensis</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0
<i>Cirrophorus sp</i>	0.0	0.0	0.0	81.0	2.0	30.3
Magelonidae	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.7
<i>Polydora socialis</i>	389.7	80.0	27.0	17.0	2.3	0.0
Tanaidacea	17.0	4.3	0.7	0.0	0.0	0.0
Gammarus	16.7	36.7	8.0	0.0	0.0	0.0
<i>Nebalia sp</i>	52.0	3.0	10.0	0.0	0.0	0.0
Isopoda (Flabellifera)	47.0	2.3	79.7	33.0	0.0	0.0
Gammaridae	32.0	3.0	1.7	19.3	223.7	0.0
Isopoda	55.7	2.7	6.3	2.0	0.0	0.0
Ampelisca	1.0	0.0	7.0	0.0	0.0	28.3
Phoxocephalidae	21.0	1.3	122.7	252.3	60.0	0.0
Orchomenella	9.7	8.7	3.7	3.7	0.0	0.0
<i>Pagurus sp</i>	4.3	48.3	2.7	3.7	0.0	0.0
Caprellidae	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Pinnixa sp</i>	8.0	3.0	3.0	0.3	0.0	0.0
<i>Petrolisthes sp</i>	12.7	9.7	4.7	0.0	0.0	0.0
<i>Inachoides sp</i>	0.0	1.0	0.7	0.0	0.0	0.0
<i>Pilumnoides pulatus</i>	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Halicarcinus sp</i>	0.0	1.0	1.3	0.3	0.0	0.0
Mysidacea	0.0	0.0	1.3	1.3	0.0	0.0
Stomatopoda	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0
<i>Lophozozymus sp</i>	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cumacea	0.3	0.0	8.0	25.0	16.7	1.7
Ostracoda	469.7	59.3	586.7	198.7	1.0	29.0
<i>Oliva peruviana</i>	0.3	2.7	1.0	0.3	0.7	0.0
<i>Mulinia edulis</i>	0.3	0.0	0.0	0.0	4.7	0.0
<i>Tegula atra</i>	3.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0
<i>Nassarius gayi</i>	0.7	0.0	2.0	0.0	11.0	0.0
<i>Trophon sp</i>	0.3	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0
<i>Onoba sp</i>	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Glycimeris sp</i>	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Nucula sp</i>	1.7	0.0	0.0	0.0	6.7	0.0
<i>Macoma sp</i>	0.3	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0
<i>Mysella sp</i>	0.7	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0
<i>Tindaria sp</i>	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Carditella sp</i>	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

	D-01	D-02	D-03	D-04	D-05	D-06
<i>Natica sp</i>	0.0	0.3	0.0	0.0	0.3	0.0
<i>Ischnochiton sp</i>	6.7	0.7	3.3	0.0	0.0	0.0
<i>Tagelus dombeii</i>	0.0	0.0	0.3	1.0	4.3	0.0
<i>Cyclocardia compressa</i>	5.0	0.0	1.7	1.0	0.0	0.0
Actinia	17.7	2.3	37.0	6.7	0.0	0.0
Sipunculido	13.7	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0
Holoturia	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ophiuro	95.7	2.3	57.3	11.0	0.0	1.7
Nemertea	13.3	0.0	7.7	1.7	1.0	0.0
Amphioxus	0.3	3.0	6.3	3.3	0.0	0.0
Oligochaeto	2.0	0.0	15.7	19.7	11.0	0.0

**Tabla 5.9-66**  
**Abundancia Promedio (ind/0,1 m<sup>2</sup>) de los Taxa Presentes en las Estaciones de Muestreo. Campaña Estival 2010.**

	D-01	D-02	D-03	D-04	D-05	D-06
<i>Capitela capita</i>	269.67	254.33	117.00	6.33	25.33	0.00
<i>Polydora socialis</i>	101.00	1.00	4.00	46.67	27.33	0.00
<i>Onuphis sp.</i>	65.67	0.67	12.33	0.00	0.00	0.00
<i>Paramphinome australis</i>	43.67	100.33	7.33	0.00	0.00	0.00
<i>Glycera americana</i>	20.00	30.00	10.00	0.00	0.00	0.00
<i>Goniada uncinigera</i>	0.00	0.67	0.00	8.33	5.00	0.00
<i>Ophelia sp.</i>	16.67	0.00	4.67	0.00	0.00	0.00
Terebellidae	6.33	0.00	10.67	0.00	0.00	0.00
<i>Cirratulus cirratus</i>	11.33	52.67	4.33	0.00	0.00	1.00
Maldanidae	2.33	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00
<i>Harmothoe sp.</i>	2.67	11.67	0.33	0.00	0.00	0.00
Sigalionidae	0.33	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Capitela sp.</i>	2.33	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00
<i>Exogene sp.</i>	145.33	81.33	82.00	0.00	0.00	0.00
<i>Syllis sp.</i>	66.00	203.33	175.00	0.00	0.00	0.00
<i>Typosyllis sp.</i>	36.33	188.67	38.00	0.00	0.00	0.00
Hesionidae	3.67	42.67	8.00	0.00	0.00	0.00
Pidionidae	0.67	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00
<i>Eulalia sp.</i>	3.00	2.33	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Anaitides sp.</i>	0.00	8.67	1.00	0.00	0.00	0.00
<i>Eumida sp.</i>	0.00	2.33	0.00	0.00	0.00	0.00
Phyllodocidae	3.00	5.67	0.33	0.00	0.00	0.00
<i>Nephtys ferruginea</i>	0.67	0.00	0.67	4.67	4.00	0.00
<i>Magelona</i>	0.33	0.67	0.00	0.00	0.00	88.67
Orbinidae	2.67	0.33	0.00	5.00	20.33	0.00
<i>Prionospio peruana</i>	0.33	0.00	0.00	193.00	7.00	0.00
<i>Cirrophorus sp.</i>	1.33	0.00	0.00	138.00	3.67	0.00
<i>Oenone sp</i>	1.33	0.00	0.67	0.00	0.00	0.00
<i>Lumbriconereis tetraura</i>	0.33	2.00	0.00	7.67	4.33	0.00
<i>Sthenelais sp.</i>	1.33	0.00	0.67	0.00	0.00	0.00

	<b>D-01</b>	<b>D-02</b>	<b>D-03</b>	<b>D-04</b>	<b>D-05</b>	<b>D-06</b>
Ampharetidae	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Polynoidae	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00
<i>Eteone sp.</i>	0.00	0.00	0.00	1.33	1.00	0.00
Spionidae	0.00	0.00	0.00	2.33	0.67	9.00
Sabellidae	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27.00
<i>Cossura chilensis</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	85.67
Cirratulidae	0.00	0.00	0.00	0.00	14.00	91.67
<i>Paraprionospio pinnata</i>	0.33	0.00	0.00	51.00	7.00	0.00
<i>Pinnixa bahamondei</i>	229.33	27.00	75.33	0.33	3.00	0.00
<i>Nebalia sp.</i>	53.00	0.33	13.00	0.00	0.00	0.00
Megalopa	6.00	16.67	5.67	11.00	1.00	0.00
Orchomenella	7.67	4.00	16.00	0.33	0.00	0.00
Phoxocephalidae	37.00	0.00	14.33	64.00	196.33	0.00
<i>Gammarus sp.</i>	16.33	32.00	6.33	0.00	0.00	0.00
Corallanidae	14.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sphaeromatidae	19.33	0.00	48.67	0.00	0.00	0.00
Asellota	12.33	0.33	73.67	0.00	0.00	0.00
Tanaidacea	19.33	0.33	7.00	0.00	0.00	0.00
Gammaridae	0.67	3.00	30.33	0.00	0.00	0.00
<i>Pagurus sp.</i>	5.67	32.67	28.00	0.00	0.00	0.00
<i>Callianassa sp.</i>	3.00	0.67	7.67	1.00	0.00	0.00
<i>Platyxanthus sp.</i>	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ostracoda	768.33	121.33	1218.33	41.33	2.67	1.67
Caprellidae	1.67	0.00	0.67	0.00	0.00	0.00
<i>Pinnixa sp.</i>	0.33	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
<i>Cancer setosus</i>	0.33	3.67	1.33	0.00	0.00	0.00
<i>Latreutes antiborealis</i>	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Pasiphea dofleini</i>	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Acanthephyra sp.</i>	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
<i>Taliepus sp.</i>	0.33	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
Geryonidae	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Cycloxanthops bocki</i>	1.00	21.67	0.33	0.00	0.00	0.00
<i>Pilumnoides perlatus</i>	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Cancer sp.</i>	0.00	0.33	1.33	0.00	0.00	0.00
Joeropsididae	0.00	18.33	0.00	0.00	0.00	0.00
Gnathiidae	0.00	3.67	0.00	0.00	0.00	0.00
Pardaliscidae	0.00	1.67	0.00	0.00	0.00	0.00
Ampellicidae	0.00	0.33	2.00	12.67	5.67	0.00
Lysianassidae	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Halicarcinus planatus</i>	0.00	0.33	0.33	0.00	0.00	0.00
Sebidae	0.00	0.00	9.33	0.33	0.33	0.00
Cirolanidae	0.00	0.00	6.00	0.00	0.00	0.00
<i>Inachoides sp.</i>	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00
Stomatopoda	0.00	0.00	1.00	7.33	2.33	0.00
Cumacea	0.00	0.00	0.00	15.00	26.33	0.00
Platyischnapidae	0.00	0.00	0.00	224.33	211.33	0.00

	D-01	D-02	D-03	D-04	D-05	D-06
Hippidae	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00
<i>Blepharipoda sp.</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
<i>Eurypodius sp.</i>	1.33	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00
<i>Nucula sp.</i>	0.33	0.00	3.33	0.00	10.00	0.00
<i>Tegula atra</i>	1.67	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Cyclocardia compressa</i>	5.00	0.00	4.33	0.00	0.00	0.00
<i>Semele solida</i>	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Macoma sp.</i>	3.00	0.67	1.67	0.00	0.00	0.00
<i>Chiton sp.</i>	3.33	2.00	0.67	0.00	0.00	0.00
<i>Brachidontes granulatus</i>	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Oliva peruviana</i>	0.67	2.00	2.33	0.33	1.33	0.00
<i>Mitrella sp.</i>	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Nassarius gayi</i>	0.33	0.33	0.33	0.00	0.33	0.00
<i>Argobuccinum sp.</i>	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Trigonostoma</i>	0.33	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00
<i>Mactra sp.</i>	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Kellia sp.</i>	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Natica sp.</i>	0.00	0.00	0.67	0.00	0.67	0.00
<i>Cyamium sp.</i>	0.00	0.00	0.67	0.00	0.00	0.00
<i>Lioconcha sp.</i>	0.00	0.00	3.33	0.00	0.00	0.00
Bivalvos juveniles	0.00	0.00	3.33	0.00	0.00	0.00
<i>Tindaria sp.</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.33
<i>Acharax sp.</i>	0.00	0.00	0.00	1.00	0.67	0.00
<i>Trophon sp.</i>	1.67	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00
Ophiuroidea	64.67	16.00	31.00	0.33	0.00	0.00
Holothuroidea	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Anthozoa	4.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nemertea	8.00	0.67	12.67	4.33	0.67	0.00
Sipunculido	28.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33
Amphioxus	0.33	0.67	35.00	0.67	0.00	0.00
Oligoqueto	0.00	0.00	3.33	0.00	0.00	3.67

**Tabla 5.9-67**  
**Biomasa (AFDW) Promedio (g/0,1 m<sup>2</sup>) de los Taxa Presentes en las Estaciones de Muestreo. Campaña Invernal 2009.**

	D-01	D-02	D-03	D-04	D-05	D-06
Onuphidae	0.1025	0.0244	0.0216	0.0042	0.0000	0.1437
<i>Paramphinoe</i>	0.2447	0.0672	0.0054	0.0000	0.0000	0.0000
Syllis	0.0181	0.0021	0.0092	0.0032	0.0000	0.0000
Exogone	0.0007	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
<i>Cirratulus cirratus</i>	0.0149	0.0272	0.0038	0.0004	0.0001	0.0011
<i>Capitela capitata</i>	0.3105	0.1881	0.1326	0.0061	0.0031	0.0015
Hesionidae	0.0062	0.0036	0.0030	0.0002	0.0000	0.0000
<i>Typosillis sp</i>	0.0348	0.0104	0.0011	0.0020	0.0000	0.0005
<i>Glycera americana</i>	0.0809	0.1476	0.0208	0.0235	0.0000	0.0000
<i>Goniada sp</i>	0.0711	0.0000	0.0269	0.0211	0.0306	0.0000
<i>Ophelia sp</i>	0.0065	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
<i>Anaitides sp</i>	0.0006	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
<i>Sigambra bassi</i>	0.0006	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003
<i>Oenone sp</i>	0.0047	0.0000	0.0717	0.0000	0.0000	0.0000
Terebellidae	0.0005	0.0001	0.0018	0.0008	0.0000	0.0000
<i>Eulalia sp</i>	0.0015	0.0020	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Maldanidae	0.0084	0.0000	0.0233	0.0070	0.0000	0.0000
Harmothoe	0.0009	0.0077	0.0163	0.0000	0.0000	0.0000
<i>Eteone sp</i>	0.0011	0.0002	0.0001	0.0000	0.0017	0.0000
Chaetopteridae	0.0104	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
<i>Haploscoloplos sp</i>	0.0003	0.0000	0.0000	0.0019	0.0091	0.0024
<i>Diopatra chilensis</i>	0.0000	0.3968	0.0000	0.0000	0.0044	0.0149
<i>Lumbrineris tetraura</i>	0.0000	0.0316	0.0051	0.0260	0.0000	0.1176
<i>Sthenelais sp</i>	0.0000	0.0027	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000
Pisionidae	0.0000	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Orbinidae	0.0000	0.1220	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
<i>Nephtys ferruginia</i>	0.2123	0.0000	0.2878	0.0256	0.0113	0.0074
<i>Prionospio peruana</i>	0.0000	0.0000	0.0134	0.0000	0.0011	0.0002
<i>Paraprionospio</i>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0008	0.0003	0.0004
Sabellidae	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ampharetidae	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0290
<i>Cossura chilensis</i>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0018
<i>Cirrophorus sp</i>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0325	0.0005	0.0085
Magelonidae	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0093
<i>Polydora socialis</i>	0.1254	0.0230	0.0148	0.0033	0.0002	0.0000
Tanaidacea	0.0077	0.0011	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Gammarus	0.0076	0.0337	0.0078	0.0000	0.0000	0.0000
<i>Nebalia sp</i>	0.0147	0.0008	0.0010	0.0000	0.0000	0.0000
Isopoda (Flabellifera)	0.0766	0.0001	0.0799	0.0530	0.0000	0.0000
Gammaridae	0.0052	0.0027	0.0033	0.0036	0.1285	0.0000
Isopoda	0.1976	0.0012	0.0001	0.0013	0.0000	0.0000
Ampelisca	0.0012	0.0000	0.0008	0.0000	0.0000	0.0330
Phoxocephalidae	0.0231	0.0029	0.0388	0.1182	0.0249	0.0000

	D-01	D-02	D-03	D-04	D-05	D-06
Orchomenella	0.0143	0.0113	0.0035	0.0048	0.0000	0.0000
<i>Pagurus sp</i>	0.0053	0.1275	0.0084	0.0878	0.0000	0.0000
Caprellidae	0.0012	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
<i>Pinnixa sp</i>	0.0794	0.0413	0.0084	0.0025	0.0000	0.0000
<i>Petrolisthes sp</i>	0.0483	0.0354	0.0083	0.0000	0.0000	0.0000
<i>Inachoides sp</i>	0.0000	0.0089	0.0008	0.0000	0.0000	0.0000
<i>Pilumnoides pulatus</i>	0.0000	0.0092	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
<i>Halicarcinus sp</i>	0.0000	0.0008	0.0009	0.0005	0.0000	0.0000
Mysidacea	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Stomatopoda	0.0000	0.0000	0.0000	0.0311	0.0030	0.0000
<i>Lophozozymus sp</i>	0.0000	0.0312	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Cumacea	0.0000	0.0000	0.0334	0.0206	0.0126	0.0021
Ostracoda	0.0787	0.0178	0.1706	0.0415	0.0001	0.0088
<i>Oliva peruviana</i>	0.0738	5.6781	3.5320	1.0037	5.0406	0.0000
<i>Mulinia edulis</i>	0.0553	0.0000	0.0000	0.0000	0.0262	0.0000
<i>Tegula atra</i>	17.3333	0.0000	0.9842	0.0000	0.0000	0.0000
<i>Nassarius gayi</i>	0.0023	0.0000	0.0471	0.0000	0.4043	0.0000
<i>Trophon sp</i>	2.5386	0.0000	0.0000	0.0000	0.0106	0.0000
<i>Onoba sp</i>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
<i>Glycimeris sp</i>	0.0654	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
<i>Nucula sp</i>	0.0062	0.0000	0.0000	0.0000	0.0688	0.0000
<i>Macoma sp</i>	0.0303	0.0000	0.0586	0.0000	0.0000	0.0000
<i>Mysella sp</i>	0.0292	0.0000	0.0248	0.0000	0.0000	0.0000
<i>Tindaria sp</i>	0.0220	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
<i>Carditella sp</i>	0.0016	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
<i>Natica sp</i>	0.0000	0.0089	0.0000	0.0000	0.0130	0.0000
<i>Ischnochiton sp</i>	0.1873	0.0240	0.1333	0.0000	0.0000	0.0000
<i>Tagelus dombeii</i>	0.0000	0.0000	0.0024	0.0028	0.0125	0.0000
<i>Cyclocardia</i>	0.1959	0.0000	0.1685	0.0274	0.0000	0.0000
Actinia	0.0344	0.0043	0.0473	0.0075	0.0000	0.0000
Sipunculido	0.0138	0.0538	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Holoturia	0.0692	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ophiuro	0.0345	0.0009	0.0252	0.0077	0.0000	0.0877
Nemertea	0.0139	0.0000	0.0078	0.0018	0.0017	0.0000
Amphioxus	0.0019	0.0340	0.0163	0.1116	0.0000	0.0000
Oligochaeto	0.0003	0.0000	0.0029	0.0044	0.0013	0.0000



**Tabla 5.9-68**  
**Biomasa (AFDW) Promedio (g/0,1 m<sup>2</sup>) de los Taxa Presentes en las Estaciones de Muestreo. Campaña Estival 2010.**

	D-01	D-02	D-03	D-04	D-05	D-06
<i>Capitela capita</i>	0.07	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00
<i>Polydora socialis</i>	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Onuphis sp.</i>	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
<i>Paramphinome australis</i>	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Glycera americana</i>	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
<i>Goniada uncinigera</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Ophelia sp.</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Terebellidae	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Cirratulus cirratus</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Maldanidae	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Harmothoe sp.</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sigalionidae	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Capitela sp.</i>	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Exogene sp.</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Syllis sp.</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Typosyllis sp.</i>	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Hesionidae	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pidionidae	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Eulalia sp.</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Anaitides sp.</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Eumida sp.</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Phyllodocidae	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Nephtys ferruginea</i>	0.26	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00
<i>Magelona</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Orbinidae	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
<i>Prionospio peruana</i>	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
<i>Cirrophorus sp.</i>	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
<i>Oenone sp.</i>	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Lumbriconereis tetraura</i>	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00
<i>Sthenelais sp.</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ampharetidae	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Polynoidae	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
<i>Eteone sp.</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Spionidae	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sabellidae	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
<i>Cossura chilensis</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cirratulidae	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Paraprionospio pinnata</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Pinnixa bahamondei</i>	0.43	0.07	0.22	0.00	0.00	0.00
<i>Nebalia sp.</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Megalopa	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Orchomenella	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Phoxocephalidae	0.03	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00

	<b>D-01</b>	<b>D-02</b>	<b>D-03</b>	<b>D-04</b>	<b>D-05</b>	<b>D-06</b>
<i>Gammarus sp.</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Corallanidae	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sphaeromatidae	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
Asellota	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tanaidacea	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gammaridae	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Pagurus sp.</i>	0.00	0.72	0.01	0.00	0.00	0.00
<i>Callianassa sp.</i>	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
<i>Platyanthus sp.</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ostracoda	0.03	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00
Caprellidae	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Pinnixa sp.</i>	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Cancer setosus</i>	0.03	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00
<i>Latreutes antiborealis</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Pasiphea dofleini</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>AcanthePHYRA sp.</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Taliepus sp.</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Geryonidae	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Cycloxanthops bockii</i>	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Pilumnoides perlatus</i>	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Cancer sp.</i>	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
Joeropsididae	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gnathiidae	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pardaliscidae	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ampelidae	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Lysianassidae	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Halicarcinus planatus</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sebidae	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cirolanidae	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
<i>Inachoides sp.</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Stomatopoda	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Cumacea	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Platyischnapidae	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00

	<b>D-01</b>	<b>D-02</b>	<b>D-03</b>	<b>D-04</b>	<b>D-05</b>	<b>D-06</b>
Hippidae	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Blepharipoda sp.</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
<i>Eurypodius sp.</i>	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
<i>Nucula sp.</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Tegula atra</i>	0.91	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Cyclocardia</i>	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
<i>Semele solida</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Macoma sp.</i>	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
<i>Chiton sp.</i>	0.02	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Brachidontes</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Oliva peruviana</i>	0.17	0.21	0.28	0.15	0.36	0.00
<i>Mitrella sp.</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Nassarius gayi</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Argobuccinum sp.</i>	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Trigonostoma</i>	0.15	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00
<i>Mactra sp.</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Kellia sp.</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Natica sp.</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
<i>Cyamium sp.</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Lioconcha sp.</i>	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00
Bivalvos juveniles	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Tindaria sp.</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
<i>Acharax sp.</i>	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
<i>Trophon sp.</i>	0.15	0.62	0.00	0.00	0.00	0.00
Ophiuroidea	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Holothuroidea	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Anthozoa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nemertea	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sipunculido	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Amphioxus	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00
Oligoqueto	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

La densidad promedio para periodo invernal, al incluir las seis estaciones muestreadas con sus tres réplicas cada una (n=18), fue de 896,6 ind/0,1 m<sup>2</sup>. La comparación de las medias de la abundancia entre las estaciones evidenció diferencias significativas (p<0,05) en un análisis de varianza de una vía (F<sub>5,12</sub>=8,5421;p=0,0011); lo anterior se explica principalmente por la baja abundancia de la estación D-06. En el periodo estival ésta fue mayor, registrándose 1224,1 ind/0,1 m<sup>2</sup>. Así mismo, en esta oportunidad el análisis de varianza de una vía evidenció diferencias significativas (F<sub>5,12</sub>=10,5216;p=0,00046); lo anterior principalmente por la alta abundancia de las estaciones D-01 y D -03.

**Tabla 5.9-69**  
**Densidad ( $n^{\circ}/0,1m^2$  y  $n^{\circ}/m^2$ ), Biomasa AFDW ( $g/0,1m^2$  y  $g/m^2$ ), y sus Respectivas Desviaciones Estándar en las Estaciones Estudiadas. Campañas Inviernal y Estival**

Estación	Campaña invernal				Campaña estival			
	Densidad		Biomasa		Densidad		Biomasa	
	$n^{\circ}/0,1m^2$	$n^{\circ}/m^2$	$g/0,1m^2$	$g/m^2$	$n^{\circ}/0,1m^2$	$n^{\circ}/m^2$	$g/0,1m^2$	$g/m^2$
D-01	2083,7	20836,7	1,8759	18,7587	2133,0	21330,0	2,6131	26,1310
D-02	661,3	6613,3	0,6656	6,6563	1307,0	13070,0	1,9637	19,6374
D-03	1278,3	12783,3	0,5862	5,8625	2161,0	21610,0	1,1641	11,6407
D-04	787,0	7870,0	0,1872	1,8719	849,0	8490,0	0,2551	2,5506
D-05	401,3	4013,3	0,4613	4,6134	583,7	5836,7	0,4725	4,7253
D-06	168,0	1680,0	0,0688	0,6880	311,0	3110,0	0,0229	0,2293
Promedio	896,6	8966,1	0,6	6,4	1224,1	12241,1	1,1	10,8

La biomasa promedio para el área completa fue de  $0,6 g/0,1 m^2$  que equivale a  $6,4 g/m^2$ . Contrariamente a lo observado para la abundancia, no se evidenció diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) en un análisis de varianza de una vía ( $F_{5,12}=1,7060; p=0,2076; F_{5,12}=2,2162; p=0,1201$ ), para ambos periodos estacionales.

#### b) Análisis comunitario

En la **Tabla 5.9-70** se presentan los resultados de los principales índices comunitarios medidos para las cinco estaciones analizadas. En el periodo invernal, la riqueza de especies entendida como el número total de especies colectadas en cada una de las estaciones, fluctuó entre 19 y 59, registrándose los valores más bajos en la estación D-06. Sin embargo es importante considerar que esta estación está ubicada fuera de la Bahía en un sector más expuesto. La diversidad por su parte fue alta, con valores superiores a 2 en todas las estaciones, exceptuando D-05, la que a su vez presentó el valor más bajo de equidad evidenciando la dominancia de una especie (Gammaridae).

Por otra parte en verano, la riqueza de especies fluctuó entre 10 y 73, registrándose los valores más bajos en la misma estación. La diversidad por su parte fue alta con valores superiores a 1,5 en todas las estaciones de muestreo.

**Tabla 5.9-70**

**Parámetros Comunitarios: Número Total de Especies (S); Número de Individuos (n); Índice de Dominancia; Índice de Diversidad de Shannon (H'); e Índice de Equidad de Pielou (J'). Campaña Invernal y Estival.**

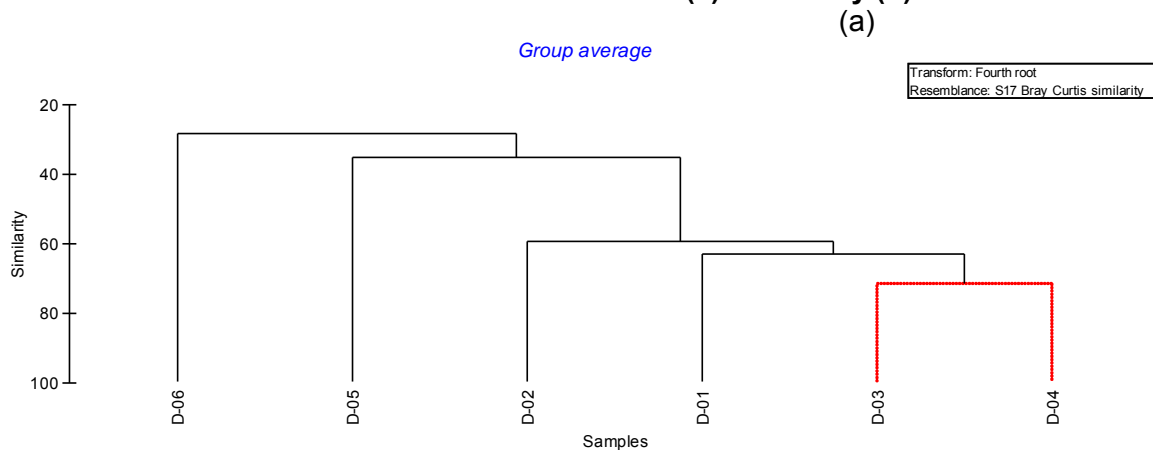
Período	Parámetros	D-01	D-02	D-03	D-04	D-05	D-06
Invernal	S	59	42	50	39	27	19
	N	2083.7	661.3	1278.3	787.0	401.3	168.0
	H'	2.7	2.9	2.2	2.2	1.8	2.3
	J'	0.7	0.8	0.6	0.6	0.5	0.8
Estival	S	73	52	63	28	29	10
	N	2133	1307	2161	849	584	311
	H'	2.5	2.6	2.0	2.2	1.9	1.5
	J'	0.6	0.7	0.5	0.6	0.6	0.7

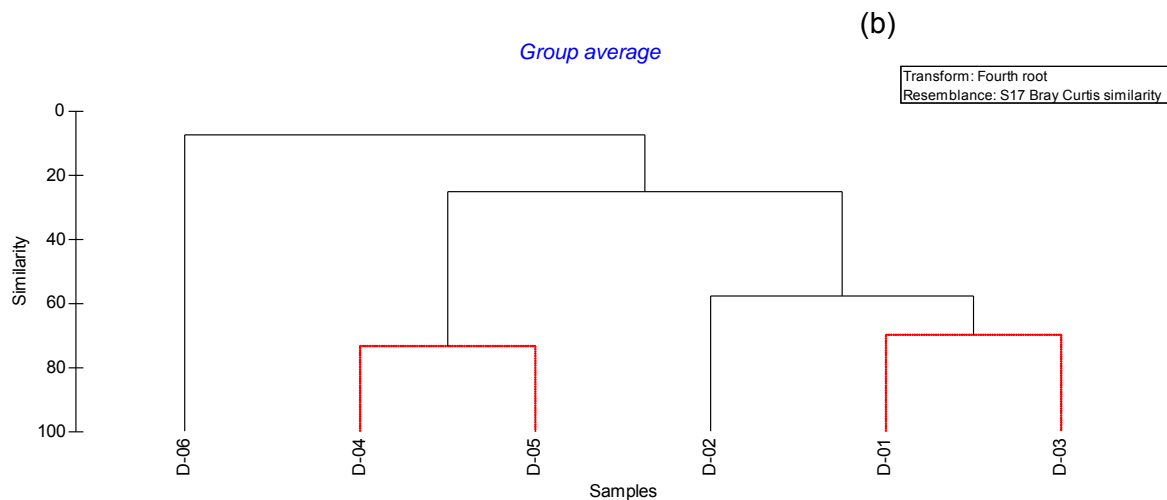
**c) Clasificación Numérica**

En la **Figura 5.9-113** se presenta el dendrograma resultante de la clasificación numérica para las estaciones, analizadas en base a una matriz de similitud generada con el índice de Bray Curtis con los datos de abundancia de las especies presentes. Se observa la presencia de dos grupos, el primero, con una similitud superior al 60%, conformado por las estaciones D-01, D-02, D-03 y D-04 y el otro, por las estaciones D-05 y D-06. Esta conformación estuvo asociada a la riqueza específica y abundancia, la que fue más baja en las estaciones que conforman el segundo grupo.

Para el verano, la situación presenta algunas variaciones, de esta manera se observa la presencia de tres grupos, los primero dos, con una similitud del 35% conformado por las estaciones D-01, D-02, D-03 y el otro, por las estaciones D-04 y D-05. El tercer grupo lo conformó sólo la estación D-06.

**Figura 5.9-113**  
**Dendrograma Resultante del Análisis de Conglomerado para las Estaciones Bentónicas Durante los Períodos de: (a) Invierno y (b) Verano.**





Nota: En rojo agrupación de estaciones que no presentan diferencias significativas ( $p < 0,05$ )

La **Tabla 5.9-71** muestra los resultados del análisis SIMPER durante el período invernal. De ella se desprende que la diferenciación entre los dos grupos está asociado principalmente a las contribuciones de *Syllis*, *Isopoda* y *Ostracoda*. Por otra parte, *Polydora socialis*, *Syllis* y *Ostracoda* son las especies que mayormente contribuyen a la similitud de las estaciones en el grupo A; y *Nephtys ferruginia*, *Capitella capitata* y *Cirratulus cirratus* en el grupo B.

Por otra parte, en el periodo estival la diferenciación entre los tres grupos está asociado principalmente a las contribuciones de *Syllis*, *Capitella capitata*, *Platyischnapida*, *Phoxocephalidae*, *Exogene*, *Magelone* y *Ostracoda*. Por otra parte, *Polydora sociales*, *Platyischnapidae* y *Phoxocephalidae* son las especies que mayormente contribuyen a la similitud de las estaciones en el grupo B; y *Ostracoda*, *Capitella capitata* y *Syllis* en el grupo C (**Tabla 5.9-72**).

**Tabla 5.9-71**  
**Resultados del Análisis SIMPER. Porcentaje de Contribución de las Especies más Importantes a la Disimilitud y Similitud entre Grupos. Grupo A: D-01, D-02, D-03 y D-04; Grupo B: D-05 y D-06. Campaña Invernal 2009.**

	Disimilitud		Similitud	
	A y B		A	B
<i>Nephtys ferruginia</i>				15,76
<i>Capitella capitata</i>				11,97
<i>Cirratulus cirratus</i>				10,95
<i>Polydora socialis</i>			4,71	
<i>Syllis</i>	4,18		5,95	
<i>Isopoda</i>	3,05			
<i>Ostracoda</i>	3,03		7,05	

**Tabla 5.9-72**  
**Resultados del Análisis SIMPER. Porcentaje de Contribución de las Especies más Importantes a la Disimilitud y Similitud entre Grupos. Grupo A: D-06, Grupo B: D-04 y D-05 y Grupo C D-01, D-02 y D-03. Campaña Estival 2010.**

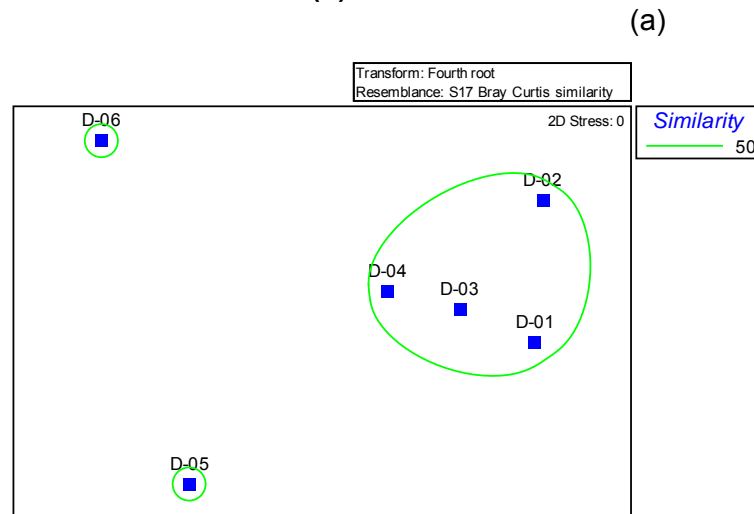
	Disimilitud		Similitud		
	A y B	A y C	B y C	B	C
<i>Ostracoda</i>		3,32			6,52
<i>Capitella capitata</i>		3,50			5,87
<i>Syllis sp.</i>		3,20	3,23		5,21
<i>Platyischnapidae</i>	6,55		3,60	11,21	
<i>Phoxocephalidae</i>	5,63			8,32	
<i>Polydora socialis</i>				6,72	
<i>Exogene</i>			2,95		
<i>Magelone</i>	5,24				

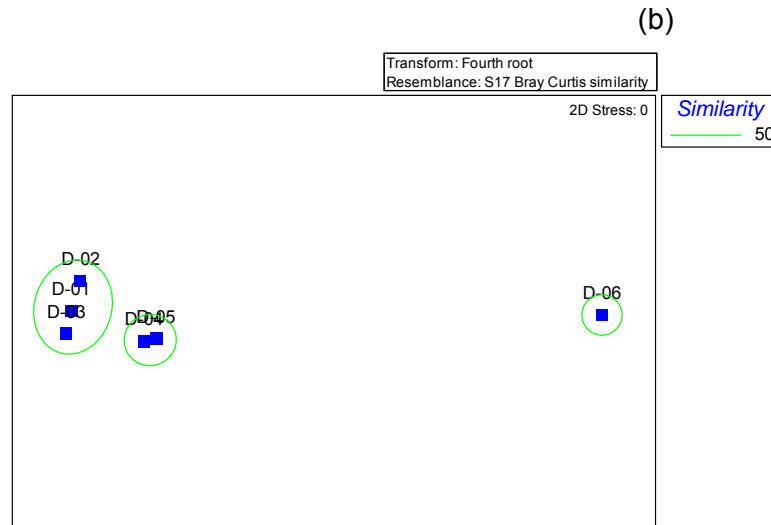
**c) Ordenación Comunitaria**

En la **Figura 5.9-114** se presenta la gráfica del análisis de escalación multidimensional no métrica (NMDS) realizada en base a los datos de abundancia promedio de las especies por estación. Al igual que el análisis de clasificación, se evidencian dos grupos separados por un 60% de similitud, no obstante las estaciones D-05 y D-06 que conforman el segundo grupo, evidenciaron un mayor distanciamiento que las podría considerar como grupos aparte.

En el periodo estival, la situación es similar en donde conformándose las mismas agrupaciones que el análisis de clasificación a un nivel de corte del 50% de similitud.

**Figura 5.9-114**  
**Gráfica Resultante del Análisis de Escalación no Métrica Multidimensional para los Datos de Abundancia de las Estaciones Bentónicas. para los Periodos de (a) Invierno y (b) Verano.**





Nota: Los polígonos indican las agrupaciones significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

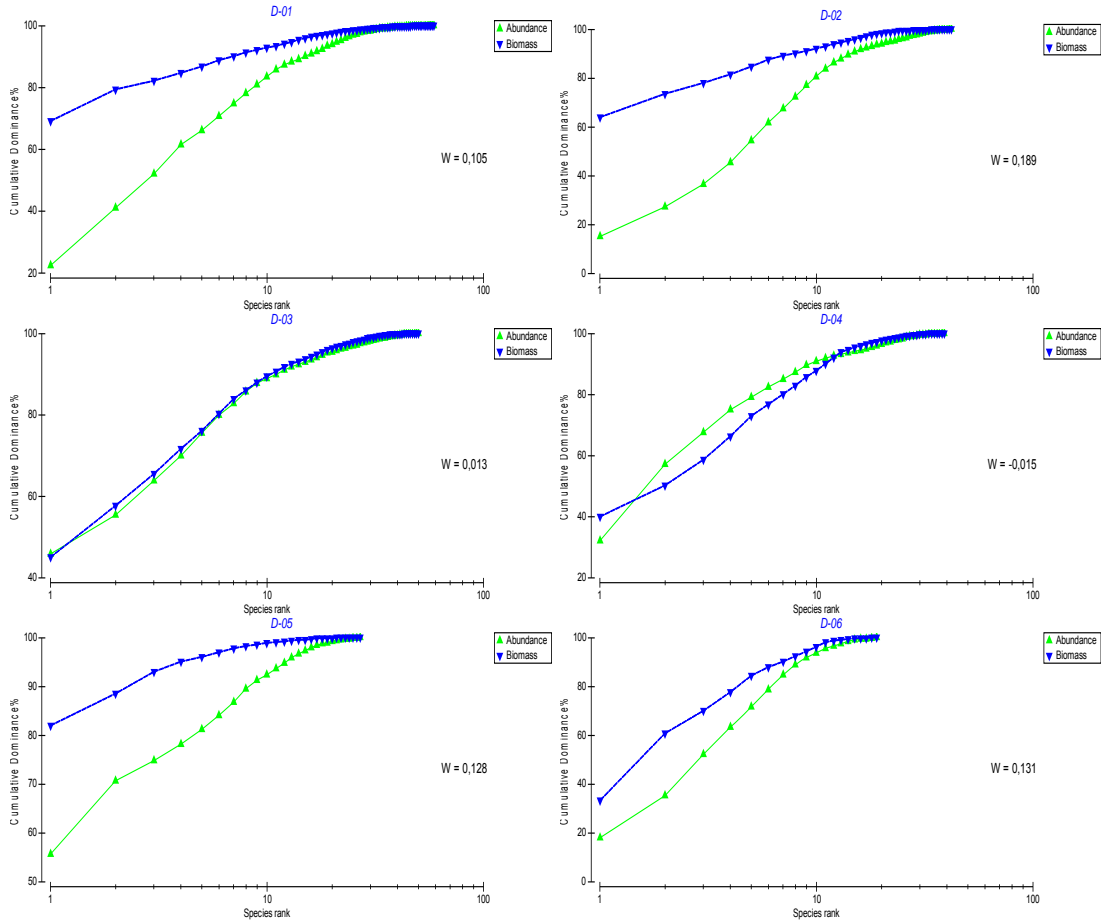
#### d) Curvas de Dominancia

Las **Figuras 5.9-115 y 5.9-116** muestran las curvas del tipo "ABC" o de k-dominancia para todas las estaciones. Estas indican el nivel de contaminación o alteración de un lugar en base a la relación entre las curvas de la abundancia y biomasa de las especies presentes, lo que se refleja en el estadístico W. De acuerdo a lo anterior, valores negativos de W indican comunidades alteradas ambientalmente, por el contrario si los valores son positivos corresponden a comunidades sin perturbación ambiental.

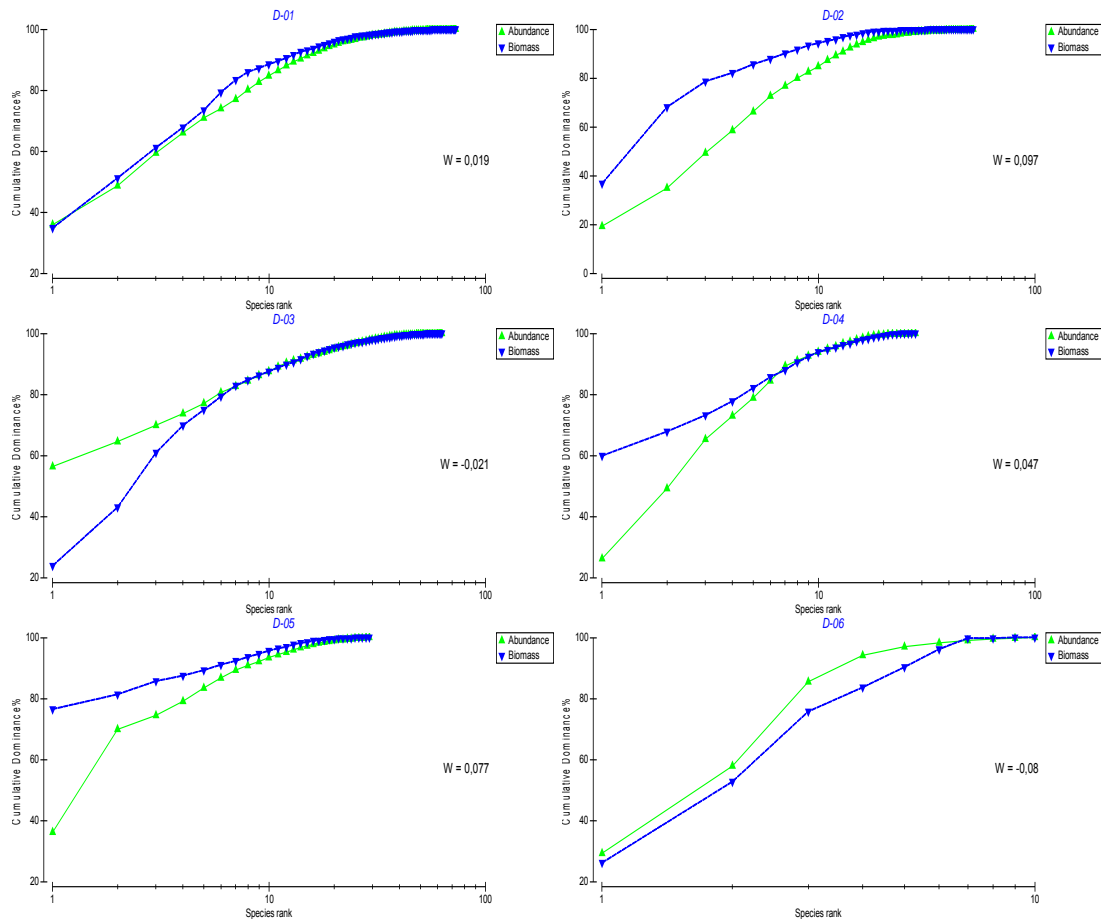
De lo señalado anteriormente, se puede concluir que en el periodo invernal sólo la estación D-04 estaría sometida a un estrés ambiental, mientras que en verano las estaciones D-02 y D-06 presentarían esta condición, sin embargo, en esta última campaña esta condición no tiene mayor importancia debido al bajo valor del estadístico W.



**Figura 5.9-115**  
**Curvas de K-Dominancia Combinada (ABC) para la Abundancia Numérica y la Biomasa**  
**para Cada Estación. Campaña Invernal 2009.**



**Figura 5.9-116**  
**Curvas de K-Dominancia Combinada (ABC) para la Abundancia Numérica y la Biomasa para cada Estación. Campaña Estival 2010.**



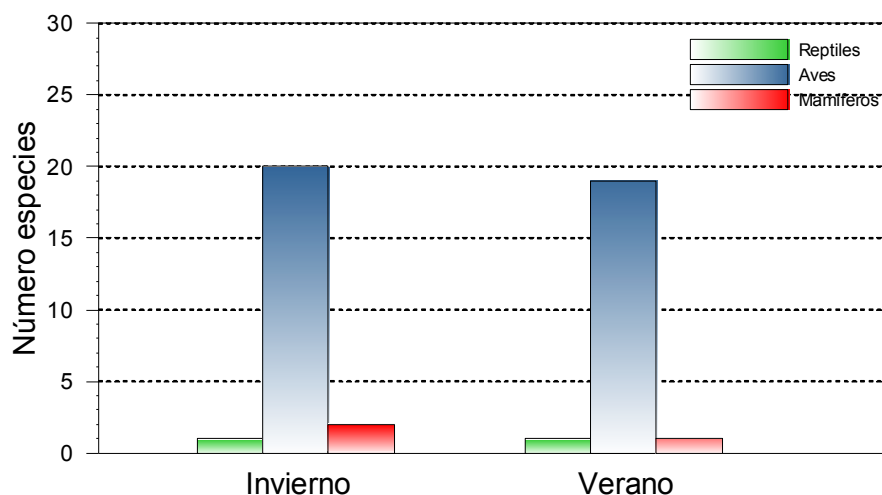
### 5.9.3.7 Mamíferos y avifauna

El estudio de prospección de vertebrados en el área costera de Bahía Caldera estableció un número total de 25 especies identificadas, observándose un número similar en las dos evaluaciones estacionales realizadas, contabilizándose 23 taxa durante el período invernal y 21 especies durante el verano. La **Tabla 5.9-73** entrega el listado total de las especies registradas durante las campañas de septiembre y diciembre de 2009, respectivamente.

Las especies identificadas en las dos campañas estuvieron agrupadas en tres clases: Reptilia, Aves y Mammalia, de las cuales el grupo de las aves fue el más abundante y diverso de los tres grupos presentes en ambos períodos estacionales. Este grupo estuvo representado por 20 especies durante el período invernal y 19 especies durante el verano (**Figura 5.9-117**).

Los reptiles sólo estuvieron representados por una especie en ambos períodos de evaluación, mientras que los mamíferos marinos estuvieron representados por dos especies en invierno y una en verano (Figura 5.9-117).

**Figura 5.9-117**  
**Riqueza de Especies por Clase en Vertebrados Identificados en Bahía Caldera Durante las Campañas de Septiembre y Diciembre de 2009.**



De las especies identificadas, cinco sólo se encontraron durante el período invernal, de ellas cuatro fueron aves y una de mamífero. Las especies de aves fueron *Anas georgica* (pato jergón grande), *Aphriza virgata* (playero de las rompientes), *Ardea alba* (garza grande) y *Muscisaxicola macloviana* (dormilona tontita), mientras que el mamífero fue *Tursiops truncatus* (delfín nariz de botella).

Asimismo, se verificó tres especies presentes sólo durante el período estival, todas las cuales fueron aves: *Vanellus chilensis* (quelltehue), *Talasseus elegans* (gaviotín elegante) y *Podiceps major* (huala).

**Tabla 5.9-73**  
**Vertebrados Presentes en el Area de Estudio Durante las Campañas de Septiembre y Diciembre de 2009.**

	Clasificación	Nombre Común	Estado de conservación			
			CONAF (1987)		CONAMA	IUCN
			Chile	III Región		
	<b>CLASE AVES</b>					
	ORDEN ANSERIFORMES					
	Familia Anatinae					
1	<b><i>Anas georgica</i></b>	Pato jergón grande	Sin categoría		-	LC
	ORDEN CHARADRIIFORMES					
	Familia Charadriidae					
2	<b><i>Vanellus chilensis</i></b>	Quelltehue	Sin categoría		-	LC
	Familia Haematopodidae					

	Clasificación	Nombre Común	Estado de conservación			
			CONAF (1987)		CONAMA	IUCN
			Chile	III Región		
3	<b><i>Haematopus ater</i></b>	Pilpilen negro	Sin categoría		-	LC
4	<b><i>Haematopus palliatus</i></b>	Pilpilen blanco	Sin categoría		-	LC
	Familia Laridae					
5	<b><i>Larus dominicanus</i></b>	Gaviota dominicana	Sin categoría		-	LC
6	<b><i>Larus modestus</i></b>	Gaviota Garuma	V	FP	-	LC
7	<b><i>Thalasseus elegans</i></b>	Gaviotín elegante	Sin categoría		-	NT
	Familia Scolopacidae					
8	<b><i>Aphriza virgata</i></b>	Playero de las rompientes	Sin categoría			
9	<b><i>Arenaria interpres</i></b>	Playero Vuelvepedras	Sin categoría		-	
10	<b><i>Numenius phaeopus</i></b>	Zarapito	Sin categoría		-	LC
	ORDEN CICONIIFORMES					
	Familia Ardeidae					
11	<b><i>Nycticorax nycticorax</i></b>	Huairavo	Sin Categoría		-	LC
	Familia Cathartidae					
12	<b><i>Cathartes aura</i></b>	Jote de cabeza colorada	Sin categoría		-	LC
	PASSERIFORMES					
	Familia Furnariidae					
13	<b><i>Cinclodes nigrofumosus</i></b>	Churrete costero	Sin categoría		-	LC
	Familia Troglodytidae					
14	<b><i>Troglodytes aedon</i></b>	Chercan	Sin categoría		-	LC
	Familia Tyrannidae					
15	<b><i>Muscisaxicola macloviana</i></b>	Dormilona tontita	Sin categoría			
	ORDEN PELECANIFORMES					
	Familia Pelecanidae					
16	<b><i>Pelcanus thagus</i></b>	Pelicano	Sin categoría		-	NT
	Familia Phalacrocoracidae					
17	<b><i>Phalacrocorax bougainvillii</i></b>	Pato o cormorán guanay	V		-	NT
18	<b><i>Phalacrocorax brasilianus</i></b>	Pato o cormorán yeco	Sin categoría		-	LC
19	<b><i>Phalacrocorax gaimardi</i></b>	Pato o cormorán lile	Insuficientemente conocida		-	NT
	Familia Sulidae					
20	<b><i>Sula variegata</i></b>	Piquero	Insuficientemente conocida		-	LC
	PODECIPEDIFORMES					
	Podicipedidae					
21	<b><i>Podiceps major</i></b>	Huala	Sin categoría		-	LC
	ORDEN SPHENISCIFORMES					
	Familia Spheniscidae					
22	<b><i>Spheniscus humboldti</i></b>	Pinguino de Humboldt	V	En Peligro	V	V

UICN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza  
 FP = Fuera de peligro; LC = Least Concern (preocupación menor); NT = Near Threatened (Casi en peligro); V = Vulnerable.

	Clasificación	Nombre Común	Estado de conservación		
			CONAF (1987)	CONAMA	IUCN
	<b>CLASE REPTILIA</b>				
	ORDEN SQUAMATA				
	Familia Tropiduridae				
23	<b><i>Microlophus atacamensis</i></b>	Lagartija	Sin categoría	-	-
	<b>CLASE MAMMALIA</b>				
	ORDEN CARNIVORA				
	Familia Otariidae				
24	<b><i>Otaria flavescens</i></b>	Lobo común o de un pelo	FP	-	LC
	ORDEN CETACEA				
	Familia Delfinidae				
25	<b><i>Tursiops truncatus</i></b>	Delfín nariz de botella	Sin categoría	-	-

FP = Fuera de peligro; LC = Least Concern (preocupación menor); NT = Near Threatened (Casi en peligro); V = Vulnerable.

En cuanto a los estados de conservación, siete especies tienen alguna categoría según las tres fuentes aquí utilizadas (CONAF 1987; CONAMA, IUCN). Las categorías fluctúan desde Insuficientemente Conocida a Peligro de Extinción. De estas especies, el Pingüino de Humboldt es la más crítica ya que se encuentra Vulnerable para la III Región y en Peligro de Extinción para Chile (CONAF 1987).

Las **Tabla 5.9-74** y **5.9-75** entregan los valores de abundancia para aves y mamíferos marinos reportados en las prospecciones invernal y estival, respectivamente. Se observa que durante el período invernal de 2009 se identificó un total de 424 individuos, donde el punto de observación ubicado en el sector de Punta Caldera, en torno al faro y al islote Centinela Blanco, se establece como el sector de mayor abundancia, representando el 41,7% del total de individuos identificados. Importancias secundarias presentaron los puntos 5 y 7, con porcentajes de ocurrencia de 25 y 13%, respectivamente.

El Punto 1 también presentó la mayor diversidad, presentando 17 de las 22 especies identificadas, significando un valor de riqueza del 77%, mientras que los sectores siguientes presentaron valores de riqueza entre 18 y 41%. Durante este período, la especie más representativa fue la gaviota dominicana (*Larus dominicanus*) ya que fue la única que estuvo presente en todos los puntos de evaluación.

Durante el verano, se presentó mayores niveles de abundancia, identificándose un total de 1511 individuos en el total del área de prospección. Nuevamente el sector de Punta Caldera fue el punto de observación con la mayor cantidad de especímenes, significando el 28,7% del total de individuos identificados. Otros sitios importantes fueron los puntos 5 y 6 con porcentajes de 24,4 y 21,6 %, respectivamente.

En términos de riqueza, durante este período el Punto 4 presentó la mayor cantidad de taxa observadas (11 especies), significando una riqueza del 55%. Otros sitios de importancia fueron los puntos 1, 6 y 7 que presentaron valores de riqueza de 45%.

Durante el verano, fueron dos las especies más representativas: la gaviota dominicana (*Larus dominicanus*) y el cormorán yeco (*Phalacrocorax brasilianus*), las cuales estuvieron presentes en 6 de los 7 puntos de evaluación.

**Tabla 5.9-74**  
**Valores Brutos de los Conteos de Aves y Mamíferos Marinos en la Bahía de Caldera**  
**Durante Septiembre de 2009.**

ESPECIE	NOMBRE COMÚN	Pto 1	Pto 2	Pto 3	Pto 4	Pto 5	Pto 6	Pto 7	Total
<i>Microlophus atacamensis</i>	Lagartija	√	√	√	√	√	√	√	
<i>Anas georgica</i>	Pato jergón grande						1		1
<i>Haematopus ater</i>	Pilpilén negro	7					2	2	11
<i>Haematopus palliatus</i>	Pilpilén blanco		2				2		4
<i>Numenius phaeopus</i>	Zarapito	1	1				5	11	18
<i>Arenaria interpres</i>	Playero vuelvepedras	3	1						4
<i>Aphriza virgata</i>	Playero de las rompientes	10							10
<i>Larus dominicanus</i>	Gaviota dominicana	56	2	5	12	65	6	17	163
<i>Larus modestus</i>	Gaviota garuma		1		6	40	1		48
<i>Ardea alba</i>	Garza grande	1							1
<i>Nycticorax nycticorax</i>	Huairavo	2						1	3
<i>Cathartes aura</i>	Jote de cabeza negra	2							2
<i>Cinclodes nigrofumosus</i>	Churrete costero	10							10
<i>Troglodytes aedon</i>	Chercán	2							2
<i>Muscisaxicola</i>	Dormilona tontita		3	1			1		5
<i>Pelecanus thagus</i>	Pelicano	2		6	10	1		1	20
<i>Phalacrocorax</i>	Cormorán Guanay	13						1	14
<i>Phalacrocorax brasilianus</i>	Cormorán yeco	33		6		1		11	51
<i>Phalacrocorax gaimardi</i>	Cormorán lile	4			4			2	10
<i>Sula variegata</i>	Piquero	15	1	1				9	26
<i>Spheniscus humboldti</i>	Pingüino de Humboldt	12							12
<i>Tursiops truncatus</i>	Delfín nariz de botella						2		2
<i>Otaria flavescens</i>	Lobo marino común	6			4				10
	<b>Total</b>	<b>176</b>	<b>11</b>	<b>19</b>	<b>36</b>	<b>107</b>	<b>20</b>	<b>55</b>	<b>424</b>

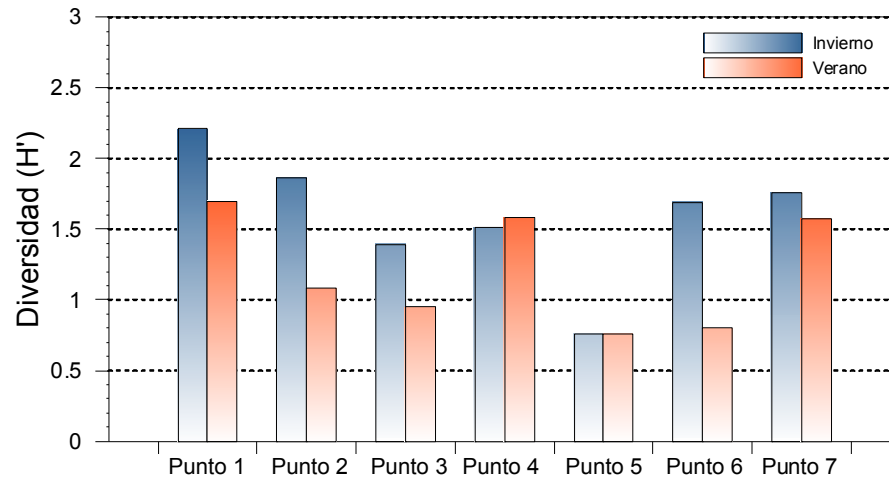
**Tabla 5.9-75**  
**Valores Brutos de los Conteos de Aves y Mamíferos Marinos en los Puntos 1 a 7**  
**Asociados a la Bahía de Caldera. Diciembre de 2009.**

ESPECIE	NOMBRE COMÚN	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7	Total
<i>Microlophus atacamensis</i>	Lagartija	√	√	√	√	√	√	√	
<i>Vanellus chilensis</i>	Queltehue						2		2
<i>Haematopus ater</i>	Pilpilén negro				3			4	7
<i>Haematopus palliatus</i>	Pilpilén blanco				4	2	8	4	18
<i>Numenius phaeopus</i>	Zarapito			1	4	2	2	15	24
<i>Arenaria interpres</i>	Playero vuelvepidras		2		11		1		14
<i>Larus dominicanus</i>	Gaviota dominicana	26		3	15	87	1	29	161
<i>Larus modestus</i>	Gaviota garuma		9			269	48	86	412
<i>Thalasseus elegans</i>	Gaviotín elegante				89			1	90
<i>Cathartes aura</i>	Jote de cabeza roja				12	3			15
<i>Nycticorax nycticorax</i>	Huairavo				1				1
<i>Cinclodes nigrofumosus</i>	Churrete costero	5							5
<i>Troglodytes aedon</i>	Chercán	2							2
<i>Pelecanus thagus</i>	Pelicano	117			2			59	178
<i>Phalacrocorax bougainvillii</i>	Cormorán Guanay	135						2	137
<i>Phalacrocorax brasilianus</i>	Cormorán yeco	4	3		6	4	256	9	282
<i>Phalacrocorax gaimardi</i>	Cormorán lile					1			1
<i>Sula variegata</i>	Piquero	83					4		87
<i>Spheniscus humboldti</i>	Pingüino de Humboldt	44							44
<i>Podiceps major</i>	Huala					1			1
<i>Otaria flavescens</i>	Lobo marino común	18			7		5		30
<b>Total</b>		<b>434</b>	<b>14</b>	<b>4</b>	<b>154</b>	<b>364</b>	<b>327</b>	<b>209</b>	<b>1511</b>

Los índices de diversidad (Shannon-Wiener:  $H'$ ) calculados establecen que el sector de Punta Caldera e islotes asociados presentó la mayor diversidad ( $H' 2,21$ ) durante el período invernal, seguido por el punto 2 y 7, respectivamente (**Figura 5.9-118**).

De manera similar, en la campaña estival, el sector del Faro Punta Caldera e islotes asociados presentó la mayor diversidad ( $H' 1,70$ ), seguido por el punto 7 (1,57) y punto 4 respectivamente.

**Figura 5.9-118**  
**Valores de Diversidad (índice de Shannon-Wiener: H')** para los Siete Puntos Estudiados Durante Septiembre y Diciembre de 2009.



#### a) Reptiles

Durante las prospecciones desarrolladas en Bahía Caldera sólo fue posible identificar una especie de reptil, la lagartija *Microlophus atacamensis* (Fotografía 5.9-9), la cual se encontró presente en toda el área estudiada, pero fue particularmente abundante en zona del intermareal rocoso.

Esta especie se distribuye desde Antofagasta a Huasco (Ortiz 1980c; Vidal *et al.* 2002) y habita el intermareal rocoso, donde se alimenta de algas, crustáceos, moluscos e insectos (Donoso-Barros 1948; 1966, Heisig 1993). En cuanto a su conservación, *M. atacamensis* no tiene asignada ninguna categoría, y es una especie abundante y frecuente en el área de estudio.



**Fotografía 5.9-9.** Ejemplar de *Microlophus atacamensis* presente en el Faro Punta Caldera.



**b) Aves**

Las aves fueron la clase más abundante y diversa del área evaluada, durante las dos prospecciones realizadas.

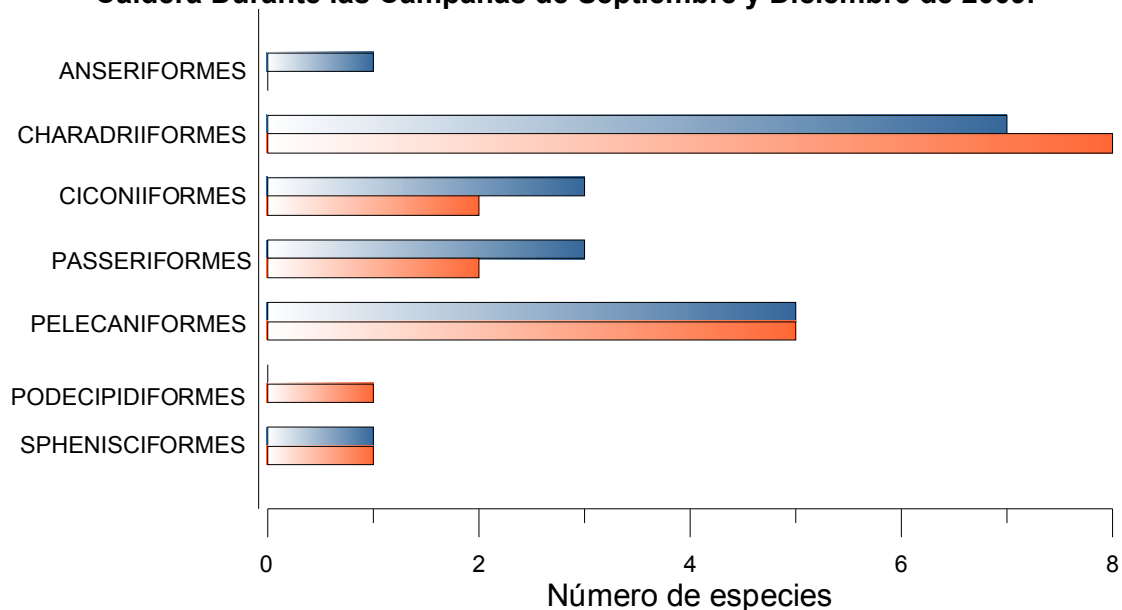
En la campaña de Septiembre se contabilizaron 415 individuos, los que estuvieron agrupados en 20 especies. A su vez, estas especies pertenecieron a 13 familias y seis órdenes.

Los órdenes más abundantes durante este período fueron Charadriiformes y Pelecaniformes con siete y cinco especies, respectivamente (**Figura 5.9-119**).

La gaviota dominicana (*Larus dominicanus*) fue ampliamente el ave más abundante durante esta campaña, con un 39,8% del total de especímenes avistados, seguida por el cormorán yeco (*Phalacrocorax brasilianus*) con un 12,29% y por la gaviota garuma (*Larus modestus*) con un 11,57%.

Por otra parte, la gaviota dominicana también fue la especie más representativa, ya que estuvo presente en los siete puntos aquí estudiados. Otra especie de alta frecuencia durante este período fue el pelícano (*Pelecanus thagus*) con una ocurrencia de 74,1%.

**Figura 5.9-119**  
**Riqueza de Especies por Ordenes Taxonómicos para las Aves Identificadas en Bahía Caldera Durante las Campañas de Septiembre y Diciembre de 2009.**



Durante el período estival se identificó un total de 1481 especímenes agrupados en 19 especies. Estas pertenecen a 13 familias y seis órdenes, destacando durante este período a Charadriiformes y Pelcaniformes como las más representativas, con ocho y cinco especies respectivamente (**Figura 5.9-119**).

La gaviota garuma (*Larus modestus*) fue el ave más abundante durante esta campaña con un 27,84% del total de especímenes avistados, seguida del cormorán yeco (*Phalacrocorax brasilianus*) con un 19%.

En términos de frecuencia, la gaviota dominicana (*L. dominicanus*) junto al cormorán yeco (*Phalacrocorax brasilianus*) fueron las aves más representativas del sector, estando presentes en seis de los siete puntos prospectados.

Ninguna de las especies de aves identificadas durante estas evaluaciones es endémica, y todas presentan amplias distribuciones en Chile y algunas en países vecinos.

Durante la campaña de diciembre informan además tres aves no reportadas durante la evaluación invernal, estas son la huala (*Podiceps major*, Podicipediformes) y los Charadriiformes Gaviotín elegante (*Thalasseus elegans*) y Queltchue (*Vanellus chilensis*).

La huala presenta como límite norte de su distribución la III Región de Atacama (Couve & Vidal 2003), incluso se ha reportado tan al norte como Arica (<http://www.avesdechile.cl>). El gaviotín elegante es una especie migratoria que visita la costa occidental de Sudamérica, durante el verano y a comienzos de otoño migra a México y California donde nidifica (Jaramillo 2003). Otras aves como el zarapito y playero vuelvepedras son especies que también migran desde el hemisferio norte para visitar nuestra costa durante el verano.

A diferencia de la campaña invernal, la gaviota garuma fue la más abundante en el área de estudio, sobretodo hacia el sector de fondo de saco de la bahía (Playa escorial). Esta ave realiza migraciones diarias de hasta 100 kilómetros al desierto interior de Tarapacá y Antofagasta para nidificar. La garuma se desplaza a la costa solo por comida, para volver al anochecer para alimentar sus polluelos o para turnarse en la incubación de los huevos (Martínez & González 2004; Araya & Millie 2000).



**Fotografía 5.9-10:**Huala



**Fotografía 5.9-11:**Zarapito



**Fotografía 5.9-12:** Pilpilén negro



**Fotografía 5.9-13:** Pilpilén



**Fotografía 5.9-14:** Playero vuelvepedras



**Fotografía 5.9-15:** Gaviotín elegante



**Fotografía 5.9-16:** Gaviota garuma



**Fotografía 5.9-17:** Gaviota dominicana





**Fotografía 5.9-18:** Quiltehue



**Fotografía 5.9-19:** Piquero



**Fotografía 5.9-20:** Pelicano



**Fotografía 5.9-21:** Cormorán guanay



**Fotografía 5.9-22:** Yeco



**Fotografía 5.9-23:** Lile



**Fotografía 5.9-24:** Pingüino de Humboldt



**Fotografía 5.9-25:** Jote de cabeza roja



**Fotografía 5.9-26:** Churrete costero



**Fotografía 5.9-27:** Huairavo

### **Mamíferos Marinos**

Durante los períodos evaluados sólo se constató individuos de dos especies: lobo marino común (*O. flavescen*) y delfines nariz de botella (*Tursipos truncatus*), estos últimos sólo fueron avistados dos individuos durante la campaña invernal, en el sector sur de Bahía Caldera. En ninguna de las campañas realizadas fueron vistos ni se encontró indicios (e.g. heces) de chungungos (*Lutra felina*).

En la campaña invernal, los lobos marinos se registraron principalmente en el sector del Faro de Punta Caldera y, secundariamente en la caleta de pescadores. Se hallaron 3 individuos indeterminados, 6 machos de los cuales se identificó a 5 adultos y un juvenil. Finalmente se registró una única hembra para esta especie.

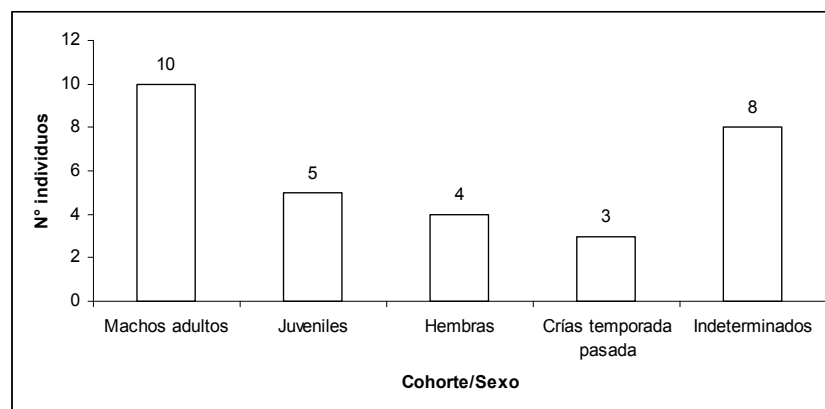
Durante el verano, se contabilizó 30 individuos que correspondieron principalmente a adultos (**Figura 5.9-120 y Fotografías 5.9-28 a 5.9-30**). Al igual que en la campaña invernal, durante este período estos individuos estuvieron principalmente distribuidos en el sector de Punta Caldera (n = 18) y en la caleta de pescadores (n = 7). Además, durante esta campaña se identificó 5 ejemplares hacia el extremo norte de la Bahía Caldera (Punto 7).

Los lobos marinos presentan una extensa distribución, con poblaciones desde el Perú a Cabo de Hornos por el Pacífico y desde Uruguay a Tierra del Fuego por el Atlántico (Wozencraft 2005). Los individuos avistados corresponderían principalmente a machos adultos que ya no participarían en periodo reproductivo que se desarrolla en sitios costeros denominados loberas y/o paraderos. Allí la población permanece durante el periodo de parición y apareamiento entre enero y fines de febrero de cada año (Sielfeld, 1983; 1999). No se observó hembras preñadas ni popes de la temporada el área de estudio. Cabe destacar que durante la campaña estival fue posible observar una mayor abundancia y diversidad de clases etáreas del lobo común en el área de estudio. Es así que en los islotes del sector de Punta Caldera, se observó la clásica estructura social de esta especie: machos adultos, juveniles, hembras y crías de la temporada pasada

En cuanto al estado de conservación *O. flavescens* es considerada “Fuera de Peligro” para todo el país (CONAF 1987) y no tiene asignada categoría de conservación alguna por la CONAMA y la IUCN (solo referencial).

Respecto del delfín nariz de botella, éste se determinó en base a su aleta dorsal grande, de ángulo distal agudo y dirigido hacia atrás, cuyo borde posterior es fuertemente cóncavo. Además se apreció las partes superiores de la cabeza y el cuerpo de color negro o plumizo oscuro; siendo las formas del hemisferio sur normalmente impregnadas con tintes verdosos (Sielfeld 1983). Finalmente no se descarta la presencia de otras especies de cetáceos en la zona de estudio.

**Figura 5.9-120**  
**Número de Individuos de Lobo Marino Común (*O. flavescens*) por Cohorte y Sexo en Tres Puntos de la Bahía de Caldera. Diciembre de 2009.**







**Fotografía 5.9-28:** Lobo marino común; macho adulto (Caleta pescadores)



**Fotografía 5.9-29:** individuo juvenil (caleta de pescadores)



**Fotografía 5.9-30:** Flecha indica una cría de la temporada pasada

#### 5.9.3.8 Fauna íctica

El estudio de la fauna íctica en el sector de Punta Padrones estableció un total de 592 ejemplares pertenecientes tres especies y tres familias, las cuales se agrupan en el orden Perciformes. Destacándose por su abundancia numérica la especie *Cheilodactylus variegatus*, la cual aportó con un 52% de la abundancia total registrada en el sector Punta Padrones (Tabla 5.9-76).

**Tabla 5.9-76**  
**Abundancia Porcentual de Peces Registrados en Punta Padrones, Caldera 15 abril del 2010.**

Orden	Familia	Especie	Nombre común	%
Perciformes	Cheilodactylidae	<i>Cheilodactylus variegatus</i>	Bilagay	52,20
	Pomacentridae	<i>Chromis crusma</i>	Castañeta Común	35,98
	Pinguipedidae	<i>Pinguipes chilensis</i>	Rollizo	11,82
			Total	100

La abundancia numérica observada en el sector Punta Padrones (Tabla 5.9-77), mostró considerables variaciones entre los distintos transectos, fluctuando entre 0 ejemplares (Transectos II, VII y VIII) hasta un máximo de 392 y 111 peces (transecto III y IV, respectivamente).

**Tabla 5.9-77**  
**Abundancia Numérica por Transecto de la Ictiofauna Registrada en el Sector Punta Padrones, Caldera 15 de Abril del 2010.**

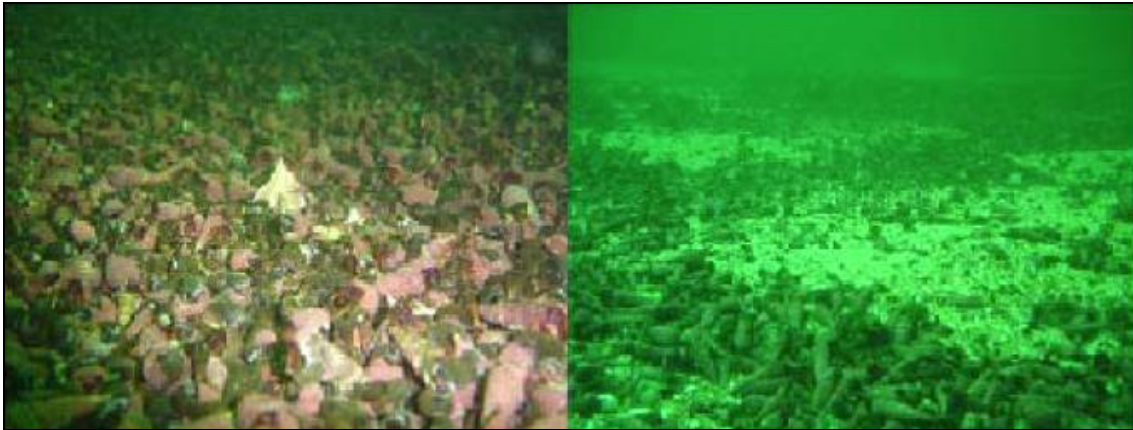
Especie	Nombre común	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Total	%
<i>Cheilodactylus variegatus</i>	Bilagay	10	0	191	98	0	10	0	0	309	52,20
<i>Chromis crusma</i>	Castañeta Común	12	0	174	13	0	14	0	0	213	35,98
<i>Pinguipes chilensis</i>	Rollizo	21	0	27	0	12	10	0	0	70	11,82
<b>Total</b>		<b>43</b>	<b>0</b>	<b>392</b>	<b>111</b>	<b>12</b>	<b>34</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>592</b>	<b>100</b>

El tipo de sustrato predominante en cada uno de los transectos evaluados en Punta Padrones se muestra en la **Tabla 5.9-65**. Se puede observar que los transectos en los cuales no se registró presencia de peces correspondieron a los transectos II, VII y VIII cuales estuvieron compuestos en un 100% de arena, arena-conchillas (**Figura 5.9-121a**). Por el contrario, los transectos que mostraron una mayor abundancia de peces correspondió a aquellos con un alto porcentaje de sustrato rocoso (**Figura 5.9-121b**), destacando los transectos III y IV, los cuales en conjunto representaron un 85% de la abundancia total del área (**Tabla 5.9-78**).

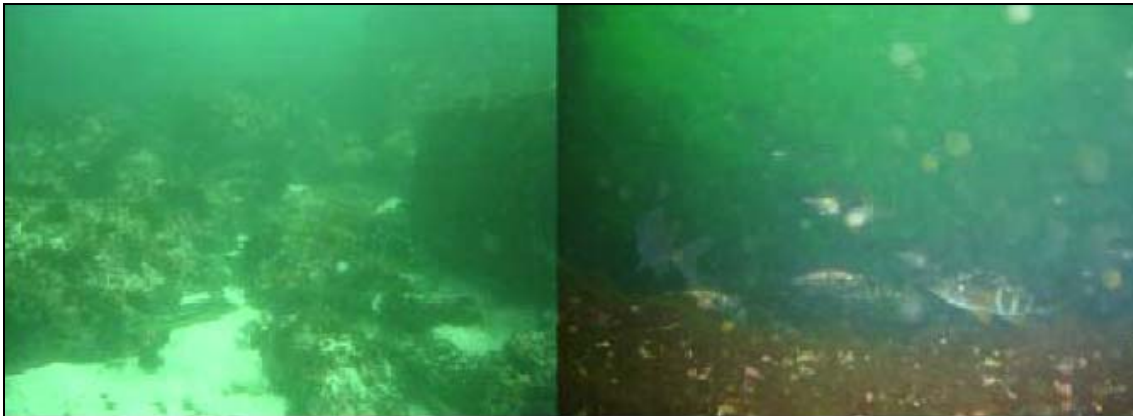
**Tabla 5.9-78**  
**Tipo de Sustrato Registrado y Abundancia Porcentual Registrada en cada uno de los Transectos Evaluados en Punta Padrones, Caldera 15 de Abril del 2010.**

Transectos	Sustrato (%)			Abundancia %
	Arena / Arena-conchillas	Roca	Total %	
I	70	30	100	7,26
II	100	0	100	0
III	20	80	100	66,22
IV	70	30	100	18,75
V	70	30	100	2,03
VI	60	40	100	5,74
VII	100	0	100	0
VIII	100	0	100	0





**Fotografía 5.9-31:** Sustrato arena-conchillas



**Fotografía 5.9-32:** Sustrato Roca.

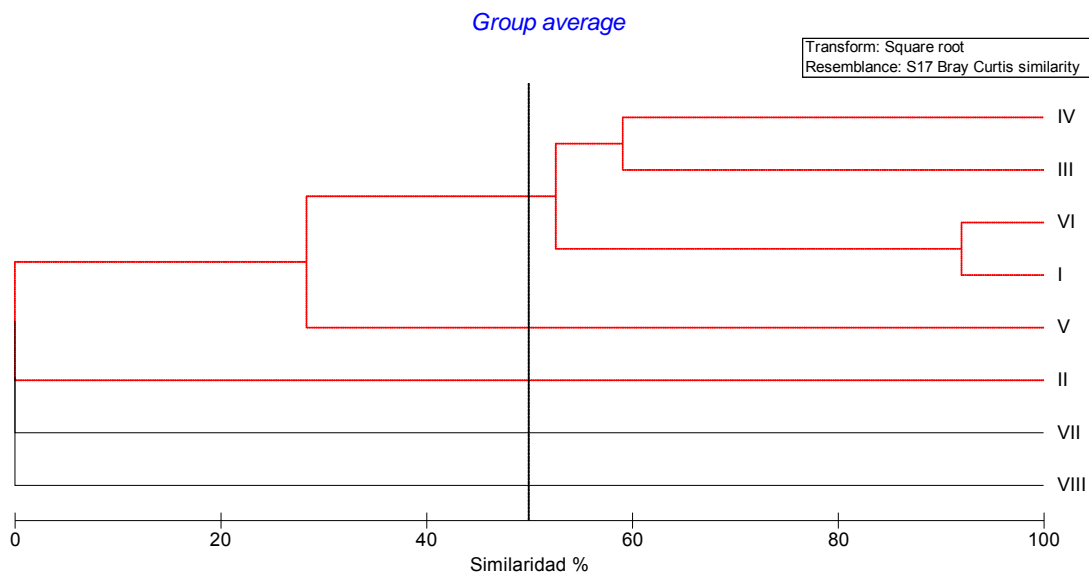
La riqueza de especies no presentó grandes diferencias entre transectos obteniendo un máximo de 3 especies en los transectos I y III y de 0 especies en los transectos II, VII y VIII. Las diferencias se observan en el menor nivel de diversidad obtenido en el transecto IV, con dominancia por parte de la especie *Cheilodactylus variegatus* (Bilagay). En cambio, en los demás transectos (I, III y VI) el índice de equidad indicó una buena relación entre el número de individuos y la riqueza específica (**Tabla 5.9-79**).

**Tabla 5.9-79**  
**Parámetros Comunitarios: Número Total de Especies (S); Número Individuos (N); Índice de Equidad de Pielou (J'); Índice de Diversidad de Shannon (H'); e Índice de Dominancia (D') por Transecto de Muestreo. Sector Punta Padrones, Caldera 15 de Abril del 2010.**

Transecto	Riqueza S	Nº Individuos N	Equidad J'	Diversidad H'	Dominancia D'
I	3	43	0,952	1,045	0,5317
II	0	0	****	0	****
III	3	392	0,815	0,8951	0,3349
IV	2	111	0,521	0,3611	0,2123
V	1	12	****	0	0
VI	3	34	0,988	1,085	0,5672
VII	0	0	****	0	****
VIII	0	0	****	0	****

En la **Figura 5.9-121** se presenta el dendrograma resultante de la clasificación numérica para el sector Punta Padrones, donde se incluyen los ocho transectos analizados en base a una matriz de similaridad generada con el índice de Bray Curtis, a partir de los datos de abundancia de las especies registradas y agrupadas a nivel de especie. El resultado de este análisis mostró la presencia de tres grupos, uno conformado por los transectos clasificados como en ausencia de fauna (Transectos II, VII y VIII), el segundo grupo estuvo formado con los transectos que presentaron un mayor número de especies (transectos IV, III, VI y I), y un tercer grupo estuvo asociado al transecto V que se encuentra con un número intermedio de especies.

**Figura 5.9-121**  
**Dendrograma Resultante del Análisis de Conglomerados Utilizando como Coeficiente de Asociación Comunitaria el Índice de Bray-Curtis. Caldera 15 de abril 2010.**



## 5.9.4 Conclusiones

### 5.9.4.1 Dinámica y Dispersión

El estudio de la dinámica costera lagrangiana realizada en tres sectores frente a Punta Padrones indica que todos los sectores evaluados durante los dos períodos estacionales presentaron un comportamiento similar en el estrato superficial, coincidiendo en presentar trayectorias dirigidas principalmente hacia el cuadrante E y NE, situación que se observa de manera independiente a la condición mareal. Cabe destacar que en ambas campañas, las experiencias durante la fase de marea vaciante se desarrollaron durante horas de la mañana y con menores intensidades de viento, mientras que en fase de marea llenante, las actividades se realizaron con vientos moderados procedentes del SW. Sin embargo, la dinámica registrada en ambos períodos no presentó diferencias significativas ni en la magnitudes ni en la trayectorias observadas. La proximidad en la ubicación de los tres sectores evaluados y la consistencia de las actividades de deriva establecería que las condiciones descritas tendrían características permanentes en el sector.

El estrato subsuperficial (8 m), por su parte, presentó flujos menores respecto de los registrados en superficie y, salvo alguna excepción, las trayectorias de este estrato también fueron similares a las observadas en el nivel superficial, con flujos dirigidos principalmente hacia los cuadrantes NE y E.

Las magnitudes de las corrientes descritas en este estudio establecen que durante el período invernal, el estrato superficial presentó un rango total de velocidades promedio entre 0,047 y 0,159 m s<sup>-1</sup>, mientras que a nivel subsuperficial (8 m) presentó velocidades de corrientes menores con un rango total de 0,012 y 0,058 m s<sup>-1</sup>. Durante el período estival se registraron velocidades promedio entre 0,072 y 0,273 m s<sup>-1</sup> para el estrato superficial y entre 0,030 y 0,048 m s<sup>-1</sup> para el estrato subsuperficial

El análisis de la correntometría euleriana corrobora lo observado a través del análisis lagrangiano, en términos de la intensidad y dirección de la corriente, estableciendo que la serie de corrientes en Punta Padrones presentó una importante componente hacia el noroeste en superficie. Hacia estratos más profundos se verifica una rotación gradual en sentido antireloj hasta establecer una dirección hacia el sureste en los estratos más profundos (20 m). El patrón espiral del perfil de la corriente media evidencia la intersección de las capas friccionales de superficie y fondo, en torno a los 11 m de profundidad.

Existe una buena coherencia vertical entre las series de tiempo de magnitud de la corriente; no obstante, los primeros metros de la columna se comportan como una capa parcialmente independiente del resto de la columna de agua.

El régimen mareal se puede clasificar como mixto con predominio de la marea semidiurna, donde el efecto mareal no es determinante en el transporte en la columna de agua.

#### 5.9.4.2 Mareas y Olas

En el sector de Caldera, el registro histórico *in situ* establece un régimen de marea de 0.4, lo cual indica un régimen de marea mixto semidiurno.

Los resultados del estudio de oleaje indican que incidencias de olas proveniente entre los 110° y 130° en los diferentes periodos modelados, afectan directamente el área de Bahía Caldera, mientras que la zona de Punta Caldera reciben la influencia indirecta del oleaje.

El oleaje proveniente de los 150° y 170° concentran la mayor parte de la energía en la zona abierta hacia el norte (Punta Caldera), las cuales recibirían el efecto directo de olas de alta y baja frecuencia. Una parte significativa del oleaje de baja frecuencia (6, 8 y 10 s), que entra en ambas bahías se desvía hacia el sector del puerto de Caldera, pero como los rayos divergen este sector sería afectado solamente por oleaje de menor altura y baja energía.

En el caso de 1m de altura de ola inicial, la altura de la ola de rompiente fluctúa entre 1,35 m para un tren de ondas con dirección de 110° y 0,68 m, para un tren de ondas con dirección de 170°.

En el caso de la altura inicial de 0,6 m, la altura de la ola de rompiente disminuyó, fluctuando entre 0,89 m, para trenes de onda con dirección de 110°, y 0,45 m con olas de dirección de 170°. Los coeficientes de refracción calculados para una ola inicial de 1 y 0,6 m, y para todos los períodos y dirección de olas analizados, fueron aproximadamente 1. Esto indica que el fenómeno de refracción, tiene poca influencia en la modificación de las alturas de la ola.

Las alturas promedio obtenidas, a través de este modelo Hindcastting, fluctuaron entre 0,204 m con un Fetch de 25 km y viento de 4 m/s, y 2,099 m con Fetch de 300 km y magnitud del viento de 12 m/s. La altura de ola significativa fue de 0,396 m para viento de magnitud de 4 m/s, y para todo el rango de Fetch utilizado. Para magnitudes de viento mayor, esta altura fue aumentando, llegando a un valor de 3,331 m para un Fetch de 300 km.

Para una misma área de Fetch de 25 km, el tiempo para que el oleaje alcance el estado de total desarrollo, varía entre 4,808 hr con un viento de 4 m/s, y 3,334 hr con un viento de 12 m/s. Al aumentar el área del Fetch a 300 km y un viento de 4 m/s el tiempo necesario para que el mar se desarrolle totalmente fue de 25, 203 hr.

#### 5.9.4.3 Calidad de Agua

Las aguas evaluadas al interior de Bahía Caldera (estaciones D-01 a D-05), tanto durante el período invernal 2009 como estival 2010, presentaron en general una buena calidad, con niveles que son comparables a la del sector marino sin influencia antropogénica directa (estación de referencia D-06).

No se verificó en ninguna de las campañas realizadas, alguna influencia del muelle de Punta Padrones sobre la distribución esperada o teórica de las variables evaluadas.

#### 5.9.4.4 *Calidad de Sedimentos*

Las estaciones D-01 a D-03 evidenciaron el predominio de arenas gruesas y medias, mientras con arenas finas a muy finas en el resto de los puntos de muestreo. Presencia de partículas <63µm fue baja, alcanzando aportes >10% solamente en la estación de referencia (D-06) durante el período invernal 2009 y en las estaciones D-04, D-05 y D-06 durante la campaña estival 2010.

Aunque los niveles de hidrocarburos totales fueron mayores durante la campaña estival 2010, en ambos períodos de monitoreo, las menores concentraciones se encontraron asociadas a la estación D-01 (cercañas muelle de Punta Padrones); en tanto que las mayores magnitudes estuvieron asociadas a la estación de referencia D-06.

El sector del muelle de Punta Padrones (D-01 a D-03), presentaron recurrentemente niveles comparativamente mayores de magnesio y su óxido, antimonio y vanadio, plomo, mientras que evidenciaron las menores concentraciones de aluminio, su óxido y cromo.

El sector de fondo de saco de la Bahía (D-05), presentó máximos de hierro, zinc, cobre, plomo, aluminio y sus respectivos óxidos, mientras que la estación de referencia D-06, presentó niveles que fueron similares a los rangos de variación que fueron identificados al interior de Bahía Caldera; a excepción de los bajos niveles de bismuto y antimonio y de los comparativamente mayores niveles de cromo, níquel, Ni+Co y cadmio.

La calidad toxicológica de los sedimentos submareales evaluados en general es buena, encontrándose algunos máximos puntuales que se encuentran por sobre el límite asociado al de efectos probables (PEL), el cual es considerado además como un valor de referencia para los sedimentos nacionales por la Directemar, estos son: cadmio en la estación D-06 (campaña estival 2010), cobre en la estación D-05 (campaña estival 2010) y cobre de ambas campañas de la estación D-02.

Si bien los máximos puntuales de cobre asociados a las estaciones D-05 y D-02 superaron el límite asociado al de efectos probables (PEL) para este metal, las magnitudes reportadas son sensiblemente inferiores a las máximas determinaciones de cobre que se han detectado en el sector intermareal de Chañaral, el cual estuvo en el pasado recibiendo desechos mineros en el sector costero.

Características sedimentarias que se asocian al de un ambiente con una tendencia a acumular elementos traza, se identificó en el sector de fondo de saco de la bahía (estación D-05, para los elementos traza aluminio y su óxido, hierro, zinc, cobre) y en las cercañas del muelle de Punta Padrones (estación D-02, para los elementos traza hierro, zinc, plomo y cobre)

#### 5.9.4.5 Comunidades Planctónicas

Durante el período invernal de 2009 la comunidad fitoplanctónica estuvo compuesta por un total de 44 especies agrupadas en cinco clases o grupos mayores, de los cuales Bacillariophyceae fue ampliamente dominador agrupando cerca del 85% de las especies identificadas y más del 99% de los individuos contabilizados. Durante la campaña estival se verificó una importante disminución en el total de especies identificadas, alcanzando las 22 especies, agrupadas en sólo dos Clases (Bacillariophyceae y Dinophyceae). Nuevamente el grupo mayormente representado correspondió a las Diatomeas (Clase Bacillariophyceae), con una contribución cercana al 91 % del total de especies identificadas.

En términos espaciales, durante el invierno las tres estaciones presentaron niveles de abundancia similares, mientras que en términos de riqueza de especies, la estación TP-02, ubicada hacia el sector de fondo de saco de la bahía, presentó el mayor número de especies (31). Durante el verano, se verificó un amplio dominio en abundancia asociado a la estación TP-02, la cual significó cerca del 80% de la abundancia total del período.

Durante el período invernal se verificaron altos valores de diversidad en las tres estaciones evaluadas, observándose que no existe una dominancia estadística significativa, donde la alta presencia de *Schroderella delicatula* estaría compensada por un alto número de especies identificadas. En la campaña de verano, se observó disminución de los índices de diversidad en todas las estaciones debido a las menores riquezas y abundancias registradas. Los valores más altos de diversidad, al igual que en la campaña invernal, se encuentran asociados a la estación TP-02.

En el invierno la comunidad zooplanctónica presentó 27 especies agrupadas en 13 taxa mayores, donde destacaron como grupos dominantes del período los estadios larvales zoea y nauplius, las cuales significaron cerca del 60% de la abundancia total del sector. Durante la campaña estival, presentó un total de 18 taxa, las cuales estuvieron agrupadas en 10 grupos mayores y donde las larvas zoea también fueron el taxón más abundante.

La distribución espacial invernal estableció que las estaciones prospectadas presentaron niveles de riqueza sobre el 50%, mientras que en términos de abundancia existió diferencias entre las tres estaciones, donde la estación ubicada en el sector oriental de la bahía (TP-03) presentó las mayores abundancias, mientras que durante el verano también se observan valores de riqueza por sobre el 50%, destacando la estación cercana al Puerto de Caldera (TP-02) como la que presentó los mayores niveles de riqueza (78%).

#### 5.9.4.6 Comunidades Intermareales

Comparativamente no se observan diferencias importantes entre el periodo invernal y estival en la comunidad intermareal de Bahía Caldera. Esto se refleja en que la comparación de cada sitio entre los dos periodos no muestra diferencias importantes en composición de especies. Algunas diferencias se pudieron observar en términos de abundancia de algunas algas, como *U. rigida* y *P. columbina*, las que disminuyeron su cobertura desde invierno a verano, principalmente en el nivel intermareal alto. Este tipo de variación no resulta extraña entre periodos de invierno y verano en el norte de Chile, ya que la intensidad de radiación solar aumenta durante el periodo estival, lo que dificulta el crecimiento y establecimiento algal.

Si bien, la riqueza de especies registrada en este estudio en ningún caso corresponde a la riqueza total de la comunidad, fue posible registrar aproximadamente un 60% de la riqueza teórica del ambiente (curvas de acumulación de especies). Además, ambas curvas de acumulación de especies entre el periodo de invierno y verano resultaron muy similares, lo que sustenta la mantención de la riqueza comunitaria entre periodos.

No se observaron diferencias significativas en términos de composición específica tanto entre invierno y verano, ni entre sitios de muestreo, lo que indica la homogeneidad tanto temporal como espacial-horizontal de las especies que componen la comunidad intermareal de Bahía Caldera. Sin embargo si se registraron diferencias verticales entre los niveles intermareales, lo que se debe a los patrones de zonación clásicos en estos ambiente intermareal en función de su composición de especies. En este punto destacaron especies típicas de cada nivel intermareal, como *J. cirratus* y *E. peruviana* en el nivel alto, *G. chilense* en el nivel medio y *L. nigrescens*, coralinas incrustantes y el placóforo *E. niger* en el nivel bajo. Esta diferenciación de niveles intermareales es prueba de que esta comunidad presenta los patrones normales ampliamente descritos para el norte de Chile. De igual forma, fue clara la distribución diferencial de grampones de *L. nigrescens* entre sectores con distinto grado de exposición al oleaje, donde solo en los sectores 2 y 3 hubo densidades de esta alga, y que fueron similares entre periodos de muestreo, lo que indica que estos sectores son de alta dinámica.

A pesar de registrar solo un punto aislado en donde hubo un parche significativo de *P. purpuratus* esta situación en ningún caso resulta extraña, ya que la distribución de este bivalvo en la costa de Chile es más bien discontinua y parchada, donde rara vez genera agrupaciones significativas que cubran grandes extensiones de la zona intermareal (ver Thiel et al., 2007). Nuestros resultados además indican que este parche se mantuvo entre los periodos de invierno y verano, lo que nos sugiere que esta agregación de *P. purpuratus* es estable en el tiempo, por lo que se podría esperar que sea un buen indicador de posibles alteraciones en las condiciones ambientales en Bahía Caldera.

#### 5.9.4.7 Comunidades Submareales

La comunidad bentónica de Bahía Caldera en el área adyacente a Punta Padrones presenta una alta riqueza específica con valores que fluctúan entre 79 especies en invierno y 107 en verano. Así mismo la densidad es bastante alta con valores entre superior a los 8900 y 12200 individuos m<sup>-2</sup>. Por otra parte, los índices univariados muestran una comunidad bastante diversa y con una bajísima dominancia.

Las curvas ABC como indicadores de estrés ambiental muestran una comunidad sana, lo que está respaldado por la alta riqueza de especies y abundancia observada. Esta situación es consistente con lo registrado dentro del PVA del Muelle, ejecutado por la Compañía Contractual Minera Candelaria.

#### 5.9.4.8 Mamíferos y Avifauna

Durante las dos campañas realizadas el punto de observación ubicado en el sector de Punta Caldera, en torno al faro y al islote Centinela Blanco, fue el que presentó las mayores abundancias.

En ambas campañas sólo fue posible identificar una especie de reptil en el área de estudio: *Microlophus atacamensis*, la cual se distribuye entre Antofagasta y Huasco; habitando el intermareal rocoso, siendo una especie abundante y frecuente en el área de estudio.

En cuanto a las aves, ninguna especie es endémica y todas presentan amplias distribuciones en Chile y algunas en países vecinos. Durante el período invernal se identificó 20 especies, mientras que en el verano se registraron 18, de las cuales la especie más representativa fue la gaviota dominicana (*Larus dominicanus*) estando presente en casi la totalidad de los puntos evaluados, en ambas campañas de muestreo.

En cuanto a los estados de conservación, siete especies pudieron ser clasificadas en alguna categoría, de acuerdo a los criterios utilizados, fluctuando desde Insuficientemente Conocida a Peligro de Extinción. De estas especies, el Pingüino de Humboldt es la más crítica ya que se encuentra Vulnerable para la III Región y en Peligro de Extinción para Chile por CONAF y como vulnerable por CONAMA y la IUCN.

Respecto de los mamíferos marinos, durante las campañas se identificó dos especies: el lobo marino común y el delfín nariz de botella, este último presente sólo en la campaña invernal. En el caso del lobo marino, especie de extensa distribución, con poblaciones desde el Perú a Cabo de Hornos por el Pacífico, los individuos avistados corresponderían principalmente a machos adultos que ya no participarían en período reproductivo que se desarrolla en sitios costeros denominados loberas y/o paraderos. Durante el período estival se verificó una mayor abundancia y diversidad de clases etáreas de esta especie principalmente en los islotes del sector Faro Punta Caldera, observándose la clásica estructura social de esta especie: machos adultos, juveniles, hembras y crías de la temporada pasada.

#### 5.9.4.9 Fauna Ictica

La composición de la ictiofauna submareal del litoral del sector Punta Padrones en Caldera, muestra que las especies registradas son típicas de esta zona, y que ya han sido señaladas por diversos autores, sin embargo no se observaron especies foráneas que potencialmente podrían aparecer, especialmente durante años con presencia de evento El Niño (Hoyos et al. 1985, Soto 1985, Vásquez et al 1998, Vargas et al. 1999a, b, Garate & Pacheco 2004).



Las tres especies encontradas durante este muestreo, corresponden todas al orden Perciformes, destacándose la especie *Cheilodactylus variegatus* (Bilagay) que aportó un 52% de la abundancia total del sector Punta Padrones, continuando en orden decreciente las especies *Chromis crusma* (Castañeta Común) y *Pinguipes chilensis* (rollizo) que aportaron un 36% y 12% respectivamente. El aporte de este grupo a la riqueza de este sector se puede deber a que el orden Perciformes incluye aproximadamente el 40% de todos los peces y comprende alrededor de 156 familias con más de 7000 especies en todo el mundo.

La diferencia de riqueza y abundancia de especies registrada en los distintos transectos evaluados de manera directa, se puede deber principalmente a el tipo de sustrato que compuso cada transecto, ya que las tres especies registradas corresponden a peces que principalmente se asocian a sustratos rocosos (Medina et al 2004).

La importancia económica de estas especies: *Cheilodactylus variegatus* (Bilagay) y *Pinguipes chilensis* (rollizo), radica en que son objetivo de la pesquería artesanal de manera ocasional y destinados al consumo fresco. Mientras que *Chromis crusma* (Castañeta Común) no presenta importancia comercial.

En cuanto al análisis de similitud entre los transectos evaluados en el sector Punta Padrones, El resultado de este análisis mostró que la presencia de tres grupos, uno conformado con los transectos con cero especies (Transectos II, VII y VIII), otro formado con los transectos que presentaron un mayor número de especies (transectos IV, III, VI y I) y un tercer grupo conformado solo por el transecto V que se encuentra con un número intermedio de especies.

### 5.9.5 Referencias Bibliográficas

AHUMADA R., RUDOLPH A., MADARIAGA S. & F. CARRASCO. (1989). Descripción de las condiciones oceanográficas de la bahía San Vicente y Antecedentes sobre efectos de la Contaminación. *Biología Pesquera* 18:37-52.

AHUMADA R., RUDOLPH A. & S. CONTRERAS. (2002). Contenido de metales (Ba, Cd, Co, Cr, Ni, Pb, Sr, V y Zn) en los sedimentos marinos de la región patagónica (52°-56°S), Chile. *Cienc. Tecnol. Mar.* 25(2): 77-86.

AHUMADA R. & J. VARGAS. (2005). Trace metals: inputs and accumulation in San Vicente Bay, Chile. *Environmental Monitoring and Assessment.* 100: 11-22.

AHUMADA R., GERLI L., SÁNCHEZ I. & E. FERNÁNDEZ. (2006). Metales trazas en aguas costeras y organismos de canales y fiordos australes. En: *Avances en el conocimiento oceanográfico de las aguas interiores chilenas. Puerto Montt a Cabo de Hornos*. N. Silva & S. Palma (Eds.). Comité Oceanográfico Nacional – Pontificia Universidad Católica de Valparaíso: 45-49.

ANDRADE S., MOFFETT J. & J. CORREA. 2006. Distribution of dissolved species and suspended particulate copper in an intertidal ecosystem affected by copper mine tailings in Northern Chile. *Marine Chemistry* 101 (2006) 203–212.

- ANSARI T. M., MARR I. L. & N. TARIQ. (2004). Heavy metals in marine pollution perspective – A mini review. *Journal of Applied Sciences*. 4 (1): 1-20.
- ARAYA B. & G MILLIE. (2000). *Guía de campo de las aves de Chile*. 8va edición. Ed. Universitaria - Santiago. 406p.
- ARCOS D., J. ORTIZ & A. URRUTIA. (1997a). Variabilidad estacional de las condiciones hidrográficas de Bahía Caldera, III Región - Chile. *Compañía Contractual Minera Candelaria, Bahía Caldera, III Región*. 67 p.
- ARCOS D., NÚÑEZ S., FARÍAS L., URRUTIA A. & J. ORTIZ. (1997b). Balance de masa en Punta Padrones, Bahía Caldera. *Compañía Contractual Minera Candelaria, Bahía Caldera, III Región*. 182 p.
- ARCOS D., NÚÑEZ S. & F. VARGAS. (1998). Balance de Masa en Punta Padrones, Bahía de Caldera-Chile. *Libro Resúmenes XVIII Congreso de Ciencias del Mar*. Iquique.
- ARCOS D., ORTIZ J., TORRES P. & A. TURNER. (2008). Programa de Monitoreo Marino Costero, *Compañía Contractual Minera Candelaria, Bahía Caldera, III Región*. Informe Final Anual 2008.
- BLOTT S. J. & P. KENNETH. (2001). GRADISTAT: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surf. Process. Landforms*. 26: 1237 - 1248.
- BRAY J. & J. CURTIS. (1957). An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs*. 27: 325-349.
- BREY T., RUMHOR H. & S. AANKAR. (1998). Energy content of macrobenthic invertebrates: general conversion factors from weight to energy. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 117:271-278.
- CAMUS P. A. & Y. N. ANDRADE. (1999). Diversidad de comunidades intermareales rocosas del norte de Chile: el supuesto del enriquecimiento por efecto de la surgencia costera. *Revista Chilena de Historia Natural* 72: 389-410.
- CAMUS P. A., ANDRADE Y. N. & B. BROITMAN. (1999). Effects of substratum topography on species diversity and abundance in Chilean rocky intertidal communities. *Revista Chilena de Historia Natural* 72: 377-388.
- CARRERA M., RODRÍGUEZ V., AHUMADA R. & P. VALENTA. (1993). Metales trazas en la columna de agua y sedimentos blandos en Bahía Concepción mediante voltametría de redisolución. *Rev. Biol. Mar, Valparaiso*. 28(1): 131-163.
- CASTILLA J. C. & I. BAHAMONDES. (1979). Observaciones conductuales y ecológicas sobre *Lutra felina* (Molina, 1782) (Carnivora, Mustelidae) en la zona central y centro-norte de Chile. *Archivos de Biología*.
- CERC (1984). *Shore protection Manual*, Co. Eng. Res. Center, U.S. Corp of Eng, Vicksburg.
- CCME. (1999). *Canadian Environmental Quality Guidelines*; Canadian Council of Ministers of the Environment: Winnipeg, MB, Canada.

CLARKE K. R. (1993). Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology* 18: 117-143.

CLARKE, K. R. & R. N. GORLEY (2001). PRIMER v5: User Manual/Tutorial. PRIMER-E: Plymouth. 91 pp.

CONAF. (1987). Libro Rojo de los Vertebrados Terrestres de Chile. (Glade A. editor). 65 p.

CONAMA. (2002). Instructivo presidencial para la dictación de normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y aguas marinas. Acuerdo N°210/02, Consejo Directivo de Conama. 18 p.

CONAMA: Decretos Supremos emitidos en el diario oficial. Procesos para la clasificación de especies según su estado de conservación. [http://www.conama.cl/clasificacionespecies/doc/BaseSpclasificadas\\_1\\_2\\_3\\_4\\_PROCESOS.xls](http://www.conama.cl/clasificacionespecies/doc/BaseSpclasificadas_1_2_3_4_PROCESOS.xls)

COUVE E. & C. VIDAL. (2003). Aves de Patagonia, Tierra del Fuego y Península Antártica. Islas Malvinas y Georgia del Sur. Editorial Fantástico Sur Birding Ltda.

CPPS/PNUMA. (1993). Estudio de impacto ambiental de la descarga submarina en le Puerto de Coloso. Informes y estudios del Programa de Mares regionales de PNUMA N° 153.

CREA. (2007). Informe Final Campaña Invernal 2007 Programa de Monitoreo Medio Ambiente Marino. Planta Celulosa Constitución. Centro Regional de Estudios Ambientales. Universidad Católica de la Santísima Concepción. 215 p.

CREA. (2009). Informe Final Campaña Invernal 2009. Programa de Monitoreo Medio Ambiente Marino. Planta Celulosa Constitución. Centro Regional de Estudios Ambientales. Universidad Católica de la Santísima Concepción. 283 p.

CUPUL MAGAÑA L. A., MÖSO C., SIERRA J., MARTÍ E., FERMAN J., RODILLA M., GONZÁLEZ DEL RÍO J. & A. SÁNCHEZ. (2006). Caracterización y patrones de distribución de los sedimentos superficiales en bahía Cullera, España. *Ciencias Marinas*, Vol 32, N°4, 617 - 629.

De GREGORI I., PINOCHET H., ARANCIBIA M. & A. VIDAL. (1996). Grain size effect on trace metals distribution in sediments from two coastal areas of Chile. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 57: 163-170.

DÍAZ O, ENCINA F, CHUECAS L, BECERRA J, CABELLO J, FIGUEROA A & F MUÑOZ. (2001). Influencia de variables estacionales, espaciales, biológicas y ambientales en la biacumulación de mercurio total y metilmercurio en *Tagelus dombeii*. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 36 (1): 15-29.

DIRECTEMAR. (2007). Calidad ambiental de los cuerpos marinos y continentales controlados en el marco del Programa de Observación del Ambiente Litoral (P.O.A.L.). Armada de Chile. Capítulo 1: 15 pp.

DONOSO-BARROS R. (1948). Alimentación de *Tropidurus peruvianus* (Lesson). *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural (Chile)* 24: 213-216.

DONOSO-BARROS R. (1966). Los reptiles de Chile. Ediciones de la Universidad de Chile, Santiago, Chile. 458 p.

EMERY W & R THOMSON. (1998). Data analysis methods in physical oceanography. Pergamon Press, 634 pp.

EGA. 2009. Programa de Monitoreo Marino Costero en Bahía Caldera. Informe Annual 2009. Compañía Contractual Minera Candelaria. 88 pp + Anexos

EPA. (1999). National recommended water quality criteria. Office Water. Office of Science and Technology (4304 T). Environmental Protection Agency. United States. 24 p.

FDEP. (1994). Florida Department of Environmental Protection. Florida coastal sediment contaminants atlas, A summary of coastal sediment quality surveys: Tallahassee, Florida, 111 p.

FOLK R. L. (1974). Petrology of sedimentary rocks. Hemphill Pub. Co. Austin, Texas. 182 p.

FOLK R. L. & W. C. WARD. (1957). Brazos River bar, a study in the significance of grain size parameters. Jour. Sed. Petrol., 27: 3-26.

FOREMAN, M.G.G. (1977). Manual for tidal heights analysis and prediction. Pacific Marine Science Report 77-10, Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay, Sidney, BC, 97pp.

FURNESS I. & H. Rainbow. (1990). Heavy metals in the environment. CRC Press, Inc. 256 p.

GAETE H., SILVA J., RIVEROS A., SOTO E., TRONCOSO L., BAY- SCHMITH E. & A. LARRAÍN. (1996). Efecto combinado y riesgo ecológico de las concentraciones de Zn, Cu y Cr presentes en el puerto de San Vicente, Chile. Gayana Oceanol 4(2): 99-107

GARATE A. & A. PACHECO. (2004). Cambios en la distribución y abundancia de la ictiofauna de aguas someras en San Bartolo (Lima, Perú) después del enso 1997-98. Ecología Aplicada, 3(1,2).

GARVINE R. (1977). Observations of the motion field of the Connecticut river plume. J. Geophys. Res., 82. 441-454.

GUILLARD R. R. L. (1978). Separating phytoplankton components. In: A Sournia (Ed.). Phytoplankton Manual. UNESCO, London. 328 pp.

HAMMER Ø., HARPER D. & P. D. RYAN. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. Palaeontologia Electronica 4:1-9.

INGRAM R. G. (1981). Characteristic of the Great Whale river plume. J. Geophys. Res., 86, 2017-2023.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). (1994a). Nch 411/3, Guía sobre la preservación y manejo de muestras. 34 p.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). (1994b). Nch 411/2, Guía sobre técnicas de muestreo. 15 p.

IUCN. (2009). Red List of Threatened Species. Version 2009.2. <[www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)>.

JARAMILLO A., P. BURKE & D. BEADLE. (2003). Birds of Chile. Cristopher Helm, A & C Black Publisher Ltd Soho Square, London. 240 pp.

JIMÉNEZ-VALVERDE A. & J. HORTAL. (2003). Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. Revista Ibérica de Aracnología 8: 151-161.

KAMPHUIS W (2000). Introduction to coastal engineering and management. Advanced Series on Ocean Engineering - Volume 16. World Scientific Publishing Co, Pte Ltd. USA, 437 pp.

KRUSKAL J. B. (1964). Non-metric multidimensional scaling: a numerical method. Psychometrika 29: 115-129.

LARIVIÈRE S. (1998). *Lontra felina*. Mammalian Species. 575. pp. 1-5. American Society of Mammalogists.

LEE M. R., CORREA J. A. & H. ZHANG. (2002). Effective metal concentrations in porewater and seawater labile metal concentrations associated with copper mine tailings disposal into the coastal waters of the Atacama region of northern Chile. Marine Pollution Bulletin. 44: 956-976.

LEONARDI M., VERA J. & E. TARIFENO. (2009). Diseases of the Chilean Flounder *Paralichthys adspersus* (Steindachner, 1867) as Biomarkers of Marine Coastal Pollution Near the Itata River (Chile). Part I: In Situ Macroscopic Lesions. Arch Environ Contam Toxicol (2009) 56:536–545.

LONG E., MaC DONALD D., SMITH S. & F. CALDER. (1995). Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. Environmental Management, Vol 19, N°1: 81 - 97.

LONG E., FIELD L. & D. MaC DONALD. (1998). Predicting toxicity in marine sediments with numerical sediment quality guidelines. Environmental Toxicology and Chemistry. Vol 17, N°4: 714-727.

MARTÍNEZ D. & G. GONZÁLEZ. (2004). Las aves de Chile: nueva guía de campo. Ediciones del Naturalista, Santiago. 620 p.

MASSEL S. (1996). Ocean surface waves: their physics and prediction. Advanced Series on Ocean Engineering, Volume 11. World Scientific Publishing Co, Pte Ltd. USA, 491 pp.

MEDINA M., ARAYA M. & C. VEGA. 2004. Alimentación y relaciones tróficas de peces costeros de la zona norte de Chile. Invest. Mar. 32(1): 33-47.

MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA REPÚBLICA. (2008). Decreto N° 144. Establece normas de calidad primaria para la protección de las aguas marinas y estuarinas aptas para actividades de recreación con contacto directo. República de Chile. 8 p.

- MÜLLER G. (1979). Schwermetalle in den sedimenten des Rheins-Veränderungen SEIT 1971. Umschau, 79: 778-783.
- MUÑOZ-PEDREROS A. & J. L. YÁÑEZ. (2000). Mamíferos de Chile. Ediciones CEA, Valdivia Chile. 464 p.
- OJEDA F. P. & B. SANTELICES. (1984). Ecological dominance of *Lessonia nigrescens* (Phaeophyta) in central Chile. Marine Ecology Progress Series 19. 83-91.
- OLIVARES, J., LANCELLOTTI D. A., STOTZ B. W. & M. BERRÍOS. (2000) Caracterización Sedimentológica de Bahía Caldera y su Relación con la Macrofauna. XX Jornadas de Ciencias del Mar, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción.
- ORTIZ J. (1997). Caracterización hidrográfica estacional de Bahía Caldera (27°01'S) III Región, Chile. Seminario de Título. Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción, 74 p.
- ORTIZ J. C. (1980). Revisión taxonómica del género *Tropidurus* en Chile. (1). I Reunión Iberoamericana Zool. Vertebrados, La Rábida.
- OTAIZA R. D. (1986). Patrones de distribución vertical de chitones y efecto de pastoreo de *Chiton granosus* en roqueríos intermareales de Chile central. En: Santelices B (ed). Usos y funciones ecológicas de las algas marinas bentónicas: 173-190. Monografías Biológicas 4. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago.
- OTAIZA R. D. & B. SANTELICES. (1985). Vertical distribution of chitons (Mollusca: Polyplacophora) in the rocky intertidal zone of central Chile. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 86: 229-240.
- PAWLOWICZ, R., B. BEARDSLEY, S. LENTZ. (2002). Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T\_TIDE. Computers & Geosciences, vol: 28 929–937.
- PEQUEÑO G. (1989). Peces de Chile. Lista sistemática revisada y comentada. Rev. Biología Marina Valparaíso, 24(2):1-132.
- PEQUEÑO G. (1997). Peces de Chile. Lista sistemática revisada y comentada: *Addendum*. Rev. Biología Marina Valparaíso, 32(2):77-94
- PEQUEÑO G. (2000). Delimitaciones y relaciones biogeográficas de los peces del Pacifico Suroriental. Estud. Oceanol. 19: 53 – 76.
- PHILIPS D. J. & D. A. SEGAR. (1986). Use of bioindicators in monitoring conservative contaminants: programme design imperatives. Marine Pollution Bulletin, 17: 10-17.
- PIELOU E. C. (1966). The measurement of diversity in different types of biological collections. Journal of Theoretical Biology, 13:131-144.
- RAMÍREZ M., MASSOLO S., FRANCHE R. & J. CORREA. (2005). Metal speciation and environmental impact on sandy beaches due to El Salvador copper mine, Chile. Marine Pollution Bulletin. 50: 62-72.

RATKEVICIUS N., CORREA J. A. & A. MOENNE. (2003). Copper accumulation, synthesis of ascorbate and activation of ascorbate peroxidase in *Enteromorpha compressa* (L.) Grev. (Chlorophyta) from heavy metal-enriched environments in northern Chile. *Plant, Cell and Environment* 26: 1599- 1608.

RICCIARDI A. & E. BOURGET. (1998). Weight to weight conversion factors for marine benthic macroinvertebrates. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 163: 245-251.

RIVERA J. & A. MUJICA. (2004). Distribución y abundancia relativa de larvas de crustáceos decápodos entre Caldera (27°00'S; 70°52'W) e Isla de Pascua (27°00'S; 109°40'W), *Invest. Mar.*, Valparaíso. 32 (2): 37-58.

RUDOLPH A., FRANCO C. & J. BECERRA. (1998). Evaluación de material orgánica e hidrocarburos aromáticos policíclicos en sedimentos superficiales, Bahía Concepción. *Bol. Soc. Chil. Quím.* Diciembre, 2002, Vol 47. N°4: 403-410. ISSN 0366-1644.

RUMHOR H., BREY T. & S. ANKAR. (1987). A compilation of biometric conversion factors for benthic invertebrates of the Baltic sea. *Baltic Marine Biologists Publications* 9: 1-56.

SALAMANCA M. (1988). 210Pb and trace metal distribution in Concepción Bay sediments, Chile, M.Sc. thesis, MSRC, State University of New York, USA.

SALAMANCA M., JARA B. & T. RODRÍGUEZ. (2004). Niveles de Cu, Pb y Zn en agua y *Perumytilus purpuratus* en Bahía San Jorge, Norte de Chile. *Gayana.* 68 (1): 53-62.

SANHUEZA A. G., NAVARRETE A. H., OPAZO L. F. & P. A. Camus. (2008). Caracterización trófica del placóforo intermareal *Enoplochiton niger* en el norte de Chile: variación ambiental y patrones dietarios a nivel local y regional. *Revista Chilena de Historia Natural* 81: 533-546.

SANTELICES B., VÁSQUEZ J. & I. MENESES. (1986). Patrones de distribución y dietas de un gremio de moluscos herbívoros en hábitats intermareales expuestos de Chile central. En: Santelices B (ed) Usos y funciones ecológicas de las algas marinas bentónicas: 147-175. *Monografías Biológicas* 4. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago.

SANTELICES B. (1989). *Algas marinas de Chile*. Ediciones Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile: 65-93.

SANTELICES B. (1990). Patterns of reproduction, dispersal and recruitment in seaweeds. *Oceanography & Marine Biology. Annual. Review.* Margaret Barnes, Editor, Aberdeen University Press, Aberdeen 28: 177-276.

SHEPARD R. N. (1962). The analysis of proximities: Multidimensional scaling with an unknown distances function. *Psychometrika* 27: 125-139.

SIELFELD W. (1983). *Mamíferos Marinos de Chile*. Ediciones de la Universidad de Chile.

SIELFELD W. (1999). Estado del conocimiento sobre conservación y preservación de *Otaria flavescens* (Shaw, 1800) y *Arctocephalus australis* (Zimmermann, 1783) en las costas de Chile. *Estud. oceanol.* 18: 81-96.

SIELFELD W. & J. C. Castilla. (1999). Estado de conservación y conocimiento de las nutrias en Chile. *Estudios Oceanológicos.* 18: 69-79.

SILVA N., HARO J. & R. PREGO. (2009). Metals background and enrichment in the Chiloé interior sea sediments (Chile). Is there any segregation between fjords, channels and sounds?. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 82: 469-479.

SHOA. (2005). Instrucciones Oceanográficas N° 1: Especificaciones técnicas para mediciones y análisis oceanográficos. 3° Edición. Servicio Hidrográfico. Armada de Chile. 22 p.

SMITH S L & D. MacDONALD. (1992). The development and use of Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life. Prepared for the Interdepartmental Working Group on MEQ Guidelines and the Canadian Council of Ministers for the Environment Task Group on Water Quality Guidelines, Ottawa, Ontario.

SOTO E., LARRAÍN A. & E. BAY- SCHMITH. (2000). Sensivity of *Ampelisca araucana* juveniles (Crustacea: Amphipoda) to organic and inorganic toxicants in test of acute toxicity. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 64:574-578.

STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WASTEWATER. (1992). 18<sup>th</sup> Edition. Edited by A. E. Greenberg, L. S. Clescerl and A. D. Eaton.

STAUBER J. L., ANDRADE S., RAMÍREZ M., ADAMS M. & J. A. CORREA. (2005). Copper bioavailability in a coastal environment of Northern Chile: Comparison of bioassay and analytical speciation approaches. *Marine Pollution Bulletin*. 50: 1363-1372.

TAYLOR A. C. (1977). The respiratory responses of *Carcinus maenas* to changes in environmental salinity. *J. Exp. Mar Bio. Ecol* 29: 197-210

TAYLOR S. R. & MCLENNAN S. M. (1985). The continental crust: Its composition and evolution. Blackwell, Oxford: 312 p

THIEL M., MACAYA E., ACUÑA E., ARNTZ W., BASTÍAS H., BROKORDT K., CAMUS P. A., CASTILLA J. C., CASTRO L. R., CORTÉS M., DUMONT C. P., ESCRIBANO R., FERNÁNDEZ M., LANCELLOTTI D. A., GAJARDO J. A., GAYMER C. F., GOMEZ I., GONZÁLEZ A. E., GONZALEZ H. E., HAYE P. A., ILLANES J. E., IRIARTE J. L., LUNA-JORQUERA G., LUXORO C., MANRIQUEZ P.H., MARÍN V., MUÑOZ P., NAVARRETE S. A., PÉREZ E., POULIN E., SELLANES J., SEPÚLVEDA A., STOTZ W., TALA F., THOMAS A., VARGAS C. A., VÁSQUEZ J. A. & A. VEGA. (2007). The Humboldt Current System of northern and central Chile: oceanographic processes, ecological interactions and socioeconomic feedback. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 45: 195-345.

TRIBOVILLARD N., ALGEO T., LYONS T. & A. RIBOULLEAU. (2006). Trace metals as paleoredox and paleoproductivity proxies: an update. *Chem. Geol.*, 232: 12-32.

UNESCO. (1981a). The practical salinity scale 1978 and the international Equation of State of Seawater 1980. Unesco Tech. Papers in Mar Sci. N°36.

UNESCO. (1981b). Background paper and supporting data on the practical salinity scale 1978. Unesco Tech. Papers in Mar Sci. N°37.



US EPA. (2002). Short-Term Methods for estimating the Chronic Toxicity of effluents and Receiving waters to marine and Estuarine organism. Office of Research and development. Cincinnati. Ohio 45268. pp 417.

VALDÉS J., VARGAS G., SIFEDDINE A., ORTLIEB L. & M. GUIÑEZ. (2005). Distribution and enrichment evaluation of heavy metals in Mejillones Bay (23°S), Northern Chile: Geochemical and statistical approach. *Marine Pollution Bulletin*. 50: 1558-1568.

VALDÉS J. & A. SIFEDDINE. (2009). Composición elemental y contenido de metales en sedimentos marinos de la Bahía Mejillones del Sur, Chile: evaluación ambiental de la zona costera. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 37(2): 131-141.

WARWICK R. M. (1986). A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities. *Marine Biology* 92: 557-562.

WENTWORTH C. K. (1922). A scale grade and class-term for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30(5):337-392.

WESTON D. P. (1990). Quantitative examination of macrobenthic community changes along an organic enrichment gradient. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 61:233-244.

WOZENCRAF C. (2005). Order Carnivora. In: *Mammals Species of the World. A taxonomic reference*. Wilson D.E., & D.M. Reeder edit. Third edition, volume I and II. The Johns Hopkins University Press.