

**ESTUDIO DE LA MAREA EN EL BORDE DE LA BARRERA LARSEN, MAR DE WEDDELL NOROCCIDENTAL**

**Jorge O. Speroni<sup>1</sup>, Walter C. Dragani<sup>1</sup>, Enrique E. D'Onofrio<sup>1</sup>, Michael R. Drabble<sup>2</sup> y Carlos A. Mazio<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Departamento Oceanografía, Servicio de Hidrografía Naval, Av. Montes de Oca 2124, 1271 Buenos Aires, Argentina.

<sup>2</sup>Departamento Ciencias del Mar, Instituto Antártico Argentino, Cerrito 1248, 1010 Buenos Aires, Argentina.

**RESUMEN**

El objetivo de este trabajo es el estudio de la marea en el borde de la barrera Larsen (latitud: 64° 54' 14" S, longitud: 60° 02' 36" W) en el mar de Weddell noroccidental, Antártida. Los niveles del mar se registraron con un sensor de presión y mediante nivelación geométrica (mira y nivel). El coeficiente de determinación de los niveles del mar obtenidos con ambas técnicas es de 0.96. Se presentan las constantes armónicas de las componentes de marea más energéticas. Se realiza un análisis comparativo entre las constantes calculadas y las que surgen de modelos mareológicos globales y se discute la propagación de la marea en el mar de Weddell noroccidental. Se tipificó el régimen de marea cuantitativamente mediante el coeficiente de Courtier resultando un régimen mixto preponderantemente semidiurno. Los niveles del mar registrados en esta zona de la Antártida son inéditos debido a que el sitio de mediciones fue inaccesible durante muchos años.

**Palabras claves:** mareas - Mar de Weddell - constantes astronómicas.

**ABSTRACT**

The objective of this paper is the study of the tide at the Larsen iceshelf boundary (latitude: 64° 54' 14" S, longitude: 60° 02' 36" W), Northwestern Weddell Sea, Antarctica. Sea levels were recorded using pressure sensor and geometric leveling (sight and level). The determination coefficient from sea level gathered with both methods is 0.96. Harmonic constants of the most energetic tidal constituents are presented. A comparative analysis between calculated harmonic constants and those obtained from tidal global models is made and tidal propagation in the Northwestern Weddell Sea is discussed. Tidal regimen is quantified by means of the Courtier coefficient and a preponderantly semidiurnal mixed tide is obtained. Sea levels gathered in this zone of the Antarctica are completely new because the place where the measurements were made was inaccessible for a large period of years.

**Keywords:** Tides – Weddell sea – Astronomical constants.

**1. INTRODUCCION**

La información de campo oceanográfica de los mares antárticos es relativamente escasa comparativamente al resto del Océano Mundial. La principal causa se debe a que ellos permanecen cubiertos por hielo durante gran parte del año dificultando en gran medida su exploración. No obstante, existen diversos grupos de trabajo que desde hace algunos años vienen desarrollando tareas de campo e investigaciones programadas. Con respecto al mar de Weddell, cabe destacar las tareas de campo y las investiga-

### *Estudio de la marea en el borde de la barrera Larsen, mar de Weddell ...*

ciones realizadas por el Ice Station Weddell Group (ISW Group, 1993) quienes realizaron valiosos aportes relativos al conocimiento del agua de fondo. Si bien la información relativa a las corrientes del mar de Weddell es también escasa, existen algunos programas de observaciones directas. Por ejemplo, Fodvik *et al.* (1990) describieron las corrientes basándose en los registros obtenidos en seis estaciones de mediciones ubicadas al sur del Weddell, cerca del talud de la plataforma continental al norte de la Depresión Filchner. Woodgate *et al.* (1998) describieron las corrientes obtenidas mediante cinco fondeos de correntógrafos en la zona de la barrera de hielo Filchner-Ronne. Por otro lado, Viehoff y Li (1995) describieron la circulación del mar de Weddell inferida a través de la deriva de témpanos mediante seguimiento satelital. La modelación matemática y la asimilación de datos altimétricos satelitales permiten determinar las características globales de la circulación de las aguas y la propagación de las principales ondas de marea. Entre los trabajos más recientes pueden citarse el de Khanta (1995) y Le Provost *et al.* (1998); de la misma manera, puede citarse un modelo global semi-inverso de alta resolución de Egbert *et al.* (1994).

Las observaciones directas del nivel del mar realizadas en el mar de Weddell son muy escasas y, en consecuencia, no es posible obtener conclusiones confiables relativas a variaciones estacionales o interanuales del nivel del mar. Además, la ausencia de algún sistema de nivelación geodésico en el área hace que las observaciones de marea no pueden ser correlacionadas con un plano horizontal conocido (Admiralty Charts and Publications, 1997).

La marea en el mar de Weddell, así como en el resto del Océano Antártico, tiene un régimen predominantemente diurno, caracterizado por una pleamar y una bajamar diaria. Sin embargo, en el extremo Norte de la Península Antártica la marea presenta un régimen mixto. El rango de la marea varía desde 0.6 m en el sector Norte del mar de Weddell hasta más de 3.0 m en el sector occidental (NIMA, 1977).

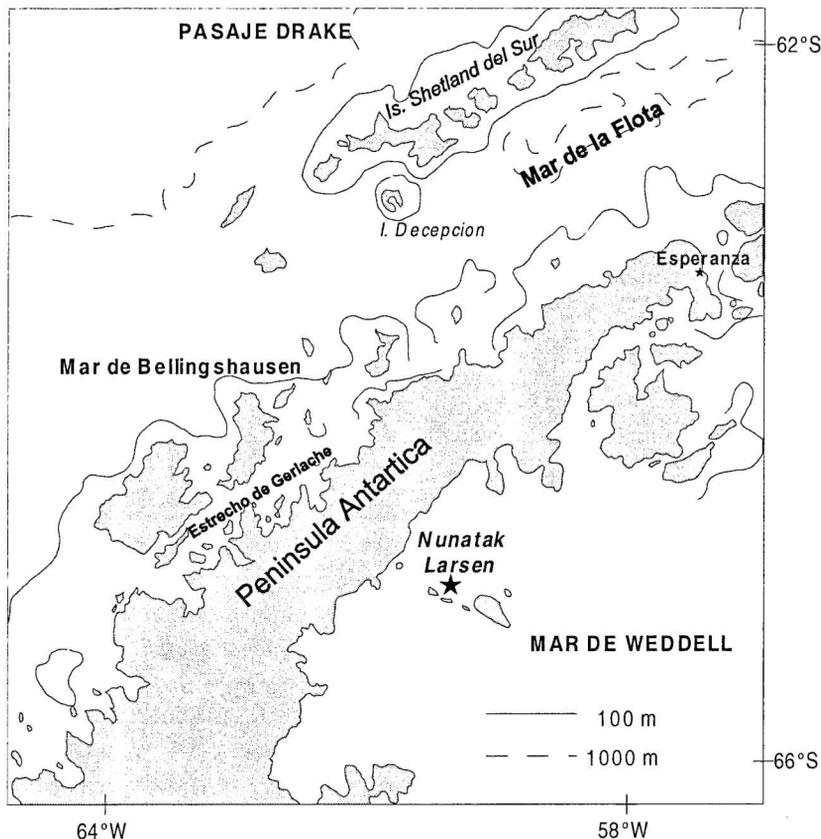
Algunas zonas costeras sólo son accesibles durante la estación estival, cerrándose parcial o totalmente durante el invierno. Otras regiones permanecen cerradas por el hielo durante largos períodos (años o décadas) y se abren excepcionalmente durante algún verano. Tal es el caso de las aguas aledañas al nunatak Larsen, al Noroeste del Mar de Weddell (figura 1), en donde está emplazada la Base Matienzo perteneciente a la Fuerza Aérea Argentina. Dicha región estuvo cerrada por el hielo de la barrera Larsen durante 18 años (1978-1996). Sin embargo, en el verano 1996-1997 fue posible la realización de algunas tareas oceanográficas debido al derrumbe parcial de la barrera de hielo.

Desde el año 1990 el Instituto Antártico Argentino (IAA) y el Servicio de Hidrografía Naval (SHN) realizan actividades oceanográficas en la zona Antártica dentro del marco del Proyecto DinOceAntar (Dinámica Oceánica Antártica, IAA-SHN, Mazio *et al.*, 1999). El objetivo del proyecto es el estudio de la dinámica de corrientes y mareas en las aguas costeras de la Península Antártica. Dentro del mismo se propuso realizar durante la Campaña Antártica de Verano (CAV) 96/97 mediciones de marea en la región noroccidental del Mar de Weddell. Con este propósito se seleccionó el nunatak Larsen, al sur de la isla Marambio, que actualmente forma parte del extremo Norte de la barrera. El nunatak Larsen, tiene aproximadamente 1.5 km de longitud y un

ancho aproximado de 0.7 km. El mismo forma parte del grupo de nunataks Foca; es de origen volcánico y presenta un contorno formado por hielo de barrera cubierto por polvo del mismo origen (SHN, 1984). Los niveles del mar registrados en esta zona de la Antártida son inéditos, debido a que el acceso al sitio de mediciones estuvo imposibilitado durante muchos años.

En la sección 2 se describe sucintamente la metodología utilizada para la adquisición de los datos. En la sección 3, se presentan los lineamientos básicos empleados para el procesamiento de las mediciones de campo. En la sección 4, se presentan consideraciones relativas al régimen de marea del sector noroccidental del mar de Weddell y un análisis comparativo entre los resultados obtenidos y aquellos que surgen de modelos globales de marea. Finalmente, en la sección 5 se presentan las conclusiones de este trabajo.

Además de aportar al conocimiento mareológico de los mares antárticos se espera que los datos registrados y las constantes armónicas calculadas contribuyan al entendimiento de la dinámica de las aguas costeras del mar de Weddell noroccidental.



**Figura 1.** Mapa de ubicación. La estrella marca la localización del sitio de mediciones.

## **2. MEDICIONES REALIZADAS**

El objetivo fundamental de las tareas de campo fue la medición de la marea en la costa del nunatak Larsen (latitud: 64° 54' 14" S, longitud: 60° 02' 36" W). Se instaló un registrador de marea sumergible con sensor de presión, marca Aanderaa modelo WRL-7, en una profundidad de 14 metros, ubicado a 4 metros del fondo a una distancia de 40 m de la costa. El equipo fue programado con un intervalo de muestreo de 30 minutos. Luego de 25 días (1202 datos) de haberse instalado el mareógrafo, el fondeo debió recuperarse ya que las aguas costeras comenzaron a cubrirse casi totalmente con pequeños témpanos los cuales se compactaron y consolidaron cerrando completamente el lugar del fondeo. Paralelamente a la adquisición de datos con el instrumento Aanderaa, el nivel del mar se midió con un arreglo de reglas (mareómetro). Luego de cinco días las reglas fueron derribadas por la constante colisión de pequeños témpanos y bandejones y por la aparición esporádica de ondas de más de 2 metros de altura (originadas, probablemente, por el derrumbe de algún frente de la barrera Larsen).

Finalmente, el relevamiento de los niveles instantáneos del mar se completó utilizando mira y nivel, midiendo la altura desde el pelo de agua hasta un punto fijo ubicado cerca de la costa, el cual fue vinculado altimétricamente mediante nivelación geométrica con respecto a otro punto fijo de la base Matienzo. Esta metodología se practicó hasta cubrir 31 días de observaciones con intervalo de muestreo 30 minutos (1489 datos). En la figura 2 se presentan comparativamente los niveles del mar obtenidos con el mareógrafo Aanderaa y con mira y nivel, a los cuales se le restó el nivel medio correspondiente a cada una de las series de datos. En la misma se observa el muy buen ajuste lineal alcanzado, con un coeficiente de determinación de 0.96. Se observa que el 99.7 % de los datos se agrupan entre  $\pm 0.25$  m de la recta que da el mejor ajuste. Las diferencias apreciadas entre los niveles del mar obtenidos con ambos métodos pueden atribuirse principalmente al efecto del oleaje, el cual afecta significativamente la lectura de la regla o de la mira.

En la figura 3 se presentan los niveles del mar observados en función del tiempo. En la misma puede apreciarse que la marea presenta un régimen mixto, con una amplitud máxima en sicigias que alcanza 4.18 m.

## **3. PROCESAMIENTO**

Zetler y Lennon (1967) comprobaron que las constantes armónicas para un dado conjunto de componentes son estimadas con mayor exactitud si se utiliza el método de cuadrados mínimos en lugar del enfoque clásico (p.e., Schureman, 1958). La ventaja radica en que con cuadrados mínimos no se requiere que los datos cubran un período sinódico o cuasisinódico. Dado que las mediciones de marea disponibles en Matienzo cubren un período de un mes, en el presente trabajo se utilizó el método de mínimos cuadrados (Horn, 1960) empleándose la técnica de procesamiento clásica de Foreman (1977, 1978).

La cantidad de datos medidos en Matienzo (un mes de alturas de nivel cada media hora) no permitió una estimación adecuada de las componentes de largo período (Mm,

Mf y Msf), que, por otra parte, suelen estar severamente contaminadas por variaciones aleatorias de origen meteorológico.

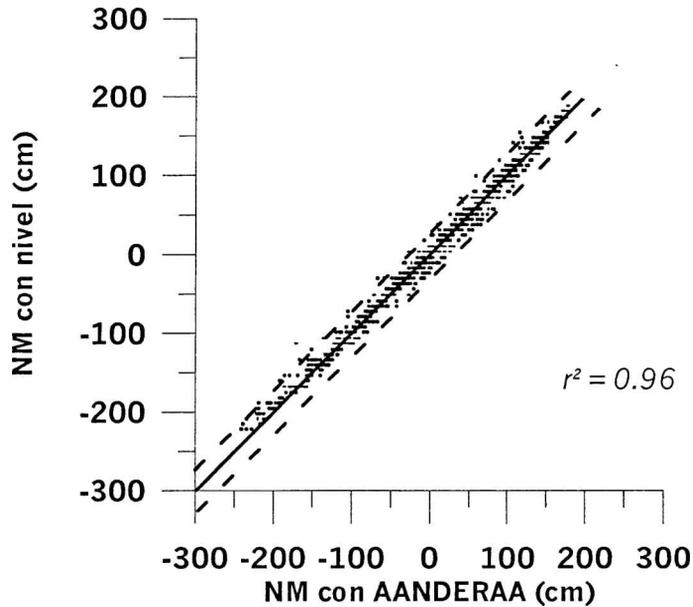


Figura 2. Comparación entre niveles del mar (NM) medidos con sensor de presión Aanderaa WLR-7 y con mira y nivel.

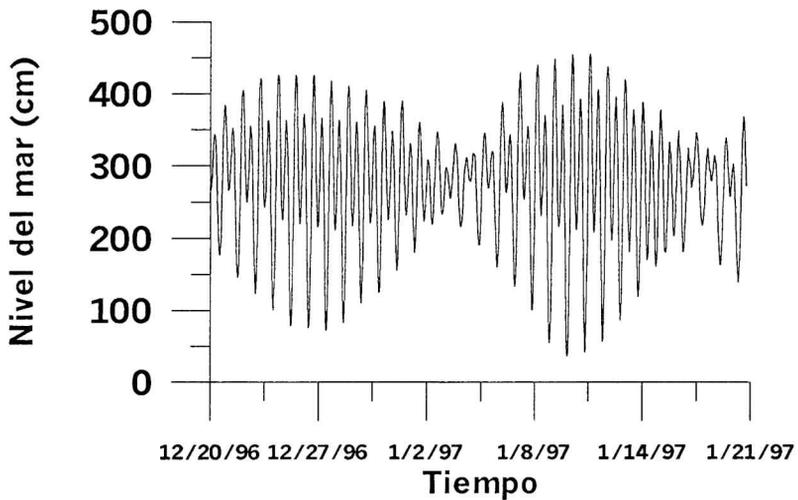


Figura 3. Niveles del mar medidos con mira y nivel en Matienzo entre el 19/12/96 21:00 hs. y el 19/1/97 21:00 hs. (huso = +3).

## *Estudio de la marea en el borde de la barrera Larsen, mar de Weddell ...*

Algunas componentes armónicas de marea están agrupadas, presentando velocidades angulares similares, tal que no pueden discriminarse convenientemente cuando la longitud de la serie de datos es corta. En cada grupo de componentes la más importante es contaminada por otras de menor energía y, por lo tanto, estas últimas deben ser desechadas. Pero, si en un sitio cercano se conocen las constantes armónicas de las componentes de marea retenidas y desechadas en el análisis de la serie corta, para esta última, las constantes importantes pueden ser descontaminadas y las desechadas inferidas (Godin, 1972; Mazio y Vara, 1981).

En el presente trabajo, para la descontaminación e inferencia de componentes, se utilizaron los resultados de un análisis armónico correspondiente a Bahía Esperanza (figura 1) también realizado por el método de cuadrados mínimos, utilizando una serie de 13127 alturas horarias de marea (1.5 años de mediciones, aproximadamente). Antes de efectuar el análisis armónico, se observó que la componente  $O_1$  estaba contaminada por las componentes  $\rho_1$  y la  $MP_1$ ; la  $K_1$  por la  $P_1$  y la  $\pi_1$ ; la  $N_2$  por la  $\mu_2$ , la  $\nu_2$  y la  $OP_2$ ; la  $M_2$  por la  $\nu_2$ , la  $OP_2$ , la  $MKS_2$  y la  $\lambda_2$ ; la  $S_2$  por la  $K_2$ , la  $L_2$ , la  $T_2$  y la  $R_2$ ; y la  $M_4$  por la  $SN_4$ .

Como se disponen de series temporales de alturas de marea obtenidas con el sensor de presión y observadas con reglas y nivelación al pelo de agua se realizaron dos análisis armónicos independientes. En la Tabla 1 se muestran las constantes obtenidas de los análisis armónicos correspondientes a ambas series de datos. En la misma se presentan las amplitudes y épocas de las principales componentes diurnas ( $O_1$ ,  $K_1$  y  $P_1$ ), semidiurnas ( $N_2$ ,  $M_2$ ,  $S_2$  y  $K_2$ ) y cuartodiurna ( $M_4$ ), siendo  $G$  la época referida a Greenwich (Schureman, 1958). Considerando la gran similitud entre las constantes correspondientes a ambos conjuntos de resultados, se adoptaron como constantes definitivas las que resultan de su promedio aritmético.

## 4. DISCUSION

En la Tabla 1 puede observarse que si bien las componentes semidiurnas  $M_2$  y  $S_2$  tienen las mayores amplitudes, le siguen en importancia la  $K_1$  y la  $O_1$ , manifestando así el carácter mixto preponderantemente semidiurno de la marea en el sector noroccidentales del mar de Weddell. Para tipificar cuantitativamente el régimen de la marea se utiliza el coeficiente de Courtier (Defant, 1961) el cual expresa una relación entre las amplitudes de las ondas semidiurnas y diurnas más importantes. El coeficiente de Courtier  $F$  se define como:

$$F = (H_{K_1} + H_{O_1}) / (H_{M_2} + H_{S_2}) \quad (1)$$

y, para el caso particular de Matienzo, con los valores presentados en la Tabla 1, tiene un valor  $F = 0.6$ , indicando así que la marea es mixta preponderantemente semidiurna. Con las componentes armónicas obtenidas se realizó una predicción de 19 años (ciclo de Metón, repetición de las fases de la Luna) obteniéndose que la bajamar astronómica más baja (LAT) es de 2.49 m por debajo del nivel medio y que la mayor pleamar astronómica (HAT), referida al LAT, es de 4.24 m.

**TABLA 1:** Constantes armónicas (H: amplitud en cm. y G: época referida a Greenwich en grados) obtenidas de datos medidos con sensor de presión Aanderaa, con mira y nivel y valores promediados

<b>Constante s armónicas</b>	<b>Regla y nivel</b>		<b>Sensor de presión</b>		<b>Promedio</b>	
	<b>H (cm)</b>	<b>G (°)</b>	<b>H (cm)</b>	<b>G (°)</b>	<b>H (cm)</b>	<b>G (°)</b>
<b>O<sub>1</sub></b>	<b>39.7</b>	<b>7.7</b>	<b>40.5</b>	<b>9.1</b>	<b>40.1</b>	<b>8.4</b>
<b>K<sub>1</sub></b>	<b>43.0</b>	<b>30.2</b>	<b>42.0</b>	<b>34.6</b>	<b>42.5</b>	<b>32.4</b>
<b>P<sub>1</sub></b>	<b>13.9</b>	<b>26.9</b>	<b>13.6</b>	<b>31.3</b>	<b>13.7</b>	<b>29.1</b>
<b>N<sub>2</sub></b>	<b>14.0</b>	<b>257.0</b>	<b>11.2</b>	<b>242.6</b>	<b>12.6</b>	<b>249.8</b>
<b>M<sub>2</sub></b>	<b>82.8</b>	<b>261.4</b>	<b>82.1</b>	<b>260.3</b>	<b>82.5</b>	<b>260.8</b>
<b>S<sub>2</sub></b>	<b>54.1</b>	<b>299.0</b>	<b>56.7</b>	<b>298.6</b>	<b>55.4</b>	<b>298.8</b>
<b>K<sub>2</sub></b>	<b>15.7</b>	<b>295.7</b>	<b>16.4</b>	<b>295.3</b>	<b>16.0</b>	<b>295.5</b>
<b>M<sub>4</sub></b>	<b>0.7</b>	<b>305.8</b>	<b>0.6</b>	<b>300.1</b>	<b>0.7</b>	<b>303.0</b>

En la figura 4.a se presentan las diferencias (residuos) entre los niveles del mar observados y los predichos con las constantes armónicas obtenidas. En la misma se observa que los residuos fluctúan alrededor de cero, apreciándose diferencias máximas (por exceso o defecto) que alcanzan los 30 cm. Estas diferencias podrían deberse a (i) que las constantes corresponden a una serie de datos relativamente corta o (ii) al efecto del viento sobre la superficie del mar, el cual podría producir perturbaciones significativas, especialmente considerando que durante el período de mediciones se registraron ráfagas con intensidades superiores a 80 km/h. En la figura 4.b se presentan a los espectros de potencia correspondiente al residuo mostrado en la figura 4.a y, superpuesto, al de la marea astronómica (espectro discreto, mostrándose la potencia asociada a las componentes armónicas presentadas en la Tabla 1). Tanto en la banda diurna como en la semidiurna se observan dos picos de potencia cuyo valor energético es de dos órdenes de magnitud menores que la energía asociada a las componentes de marea. En la banda cuarto diurna la potencia asociada a la marea es de un orden de magnitud mayor a la del residuo. En consecuencia, de la figura 4.b se concluye que si bien el residuo incluye en parte el efecto de la marea astronómica, este último es de apenas el 1% de la marea resuelta por análisis armónico. Este vestigio de marea en el residuo presentado en la figura 4.a se debe a que las constantes armónicas surgen de un registro de 30 días de duración y, consecuentemente, ellas no pueden ser determinadas con un grado de exactitud mayor. En baja frecuencia (menores a  $0.02 \text{ h}^{-1}$ , con períodos superiores a los dos días) el espectro presenta una acumulación energética debido fundamentalmente al efecto meteorológico de los sistemas atmosféricos que actúan sobre el mar de Weddell, generando intensos vientos provenientes del sur los cuales producen el apilamiento de agua sobre la costa nororiental de la península debido al efecto de Coriolis.

Los valores de las constantes armónicas de la Tabla 1 se compararon con los resultantes de un clásico modelo global de marea (Schwiderski, 1979, 1981a, 1981b, 1981c). En las cartas de cotidales e isoamplitudes presentadas por dicho autor pueden observarse que los valores correspondientes a las constantes  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $O_1$  y  $K_1$ , son

*Estudio de la marea en el borde de la barrera Larsen, mar de Weddell ...*

subestimadas en aproximadamente un 20%, alcanzando 30% en el caso de la  $S_2$ . Estas diferencias son razonables y pueden ser explicadas considerando que el modelo de Schwiderski es global y los datos observados corresponden a un sitio costero de un mar antártico, región en la cual este modelo global está validado con muy escasa información. En cambio, comparando las constantes obtenidas con las resultantes del modelo semi-inverso de alta resolución de Egbert *et al.* (1994) se observa una mejor correspondencia entre ambas. Por ejemplo, para el caso de la componente semidiurna lunar principal, Egbert da una amplitud comprendida entre 0.80-0.90 m y una fase de  $270^\circ$ , los cuales son muy cercanos a los valores dados en el presente trabajo (0.82 m y  $260.8^\circ$ , respectivamente).

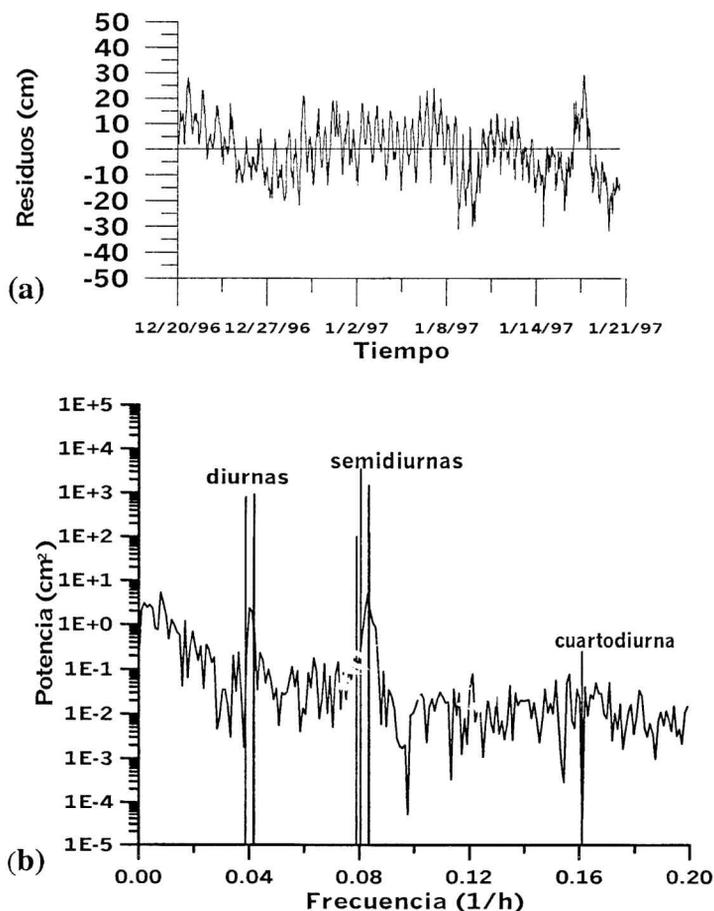


Figura 4. (a) Diferencias (residuos) entre niveles del mar observados y predichos con las constantes armónicas obtenidas y (b) espectro de potencia del residuo presentado en (a), las líneas corresponden a la potencia asociada a las componentes de marea presentadas en la Tabla 1.

Observando las cartas de cotidales presentadas por Schwiderski (1979), Kantha (1995) y Leprovost *et al.* (1998) se aprecia que en la región noroccidental del mar de Weddell la onda de marea correspondiente a la componente más importante ( $M_2$ ) se propaga con una dirección predominante sur-norte. Por otro lado, dicho sentido de propagación también es apreciado si se comparan la fase de la  $M_2$  correspondiente a Bahía Esperanza ( $274.5^\circ$ , Legal *et al.*, 1995) con la obtenida para Matienzo (Tabla 1). De dicha comparación puede deducirse que para el caso de la componente  $M_2$  la onda se manifiesta primeramente en Matienzo y demora 28 minutos en llegar hasta Bahía Esperanza, indicando así la predominante propagación de la marea hacia el norte.

Por otro lado, en la actualidad existen algunos proyectos de investigación que estudian particularmente la circulación de las aguas en el mar de Weddell. Robertson *et al.* (1998) estudiaron la circulación asociada a la marea con un modelo de alta resolución y Palma y Matano (2000) están desarrollando un estudio integral destinado a clarificar los procesos físicos que controlan el intercambio de masas de agua entre el mar de Weddell y la circulación general del océano. Por otro lado, Padman y Kottmeier (2000) describieron la variabilidad espacial en alta frecuencia mediante el seguimiento satelital de témpanos.

## 5. CONCLUSIONES

El análisis de los datos de niveles del mar presentado en este trabajo constituye una de las primeras tareas de campo emprendidas para lograr un mejor entendimiento de la dinámica de la marea en el sector noroccidental de mar de Weddell. Cabe mencionar que la posibilidad de medir marea en la zona costera del mar de Weddell queda circunscripta a los sectores que presenten una playa o litoral accesible para las tareas de campo. Estos sitios se ubican casi exclusivamente en el extremo nororiental de la península Antártica. Por otro lado, los fondeos de instrumental en mar abierto del Weddell son relativamente escasos debido a la alta probabilidad de pérdida de equipos asociada a la constante deriva de témpanos provenientes de desprendimientos de hielo de la barrera.

En este trabajo el nivel del mar se midió simultáneamente con un sensor de presión (Aanderaa WLR-7) y con mira y nivel, registrando la altura desde el pelo de agua hasta un punto fijo ubicado cerca de la costa, el cual fue vinculado altimétricamente con respecto a otro punto fijo en la base Matienzo mediante nivelación geométrica. Ambos registros de datos resultaron altamente correlacionados entre sí, presentando un coeficiente de determinación de 0.96. Las diferencias apreciadas entre los niveles del mar obtenidos con ambos métodos pueden atribuirse principalmente al efecto del oleaje el cual afecta significativamente la lectura de la regla y mira.

Las constantes armónicas obtenidas muestran que la  $M_2$  y  $S_2$  tienen las mayores amplitudes siguiéndoles en importancia la  $K_1$  y la  $O_1$ . Para tipificar cuantitativamente el régimen de la marea se calculó el coeficiente de Courtier obteniéndose un valor de 0.6, indicando que la marea es mixta preponderantemente semidiurna.

Los residuos entre los niveles del mar observados y los predichos con las constantes armónicas fluctúan alrededor de cero, apreciándose diferencias máximas

(por exceso o defecto) que alcanzan los 30 cm. El espectro de potencia de dicho residuo muestra picos de potencia, tanto en la banda diurna como en la semidiurna, cuyo valor energético es de dos órdenes de magnitud menores que la energía asociada a las componentes de marea. En la banda cuarto diurna la potencia asociada a la marea es de un orden de magnitud mayor a la del residuo. En consecuencia, se concluye que si bien el residuo tiene parte del efecto de la marea astronómica, este último es de apenas el 1% de la marea resuelta por análisis armónico. En baja frecuencia (menores a  $0.02 \text{ h}^{-1}$ , con períodos superiores a los dos días) el espectro presenta una acumulación energética producida fundamentalmente por el efecto de los sistemas atmosféricos que actúan sobre el mar de Weddell, generando frecuentemente intensos vientos provenientes del sur, los cuales producen el apilamiento del agua sobre la costa nororiental de la península debido al efecto de Coriolis.

La comparación entre las constantes armónicas obtenidas de los niveles observados y las resultantes del modelo semi-inverso de alta resolución de Egbert *et al.* (1994) muestran amplitudes y fases similares para el caso de la componente semidiurna lunar principal.

Observando las cartas de cotidales presentadas por Schwiderski (1979), Kantha (1995) y Leprovost *et al.* (1998) se aprecia que en el Mar de Weddell noroccidental la componente de marea más importante ( $M_2$ ) se propaga con una dirección predominante sur-norte. Dicho sentido de propagación también es apreciado comparando las fases de la  $M_2$  correspondiente a bahía Esperanza ( $274.5^\circ$ , Legal *et al.*, 1995) con la obtenida para Matienzo (Tabla 1). De dicha comparación puede deducirse que para el caso de la componente  $M_2$  la onda se manifiesta primeramente en Matienzo y demora 28 minutos en llegar hasta Bahía Esperanza.

**Agradecimientos:** Los autores desean dejar aquí expresado su reconocimiento a la Fuerza Aérea Argentina y, particularmente, a todo el personal de la Base Matienzo por el constante y permanente apoyo brindado para la ejecución de las tareas de campo. Finalmente, los autores agradecen los valiosos aportes sugeridos por los dos revisores anónimos.

## REFERENCIAS

- Admiralty Charts and Publications, 1997. Admiralty Sailing Directions, Antarctic Pilots, The United Kingdom Hydrographic Office, 5th ed, Taunton, England, pp. 262.
- Defant, A., 1961. Physical Oceanography., vol. II, Pergamon Press, Oxford, pp. 598.
- Egbert, G.D., Bennett, A.F. y Foreman, M.G.G., 1994. TOPEX/POSEIDON tides estimated using a global inverse model. Journal of Geophysical Research, 99 (C12), 24821-24852.
- Fodvik, A., Middleton, J.H. y Foster, T.D., 1990. The tides of the southern Weddell Sea. Deep-Sea Research, part. A, 37, 1345-1362.
- Foreman, M.G.G., 1977. Manual for tidal heights analysis and prediction. Pac. Mar. Sci. Rep. 77-10, 97 pp., Inst. of Ocean Sci., Patricia Bay, Sidney, B. C., Canadá.
- Foreman, M.G.G., 1978. Manual for tidal heights analysis and prediction. Pac. Mar. Sci. Rep. 78-6, 70 pp., Inst. of Ocean Sci., Patricia Bay, Sidney, B. C., Canadá.
- Godin, G., 1972. The analysis of tides, Liverpool University Press, London, pp. 264.

- Horn, W., 1960. Some recent approaches to tidal problem, *Int. Hydrog. Rev.*, 37(2), 65-84.
- Legal, N., D'Onofrio, E. E. y Mazio, C. A., 1995. Dinámica de marea y corriente en el sector oeste de la Península Antártica. *Serv. Hidr. Naval, Dpto. Oceanog., Inf. Téc. nro. 92/95*, pp.58.
- ISW Group, 1993. Weddell Sea exploration from ice station. *EOS, Transaction of the American Geophysical Union*, 74 (11), 121 & 124-126.
- Kantha, L.H., 1995. Barotropic tides in the global oceans from a nonlinear tidal model assimilating altimetric tides. 1. Model description and results. *Journal of Geophysical Research*, 100 (C12), 25283-25308.
- Le Provost, C., Lyard, F., Molines, J.M., Genco, M.L. y Rabilloud, F., 1998. A hydrodynamic ocean tide model improved by assimilating a satellite altimeter-derived data set. *Journal of Geophysical Research*, 103 (C3), 5513-5529.
- Mazio, C. A. y Vara, C. D., 1981. Inferencia y descontaminación de componentes de marea, *Serv. Hidr. Naval, Dpto. Oceanog., Inf. Téc. no publ.*, 11.
- Mazio, C. A., Dragani, W. C., Speroni, J. O. y Caviglia, F. J., 1999. Proyecto DINOCEANTAR, modelo de circulación en el estrecho de Gerlache, Antártida, *Boletín del Servicio de Hidrografía Naval*, H-106, año 3, nro. 1, 29-38.
- NIMA, 1977. *Sailing Directions (Planning Guide and Enroute)*, Antarctica. National Imagery and Mapping Agency, 3rd. ed., Bethesda, Maryland, USA, pp. 177.
- Padman, L. y Kottmeier, C., 2000. High-frequency ice motion and divergence in the Weddell Sea. *Journal of Geophysical Research*, 105 (C2), 3379-3400.
- Palma, E. D. y Matano, R. P., 2000. Un modelo numérico de circulación oceánica en el mar de Weddell, *Jornadas Nacionales de Ciencias del Mar*, 11-15 de septiembre, Puerto Madryn, Argentina, pp. 135.
- Robertson, R. A., Padman, A. L. y Egbert G. D., 1998. Tides in the Weddell Sea, in *Ocean, ice and atmosphere: interactions at the antarctic continental margin*, *Antarct. Res. Ser.*, vol. 75, editado por S. S. Jacobs y R. F. Weiss, pp. 341-369, AGU, Washington, D. C.
- Schureman, P., 1958. *Manual of harmonic analysis and prediction of tides*, Special Publ. N° 98, U.S. Government Printing Office, Washington., pp. 317.
- Schwiderski, E. W., 1979. *Global ocean tides, Part II: the semidiurnal principal lunar tide (M2)*, atlas of tidal charts and maps. NSWC TR 79-414. Dahlgren: Naval Surface Weapons Center.
- Schwiderski, E. W., 1981a. *Global ocean tides, Part III: the semidiurnal principal solar tide (S2)*, atlas of tidal charts and maps. NSWC TR 81-122. Dahlgren: Naval Surface Weapons Center.
- Schwiderski, E. W., 1981b. *Global ocean tides, Part IV: the diurnal luni-solar declination tide (K1)*, atlas of tidal charts and maps. NSWC TR 81-142. Dahlgren: Naval Surface Weapons Center.
- Schwiderski, E. W., 1981c. *Global ocean tides, Part V: the diurnal principal lunar tide (O1)*, atlas of tidal charts and maps. NSWC TR 79-144. Dahlgren: Naval Surface Weapons Center.
- SHN, 1984. *Derrotero Argentino, Parte V, Antártida y Archipiélagos subantárticos Argentinos*, 5ta ed., Pub. H-205, Servicio de Hidrografía Naval, Armada Argentina, pp. 479.
- Viehoff, T. y Li, A., 1995. Ice observations and estimation of submarine ridges in the western Weddell Sea, *Int. J. Remote Sens.*, 16, 3391-3408.
- Woodgate, R. A., Schröder, M. y Østherus, S., 1998. Moorings from the Filchner Trough and the Ronne Ice Shelf Front: Preliminary results, *Filchner-Ronne Ice Shelf Program, Rep. 12*, pp. 85-90, Alfred Wegener Inst., Bremerhaven, Germany.
- Zetler, B. D. y Lennon, G. W., 1967. Some comparative tests of tidal analytical processes, *Int. Hydrog. Rev.*, 44 (1), 139-147.