

MASAS DE AGUA EN LA PLATAFORMA CONTINENTAL*

por

RAÚL A. GUERRERO Y ALBERTO R. PIOLA

RESUMEN

En este trabajo se presenta una síntesis del conocimiento actual de las masas de agua de la plataforma continental argentina. Estas masas de agua adquieren sus características físico-químicas en función de aquellas que aportan las corrientes de contorno y de las modificaciones causadas por la descarga continental, y por el intercambio de agua y energía con la atmósfera. A partir de la distribución media de salinidad en superficie y las características en el espacio *temperatura-salinidad*, se describen tres masas de agua en la plataforma continental: aguas costeras, aguas de la plataforma media o central y aguas de la plataforma externa o talud. Se identifican las principales fuentes de aguas continentales a lo largo del litoral, como así también las zonas de formación de agua de alta salinidad. La estratificación vertical de la columna de agua, dominada por la temperatura, se analiza a lo largo del ciclo anual. La evolución anual de la estratificación resulta predominantemente forzada por transferencia de calor entre el océano y la atmósfera. Finalmente se presentan los diversos frentes oceánicos del Mar Argentino.

ABSTRACT

Water masses in the continental shelf. The current knowledge on the argentine continental shelf water masses is summarized in this paper. These water masses are characterized as a function of water types fed by the boundary currents and the modifications due to continental runoff, and water and energy exchange with the atmosphere. Based on sea surface salinity distributions and the *temperature-salinity* characteristics, three water masses are described: coastal waters, mid-shelf waters and slope waters. The main freshwater sources found along the coast are identified, as well as high salinity formation areas. The vertical stratification, mainly controlled by temperature, is analyzed along the annual cycle. The stratification cycle is mainly driven by the heat exchange between the atmosphere and the ocean. Finally the oceanic fronts in the Argentine Sea are cited.

Palabras claves: Oceanografía física. Plataforma continental. Masas de agua. Océano Atlántico Sudoeste (Argentina).

Key words: Physical oceanography. Continental shelf. Water masses. Southwest Atlantic Ocean (Argentina).

* Contribución INIDEP N° 998

INTRODUCCIÓN

El concepto de *masa de agua*, definido como una curva en un diagrama *temperatura-salinidad*, fue introducido originalmente por Helland-Hansen en 1916. El autor demuestra en su trabajo que cada región del océano puede ser caracterizada por una curva en este diagrama y cambios en la misma son consecuencia de la intrusión de otra masa de agua, originada en una región diferente. Antes y después de Helland-Hansen los oceanógrafos han utilizado mapas de temperatura, salinidad y otras propiedades como métodos válidos para describir el océano. Un excelente ejemplo de este método se remonta al Atlas de Wüst y Defant (1936), quienes incluyen ya una interpretación de las masas de agua del Atlántico Sur.

Las masas de agua que se observan sobre la plataforma continental argentina deben analizarse en función de las características de las aguas que ingresan desde áreas adyacentes, de las modificaciones debidas al intercambio de propiedades y energía con la atmósfera, y de la descarga continental. Los contornos de la plataforma continental están definidos por la línea de costa, las corrientes de borde a lo largo del talud continental y la interfase mar-atmósfera.

Las aguas subantárticas del extremo norte del Pasaje de Drake y de la Corriente de Malvinas son la principal fuente de las aguas de plataforma. El intercambio de calor y masa con la atmósfera produce alteraciones de las propiedades físicas en la capa de superficie y el viento transfiere la energía necesaria para mezclar la columna de agua transportando verticalmente las propiedades del estrato de superficie. Otros procesos físicos tales como la difusión y la mezcla lateral alteran también las características de las masas de agua. Asimismo las corrientes y sus fluctuaciones modifican los balances de sal y calor que se utilizan para definir dichas características. Las corrientes de mareas y la influencia del fondo son responsables de la formación y mantenimiento de áreas costeras verticalmente homogéneas cuya temperatura y salinidad son diferentes a las del resto de la plataforma. Las variaciones estacionales del flujo de calor entre el mar y la atmósfera y el esfuerzo del viento sobre la superficie regulan las características de la capa de mezcla.

El balance de agua dulce de la plataforma es debido a la descarga continental de los ríos, de los canales fueguinos y del Estrecho de Magallanes, y al balance entre evaporación y precipitación. La variación de los caudales de las principales cuencas de drenaje continental afecta localmente la salinidad y, en menor medida, la temperatura. En orden de importancia según el caudal, las principales cuencas hídricas son la del Río de la Plata, y las de los ríos Negro, Santa Cruz y Chubut (Consejo Federal de Inversiones, 1981).

El conocimiento actual de las masas de aguas de la plataforma continental argentina se sintetiza a partir del análisis de distribuciones en el espacio *temperatura/salinidad*, del campo medio horizontal de salinidad en la superficie y el aporte de contribuciones científicas de varias décadas de exploraciones oceanográficas en el Mar Argentino. En este análisis se han considerado las condiciones de contorno impuestas por la morfología de la plataforma, los forzantes meteorológicos y climáticos, las corrientes de borde y las descargas continentales.

DISTRIBUCIÓN DE SALINIDAD EN SUPERFICIE

Dado que las variaciones estacionales de salinidad son pequeñas, se utiliza la distribución horizontal de salinidad (S) en la superficie para describir las masas de agua y sus alteraciones. En función de esta distribución se destacan las áreas de baja salinidad en la desembocadura del Río de la Plata y del Estrecho de Magallanes. En contraste, el golfo San Matías y El Rincón (Prov. de Buenos Aires) presentan máximos relativos de salinidad.

Entre 1966 y 1969 el proyecto Pesquería conformó el primer estudio oceanográfico integral de la plataforma continental, incluyendo el estudio de sus características físico-químicas y biológicas. Los datos obtenidos permitieron analizar la distribución de las propiedades físico-químicas y revelaron el origen subantártico de las aguas que la ocupan. Las campañas Pesquería I a X (1968-71) abarcaron el sector norte de la plataforma, incluyendo, en algunos casos, el área nor-patagónica. Estas observaciones permitieron detectar el área de influencia de la cuenca del Río de la

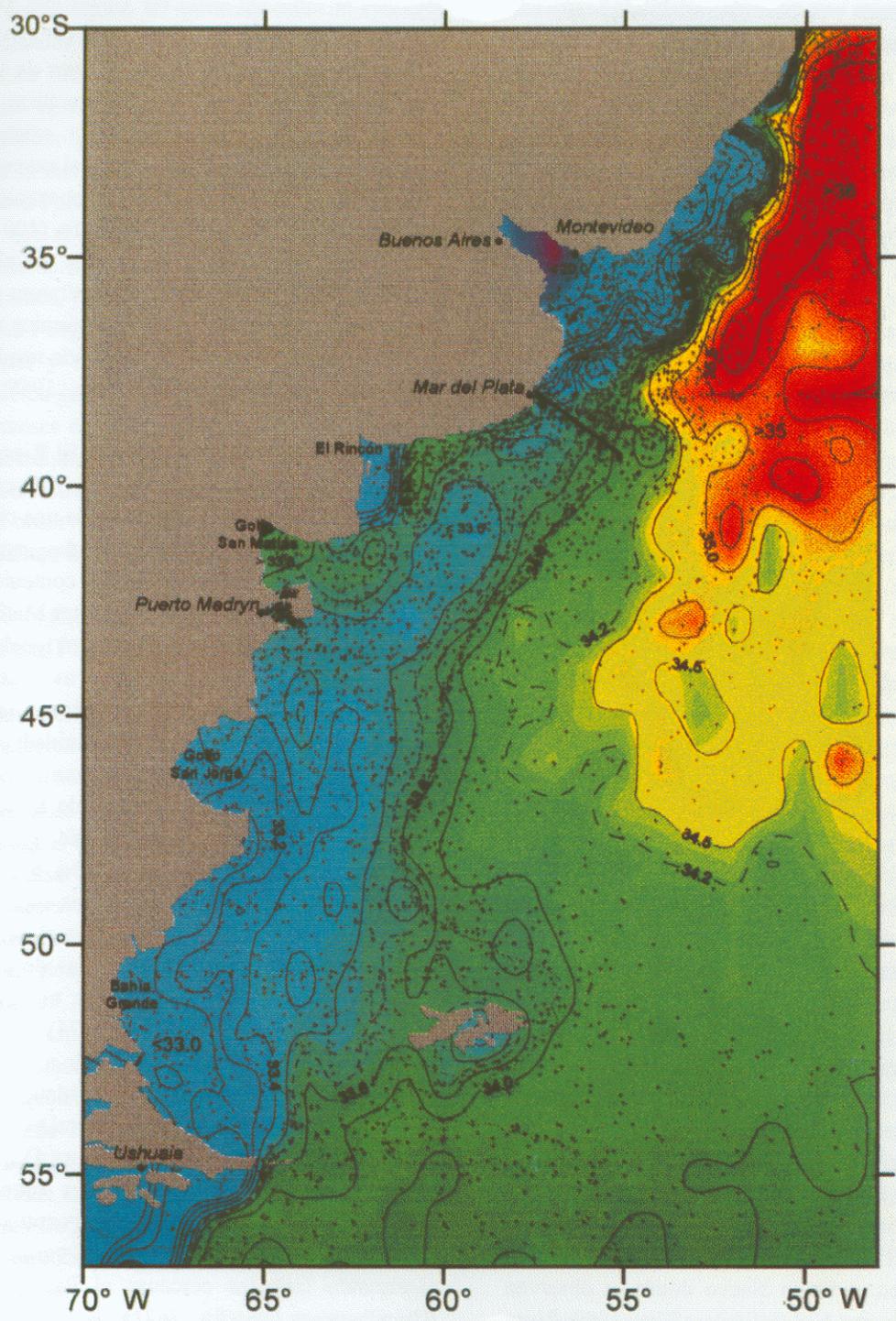


Figura 1: Distribución superficial climatológica de salinidad (media histórica). La línea punteada indica la isobata de 200m, considerada en este estudio como el límite exterior de la plataforma continental. La línea llena, frente a Mar del Plata, a 38-39° S, indica la posición de las secciones oceanográficas de invierno y verano que se presentan como Figura 3.

Plata. La interacción de estas aguas con las de plataforma presenta una marcada variabilidad espacial, observándose aportes significativos de aguas diluidas tanto hacia el noreste como hacia el sur. Sobre la plataforma continental y el área adyacente, se han definido el Agua Central del Atlántico Sur, el Agua de Plataforma de origen subantártico, el Agua Costera de origen subantártico y Agua Subantártica o Agua Subantártica Pura (Pesquería VI, 1969; VII, 1969; VIII, 1969; IX, 1971; Lusquiños y Valdéz, 1971).

La distribución climatológica (media histórica) de salinidad que se muestra en la Figura 1, fue preparada sobre la base del atlas de Piola y García (1993), actualizada con observaciones tomadas por buques argentinos hasta 1993 y datos de varias campañas extranjeras suministrados por el Centro Argentino de Datos Oceanográficos. Dado que las variaciones estacionales no son significativas, se presenta solamente la distribución media histórica de salinidad. La distribución de salinidad al norte de 38°S evidencia la influencia de las aguas diluidas por el aporte del Río de la Plata con salinidades menores a 33 Unidades Prácticas de Salinidad (UPS). A 36°S, es evidente un gradiente horizontal de salinidad del orden de 4 UPS/50 km (8×10^{-5} UPS/m) entre la plataforma exterior y el agua subtropical asociada a la Corriente del Brasil. El elevado gradiente horizontal de salinidad se extiende hacia el norte (alrededor de los 32°S) debido a la descarga de agua dulce de la Laguna de los Patos. Al sur de 37°S, se identifican tres masas de aguas: agua del talud o plataforma externa, de salinidad relativamente alta, con rango entre 33,7 a 34,0 UPS; agua de la plataforma central con un mínimo relativo (33,4 a 33,6) y agua costera o de la plataforma interior con valores relativamente altos de salinidad ($S > 33,8$). Esta última ocupa dos regiones ubicadas una en el Golfo San Matías, sobre el sector norte (Pesquería VII, 1969; Brandhorst y Castello, 1971; Scasso y Piola, 1988; Rivas y Beier, 1990) y otra en el sector sur del litoral bonaerense (Martos y Piccolo, 1988). Una fuente secundaria de alta salinidad se encuentra en el Golfo Nuevo donde se observan salinidades mayores a 34,0 (Rivas y Ripa, 1989; Rivas y Beier, 1990).

En el sector norte del Golfo San Matías y en la zona de El Rincón (fuera del litoral costero) existen

máximos relativos de salinidad y temperatura. En esas regiones la salinidad suele ser mayor que 34,0 UPS (Pesquería III, 1968; Pesquería X, 1971). Scasso y Piola (1988) analizaron las condiciones de las masas de agua del Golfo San Matías y el forzante atmosférico para el área y concluyeron que la existencia del máximo relativo de salinidad se debe al exceso local de evaporación. Este exceso de evaporación sobre precipitación en el interior del golfo (100 cm/año) duplica los valores calculados para la plataforma adyacente debido a la mayor temperatura del agua superficial del golfo. La anomalía térmica del golfo sería consecuencia del mayor tiempo de residencia del agua en su interior (Piola y Scasso, 1988; Rivas y Beier, 1990).

La alta salinidad en la zona de El Rincón puede deberse a la existencia de un mayor exceso de evaporación local sumado al efecto de una circulación más restringida en el área y/o por la descarga sobre la plataforma del agua con un mayor contenido de sal recientemente formada en el golfo San Matías. Datos satelitales revelan que en El Rincón, al igual que en el Golfo San Matías, se produce un máximo de temperatura superficial que podría inducir una más alta tasa de evaporación. Máximos de salinidad, con origen en el golfo San Matías y que alcanzan la costa de la provincia de Buenos Aires al este de El Rincón, se muestran en las distribuciones de salinidad de superficie en Bandhorst *et al.* (1971a, b y c). Este máximo de salinidad ocupa una franja entre las aguas costeras de El Rincón, diluidas por el efecto de la descarga del Río Negro, y las aguas de plataforma central también caracterizadas por un mínimo de salinidad (Brandhorst y Castello, 1971). Este máximo de salinidad consecuentemente, puede mantenerse por el aporte de las aguas del Golfo San Matías.

A lo largo de la plataforma central se observa un mínimo de salinidad ($S < 33,6$, Figura 1) que resulta del aporte de aguas diluidas por escurrimiento continental en el extremo sur del continente. Este mínimo ha sido descrito por varios autores, alcanzando latitudes cercanas al Río de la Plata (Brandhorst y Castello, 1971). Las aguas diluidas ingresan a la plataforma continental a través de los Canales Fueguinos y el Estrecho de Magallanes (Lusquiños, 1971a; Lusquiños, 1971b; Lusquiños y

Valdéz, 1971). La extensión hacia el noreste del mínimo de salinidad es generalmente interpretado como indicador de un flujo hacia el norte también denominado Corriente Patagónica (Brandhorst y Castello, 1971). Esta masa de agua, denominada Agua de Plataforma por Brandhorst y Castello (1971), resulta de la mezcla lateral y calentamiento del Agua Subantártica Pura, aguas del Estrecho de Magallanes y del agua que se observa al este de Tierra del Fuego proveniente de la rama norte de la Corriente Circumpolar Antártica, ya diluida por aportes continentales de los Canales Fueguinos (Lusquiños y Valdéz, 1971).

Krepper y Rivas (1979a) analizan las características oceanográficas de la plataforma al sur de 45°S para los meses de diciembre y enero, y proponen un modelo estadístico de dilución de aguas costeras con origen en el Estrecho de Magallanes. El modelo ajusta bien a las observaciones de salinidad pero no permite estimar el flujo de agua del Estrecho ni la difusividad.

CARACTERÍSTICAS 'TEMPERATURA-SALINIDAD'

Varios autores han clasificado las masas de agua de la plataforma en función de rangos de salinidad y temperatura. Thomsen (1962) realizó el primer análisis de las masas de agua del Atlántico Sudoeste, incluyendo las aguas de la plataforma continental. Sobre la base del análisis de las propiedades termohalinas en el espacio *temperatura-salinidad*, definió el Agua Costera como un producto de la mezcla entre agua oceánica y aguas de ríos. Esa Agua Costera tiene salinidad menor que 33,7 y temperatura entre 6,5 y 21°C, dependiendo esta última de la latitud y la época del año. En esta clasificación, el límite este de las aguas de plataforma queda determinado por una disminución de temperatura de 2°C, acompañada por un aumento de salinidad de 33,7 a 34,0 UPS (Figura 1). La salinidad aumenta desde la costa hacia el talud y de sur a norte entre 50°S y 36°S. Sin embargo esta clasificación no permite diferenciar las aguas dentro de la plataforma por su salinidad.

Bianchi *et al.* (1982), mediante un análisis estadístico-volumétrico en el espacio *temperatura-salinidad*, para la plataforma continental al sur de 45°S, definen tres masas, de acuerdo a igual número de modas

volumétricas de salinidad: Agua de Malvinas ($33,8 < S < 34,2$), Agua Costera ($S < 33,2$) y Agua de Plataforma ($33,2 < S < 33,8$). La característica unimodal y las fluctuaciones térmicas estacionales no permiten utilizar la temperatura para la clasificación de todas las masas de agua por este medio. Sin embargo, en el caso del Agua de Malvinas se observa una moda volumétrica entre 4,5 y 5°C. El Agua Costera se origina por el aporte de agua del Estrecho de Magallanes, mientras que el Agua de Plataforma resulta de la mezcla de esta última con el Agua de Malvinas. Los autores destacan cierta estacionalidad en las modas del Agua de Plataforma y Agua de Malvinas, cuyos volúmenes se compensan sugiriendo la transformación de una a otra. Existe también un aumento en los porcentajes del Agua Costera de invierno a primavera, asociado posiblemente al mayor aporte continental durante esta última estación.

La Figura 2, construida a partir del mismo banco de datos utilizado para la distribución climatológica de salinidad, presenta la distribución en el espacio *temperatura-salinidad* de verano. Esta distribución *temperatura-salinidad* revela los rasgos salientes de las masas de agua mencionadas con sus valores característicos de densidad que resultan de las curvas de σ_t asociadas. En el extremo sur, en las inmediaciones del Estrecho de Magallanes se observan aguas con temperaturas cercanas a 9°C y salinidades menores a 33,0 UPS. Las aguas más frías ($T < 7^\circ\text{C}$) tienen salinidades mayores a 33,0 UPS y se hallan a profundidades mayores de 80 m. Al sur de 50°S, en la plataforma central, se encuentra las aguas superficiales más densas de la plataforma ($\sigma_t > 26 \text{ kg/m}^3$). La Figura 2 también revela el progresivo aumento de temperatura superficial hacia el norte (de 10 a 20°C), acompañado por variaciones leves de salinidad entre 33,5 y 33,8 UPS. El aumento progresivo de la temperatura, desde los 10°C hasta los 20°C conduce a una disminución de σ_t de 26 a 24 kg/m^3 .

TEMPERATURA Y ESTRATIFICACIÓN

La estratificación vertical de las aguas de plataforma depende de la distribución de densidad y esta a su vez, depende del efecto combinado de la temperatura y la salinidad (resultando despreciable el

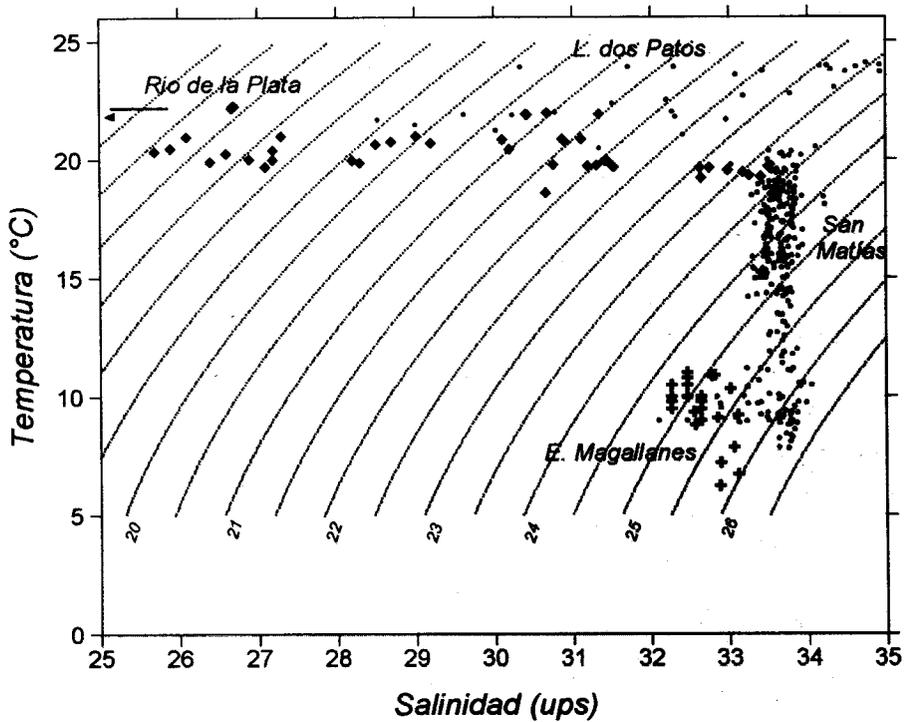


Figura 2: Distribución superficial temperatura-salinidad de verano sobre la plataforma continental entre 30 y 57°S. El área de influencia del Estrecho de Magallanes (+) y Río de la Plata (u) incluye los datos de la totalidad de la columna de agua. En el área del Río de la Plata sólo se presentan valores de salinidad mayores a 25 UPS; existen sin embargo observaciones de S de hasta 2,5 UPS.

efecto de presión por la baja profundidad). A manera de ejemplo, se presenta en la Figura 3 la estratificación de densidad de dos secciones verticales transversales a la plataforma entre 38 y 39°S (Figura 1). Estas secciones son parte de una serie de campañas realizadas frente a Mar del Plata 1987 y 1991 (Baldoni y Guerrero, 1994; Carreto *et al.*, 1995). Ambas secciones muestran la distribución vertical de temperatura, salinidad y densidad, una correspondiente al período de verano (enero) y la otra al período de invierno (julio). La estructura de temperatura y densidad observada en verano (Figuras 3a y 3b) muestran dos capas, una superficial y otra de fondo, separadas por una pronunciada termoclina y pycnoclina entre 30 y 40 m. En contraste, la distribución de salinidad (Figura 3c) muestra un campo verticalmente homogéneo. Al progresar el otoño e invierno, la columna de agua se mezcla verticalmente por

convección. Esto resulta por el aumento de la densidad de la capa superior debido a la pérdida de calor en ese período del año (Figura 3e). El flujo de calor desde la capa superior hacia la atmósfera, forzada por estos cambios en la temperatura, provoca la ruptura de la estratificación (Figura 3d). El efecto de mezcla mecánica por la fricción del viento en superficie contribuye al proceso convectivo pero no es imprescindible; este proceso es importante para acelerar la transferencia vertical de la propiedad. Los campos de salinidad de verano (Figura 3c) e invierno (Figura 3f) no muestran diferencias significativas.

Con el objeto de comparar el efecto de temperatura y salinidad sobre densidad, en la Tabla 1 se presenta los incrementos de densidad que resultan de variaciones en temperatura y salinidad. Se ha tabulado un valor típico inicial para plataforma de 8°C en temperatura y 33,7 UPS en salinidad (densidad

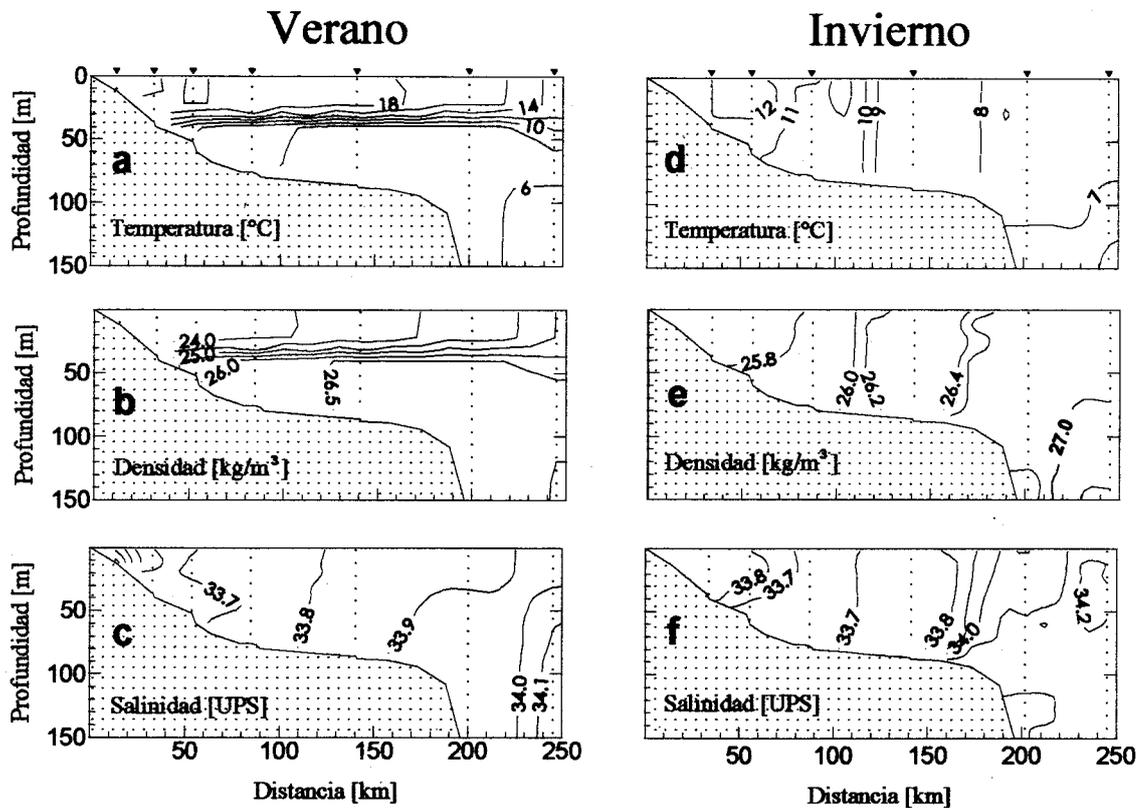


Figura 3: Secciones de temperatura (a, d), densidad (b, e) y salinidad (c, f), transversales a la batimetría a 38-39°S, entre la línea de costa y el talud continental. La sección de verano corresponde al mes de enero, mientras que la de invierno fue realizada en el mes de julio.

asociada de 26,25 kg/m³), e incrementos de 2°C y 0,1 UPS respectivamente. Un cambio vertical de 8 a 16°C (similar al de la termoclina de verano de la Figura 3a) y sin cambios en la salinidad (Figura 3c), induce una disminución de densidad de 1,5 kg/m³ (Figura 3b). Suponiendo que la salinidad pudiese cambiar en 0,3 UPS, siendo esta variación mayor a la observada y manteniendo constante la temperatura, no generaría variaciones en densidad mayores a 0,24 kg/m³. En verano, la dependencia que se observa en la distribución de densidad por acción de la temperatura es un orden de magnitud mayor al efecto producido por posibles variaciones de salinidad. En invierno se observa sólo una leve estratificación horizontal de densidad (Figura 3e). El aumento observado de 0,5 kg/m³, en el centro de la plataforma, se debe a una

disminución en temperatura de 2°C y un aumento de 0,2 UPS en salinidad. Estos valores representan, en la Tabla 1, cambios en densidad de 0,35 kg/m³ por temperatura y 0,15 kg/m³ por salinidad.

Tanto el calentamiento durante primavera y verano, como el enfriamiento durante otoño e invierno, son los mecanismos dominantes que controlan la formación y ruptura de la estratificación. Los cambios en salinidad sólo afectan la estratificación en sistemas estuariales como el del Río de la Plata (Guerrero *et al.*, 1997) y el que resulta por aportes de aguas diluidas del Estrecho de Magallanes (Krepper, 1977; Pesquería XI, 1971).

Varios estudios han descrito el ciclo térmico y el balance de calor del sistema de plataforma. Martos y Piccolo (1988) describen las condiciones oceanográ-

Tabla 1: Cambios de densidad (en sigma-t) para diferentes valores de T y S a partir de una densidad de referencia ($\sigma_t=26.253$) que corresponde a una parcela de agua con T= 8°C y S= 33,7 UPS. Los valores de temperatura y salinidad en esta tabla corresponden a rangos típicos de la plataforma continental

$\sigma_t=26,253$	8°C	10°C	12°C	14°C	16°C
33,7 UPS	0,00	-0,32	-0,67	-1,07	-1,50
33,8 UPS	0,08	-0,24	-0,60	-0,99	-1,43
33,9 UPS	0,16	-0,16	-0,52	-0,92	-1,35
34,0 UPS	0,24	-0,08	-0,44	-0,84	-1,27

ficas y su variación estacional en el área de plataforma comprendida entre 38°S y 42°S. En este estudio los datos históricos son agrupados sobre una grilla de ½° de latitud por ½° de longitud y separados en un dominio interno (costero) y uno externo, delimitados por la isobata de 40 m. El dominio costero interno es con frecuencia verticalmente homogéneo, mientras que el externo presenta una fuerte estacionalidad: homogéneo en invierno y estratificado en verano. Los autores, por falta de estaciones cercanas a la línea de costa y por la resolución de su grilla, no definen las características del litoral costero. En esta área, Guerrero (en prensa) describe el frente costero de El Rincón que resulta de la confluencia de descargas continentales, principalmente del Río Negro, y las aguas de plataforma. Los resultados de Martos y Piccolo (1988) muestran sobre el sector externo, al frente de talud separando el régimen de plataforma, menos salino y más cálido, del sistema de Malvinas.

El ciclo anual del balance calórico de la plataforma al sur de 40° S, fue analizado por Krepper y Bianchi (1982). A partir de las variaciones de temperatura superficial, estimaron la energía transferida entre el mar y la atmósfera a través de la superficie entre las estaciones del año, resultando un flujo anual neto igual a cero. El calentamiento se produce abruptamente de primavera a verano, mientras que el enfriamiento (de verano a invierno) es más uniforme y prolongado. En el Golfo San Matías, al igual que Scasso y Piola (1988), observan mayor temperatura y mayor amplitud térmica estacional respecto a la plataforma adyacente. Entre las Islas Malvinas y la costa señalan un máximo local de temperatura durante todo el año que se ve acentuado en verano y otoño. Asimismo Podestá *et al.*

(1991), utilizando cuatro años de observaciones radiométricas satelitales, describieron el ciclo anual de temperatura superficial en el Atlántico Sudoccidental. De este análisis resulta que la componente anual es la principal causante de la evolución de la temperatura, mientras que la semianual es de uno a dos órdenes de magnitud menor. Rivas (1994) analiza las variaciones espacio-temporales de la temperatura integrada de la columna de agua entre 40 y 50° S, con una resolución de 1° de latitud x 1° de longitud. Tanto la amplitud como la fase del ciclo anual son controlados por procesos locales como las variaciones estacionales del flujo de calor a través de la superficie y la batimetría del lugar, mientras que los procesos advectivos y difusivos ejercen efectos secundarios. La media anual de temperatura, por otro lado, depende del flujo medio a través de la superficie y de la advección horizontal.

FRENTE

Existen zonas en el Mar Argentino en las que se observan cambios horizontales abruptos de temperatura y/o salinidad. Estas zonas son denominadas frentes oceánicos y están caracterizados por una intensificación de los gradientes horizontales de propiedad. Sobre la plataforma encontramos los frentes costeros de mareas y el frente de talud. Estos dos frentes delimitan las tres masas de agua de plataforma definidas anteriormente a partir de la distribución de propiedades. El frente de mareas separa aguas costeras verticalmente mezcladas de aguas estratificadas de plataforma media y entre estas últimas y las aguas de talud ubicamos el frente de talud propiamente dicho. En la plataforma argentina, al igual

que en otras plataformas continentales, los frentes tienen importantes implicancias biológicas, observándose en su entorno, concentraciones de individuos de la cadena alimentaria, desde fitoplancton hasta grandes mamíferos. Esto resulta por la capacidad que tienen los frentes de concentrar plancton y material particulado induciendo un aumento en la productividad de las masas de agua. Es así que los frentes costeros y de talud muestran condiciones de productividad más acentuada que el resto de la plataforma (Carreto *et al.*, 1981a y b; Carreto *et al.*, 1986a y b; Podestá y Esaias, 1988; Lutz y Carreto, 1991; Negri *et al.*, 1992).

El Mar Argentino y cuenca adyacente por su extensión, diversidad de masas de aguas, topografía y climatología presenta un gran variedad de frentes. Particularmente, los frentes en áreas costeras y de talud se han asociado a diversas pesquerías como son las de merluza (Podestá, 1989; Bertolotti *et al.*, 1996), calamar (Otero *et al.*, 1981; Bertolotti *et al.*, 1996; Brunetti e Ivanovic, 1992), anchoíta (Sánchez y Ciechowski, 1995) y corvina (Lasta y Acha, 1996) entre las más importantes. Estos frentes deben ser estudiados con el objeto de modelar su dinámica y productividad.

Considerando las diferentes escalas espacio-temporales del Mar Argentino y del océano adyacente, se identifican diversos frentes. Entre ellos se encuentran el frente polar antártico (Deacon, 1937; Makintosh, 1946; Gordon, 1967 y 1971), el frente subtropical (Brennecke, 1921, Deacon 1937; Reid *et al.*, 1977; Gordon, 1989), el frente de talud (Martos y Piccolo, 1988; Carreto *et al.*, 1995) y diversos frentes costeros. Dentro de los frentes costeros podemos distinguir aquellos frentes que resultan por la confluencia de aguas de origen continental y aguas de plataforma, y aquellos que, en cercanías de la costa y por el efecto de las mareas, presentan diferencias en la estratificación vertical del agua de plataforma. Entre los primeros se encuentran, el frente marítimo del estuario del Río de la Plata entre 34 y 37°S (Ottman y Urien, 1965 y 1966; Urien, 1972; Guerrero *et al.*, 1997), el frente costero de la zona de El Rincón, entre 41 y 39°S (Pesquería X, 1971; Guerrero, en prensa) y el frente costero a lo largo del litoral de la Provincia de Santa Cruz desde el Estrecho de Magallanes hasta el sector sur del Golfo San Jorge (Krepper y Rivas,

1979a). Dentro del segundo grupo la bibliografía reporta sólo el frente de mareas en las cercanías de Península Valdés (Carreto *et al.*, 1986b; Glorioso, 1987; Glorioso y Simpson, 1994). Debe destacarse que los frentes térmicos como lo son el de talud y el de Península Valdés son estacionales, observándose durante los periodos de primavera y verano cuando la plataforma se estratifica verticalmente por el calentamiento de la capa de mezcla de superficie.

CONSIDERACIONES FINALES

Se han descrito las masas de agua de la plataforma continental argentina mediante la utilización de metodologías clásicas como son la distribución de propiedades y el diagrama *temperatura-salinidad*. La estratificación vertical de las aguas de plataforma también ha sido analizada teniendo en cuenta la estacionalidad de la radiación solar como causante de la formación y erosión de la termoclina-picnoclina. La estratificación forzada por cambios en salinidad es despreciable frente al efecto de intercambio de calor entre el mar y la atmósfera, salvo en el caso del estuario del Río de la Plata y en la desembocadura del Estrecho de Magallanes.

Las masas de agua de la Plataforma Continental Argentina son de origen subantártico. Esto resulta por haberse originado en altas latitudes, tanto por desprendimiento de las corrientes de borde (Corriente Circumpolar y de Malvinas) como por la contribución de aguas de derrames continentales subpolares (canales fueguinos y Estrecho de Magallanes). La circulación media, de sur a norte (Piola y Rivas, en este tomo), indica también el origen subantártico de las aguas de plataforma.

Las modificaciones impuestas por el intercambio de calor con la atmósfera, durante la época estival, dejan su señal distintiva en el estrato superior mediante la formación de una capa de mezcla de superficie y por ende un sistema de dos capas. En invierno el océano cede calor a la atmósfera, aumenta la densidad superficial y rompe la estratificación.

Se han identificado además áreas cerradas y semi-cerradas dentro de la plataforma que generan localmente sus propias características, como son los sistemas del Golfo San Matías y Golfo Nuevo, y áreas

costeras semi-protegidas como El Rincón. Estas aguas localmente modificadas, generan zonas frontales con importantes implicancias biológicas. Otra fuente de variación sobre las aguas de plataforma está dada por los aportes continentales, que también son generadores de frentes a lo largo del litoral costero. Los más importantes son los del Río de la Plata a 35/36°S, el río Negro al sur de El Rincón y el Estrecho de Magallanes a 52°30' S.

Basándose en la distribución espacial de salinidad, las masas de agua de la plataforma continental argentina y talud, pueden clasificarse en cuatro grupos:

1. Agua Costera con baja salinidad ($S < 33,4$ UPS) que se observa en tres áreas bien definidas a lo largo del litoral costero argentino: en el estuario del Río de la Plata, El Rincón y provincia de Santa Cruz.

2. Agua Costera con alta salinidad (S entre 33,8 y 34,0 UPS) que se ubica en la zona central y sur de la provincia de Buenos Aires, y en la desembocadura de los golfos San Matías y Nuevo.

3. Agua de Plataforma Media (S entre 33,4 y 33,6/33,7 UPS), localizada a lo largo de la plataforma central desde sus orígenes a los 55/ 52°30'S hasta 40/38° S.

4. Agua de Plataforma Externa o Talud (S entre 33,7 a 34,0 UPS) que ocupa la franja externa de la plataforma continental, ubicándose entre el mínimo de salinidad del Agua de Plataforma Media y el máximo de salinidad relativo que caracteriza a la Corriente de Malvinas ($S > 34.1$ UPS).

BIBLIOGRAFÍA

- BALDONI, A.G. & GUERRERO, R.A. 1994. Datos CTD en una sección de la plataforma y talud continental argentino entre 38° y 39° S, período 1987-1991. Inst. Nac. Inv. Des. Pesq., INIDEP, Inf. Tec. 3, 183 pp.
- BERTOLOTTI, M.I., BRUNETTI, N.E., CARRETO, J.I., PRENSKI, L.B. & SANCHEZ, R. 1996. Influence of shelf-break fronts on shellfish and fish stocks off argentina. ICES, C.M. 1996/S: 41 pp.
- BRUNETTI, N.E. & IVANOVIC, M.L. 1992. Distribution and abundance of early life stages of squid (*Illex argentinus*) in the south-west Atlantic. ICES, M.S., 49:175-183.
- BIANCHI, A., MASSONEAU, M. & OLIVERA, R.M. 1982. Análisis estadístico de las características T-S del sector austral de la plataforma continental argentina. Acta Oceanographica Argentina, 3(1): 93-118.
- BRANDHORST, W. & CASTELLO, J.P. 1971. Evaluación de los recursos de anchoíta (*Engraulis anchoita*) frente a la Argentina y Uruguay. I. Las condiciones oceanográficas, sinopsis del conocimiento actual sobre la anchoíta y el plan para su evaluación. Proy. Des. Pesq. FAO, Publicación 29, 63 pp.
- BRANDHORST, W., CASTELLO, J.P., PEREZ HABIAGA R. & ROA, B.H. 1971a. Evaluación de los recursos de anchoíta (*Engraulis anchoita*) frente a la Argentina y Uruguay. III. Abundancia relativa entre las latitudes 34°40' y 42°10'S en relación a las condiciones ambientales en mayo-junio de 1970. Proy. Des. Pesq. FAO, Publicación 34, 39 pp.
- BRANDHORST, W., CASTELLO, J.P., PEREZ HABIAGA, R. & ROA, B.H. 1971b. Evaluación de los recursos de anchoíta (*Engraulis anchoita*) frente a la Argentina y Uruguay. IV. Abundancia relativa entre las latitudes 34°30' y 44°10'S en relación a las condiciones ambientales en agosto-septiembre de 1970. Proy. Des. Pesq. FAO, Publicación 36, 35 pp.
- BRANDHORST, W., CASTELLO, J.P., PEREZ HABIAGA, R. & ROA, B.H. 1971c. Evaluación de los recursos de anchoíta (*Engraulis anchoita*) frente a la Argentina y Uruguay. V. Abundancia relativa entre las latitudes 34°30' y 42°S en relación a las condiciones ambientales en octubre-noviembre de 1970. Proy. Des. Pesq. FAO, Publicación 37, 39 pp.
- BRENNECKE, W. 1921. Die ozeanographischen Arbeiten der deutschen Antarktischen Expedition. 1911-1912. Aus dem arkiv der Deutschen Seewarte, 39, 215 pp.
- CARRETO, J. I., NEGRI R.M. & BENAVIDEZ, H.R. 1981a. Fitoplancton, pigmentos y nutrientes, Resultados campañas III y VI del B/I "Shinkai Maru", 1978. Campañas de investigación pesquera realizadas en el Mar Argentino por los B/I "Shinkai Maru" y "Walther Herwig" y el B/P "Marburg", años 1978 y 1979. Resultados de la parte argentina. Inst. Nac. Inv. Des. Pesq.,

- Contribución 383: 181-201.
- CARRETO, J. I., RAMIREZ, F. & DATO, C. 1981b. Zooplankton y producción secundaria. Parte II. Distribución y variación estacional de la biomasa zooplanctónica. Campañas de investigación pesquera realizadas en el Mar Argentino por los B/I "Shinkai Maru" y "Walther Herwig" y el B/P "Marburg", años 1978 y 1979. Resultados de la parte argentina. Inst. Nac. Inv. Des. Pesq., Contribución 383, INIDEP: 213-232.
- CARRETO J.I., NEGRI, R.M. & BENAVIDEZ, H.R. 1986a. Algunas características del florecimiento del fitoplancton en el frente del Río de la Plata. Rev. Invest. Des. Pesq. 5: 7-29.
- CARRETO, J. I., BENAVIDES, H.R., NEGRI R.M. & P. D. GLORIOSO, 1986b. Toxic red tide in the Argentine Sea. Phytoplankton distribution and survival of the toxic dinoflagellate *Gonyaulax excava* in a frontal area. J. of Plankton Res., 8(1): 15-28.
- CARRETO, J.I., LUTZ, V.A., CARIGNAN, M.O., CUCCHI COLLEONI A.D. & DE MARCO, S.G. 1995. Hydrography and chlorophyll *a* in a transect from the coast to the shelf-break in the Argentinian Sea, Cont. Shelf Res., 15(2/3): 315-336.
- CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES, 1981. Evaluación de los recursos naturales de la Argentina. Recursos Hídricos Superficiales. Buenos Aires, 4, I. 459 pp.
- DEACON, G.E.R., 1937. The hydrology of the Southern Ocean. En: Discovery Reports, 15: 1-124.
- GLORIOSO, P.D. 1987. Temperature distribution related to shelf-sea fronts on the Patagonian shelf. Cont. Shelf Res. 7(1): 27-34.
- GLORIOSO, P.D. & SIMPSON, J. H. 1994. Numerical modelling of the M2 tide on the northern Patagonian shelf. Cont. Shelf Res., 14: 267-278.
- GORDON, A.L. 1967. Structure of antarctic waters between 20°W and 120°W. Antarctic Pap Folio Series, de. V. Bushnell, Am. Geograph. Soc., New York, N.Y. 6, 10 pp, 14 plates.
- GORDON, A.L. 1971. Antarctic polar front zone. En: Antarctic Oceanology 1, Antarctic Res. Ser., Ed.: J.L. Reid, Am. Geoph. Union, Wash, D.C., 15: 205-221.
- GORDON, A.L. 1989. Brazil-Malvinas confluence-1984. Deep-Sea Res., 36: 359-384.
- GUERRERO, R.A., ACHA, M.E., FRAMIÑAN, M.E. & LASTA, C. 1997. Physical oceanography of the Río de la Plata estuary. Cont. Shelf Res., 17 (7): 727-742.
- GUERRERO, R.A., en prensa. Oceanografía física del estuario del Río de la Plata y el sistema costero de El Rincón. En: Campaña de evaluación de recursos demersales costeros EH 13/94. Informe Técnico EH-14/93. C. Lasta, editor. Inst. Nac. Inv. Des. Pesquero, Mar del Plata, Argentina.
- HELLAND-HANSEN, B. 1916. Nogen hydrografiske metoder. Scand. Naturforsker Møte, Kristiana. Oslo.
- KREPPER, C.M. 1977. Difusión del agua proveniente del Estrecho de Magallanes en las aguas de la plataforma continental. Acta Oceanographica Argentina, 1 (2): 49-65.
- KREPPER, C.M. & RIVAS, A.L. 1979a. Análisis de las características oceanográficas de la zona austral de la plataforma continental argentina y aguas adyacentes. Acta Oceanographica Argentina, 2 (2): 55-82.
- KREPPER, C.M. & RIVAS, A.L. 1979b. Dinámica de las aguas costeras en Golfo Nuevo. Parte I: medición de corrientes con superficies derivantes. Acta Oceanographica Argentina, 2 (2): 83-106.
- KREPPER, C.M. & BIANCHI, A.A. 1982. Balance calórico del Mar Epicontinental Argentino. Acta Oceanographica Argentina, 3 (1): 119-133.
- LASTA, C.A & ACHA, M.E. 1996. Cabo San Antonio: su importancia en el patrón reproductivo de peces marinos. Frente Marítimo, 16: 39-45.
- LUSQUIÑOS, A.J. 1971a. Algunas características de las aguas de la plataforma continental argentina. En: Datos y resultados de las campañas Pesquería, Pesquería IX, S.F. Villanueva, editor. Publicación N° 10/XI, Proy. Des. Pesq., Serie Informes Técnicos, Mar del Plata.
- LUSQUIÑOS, A.J. 1971b. Algunas características de las aguas de la plataforma continental argentina. En: Datos y resultados de las campañas Pesquería, S.F. Villanueva, editor. Pesquería X, Publicación N° 10/X, Proy. Des. Pesq., Serie de Informes Técnicos, Mar del Plata.
- LUSQUIÑOS, A. & VALDÉZ, A.J. 1971. Aportes al conocimiento de las masas de agua del Atlántico Sudoccidental. Serv. Hidrogr. Naval (Buenos

- Aires), H 659, 48 pp.
- LUTZ, V.A. & CARRETO, J.I. 1991. A new spectrofluorometric method for the determination of chlorophylls and degradation products and its application in two frontal areas of the Argentine Sea. *Cont. Shelf Res.*, 11 (5): 433-451.
- MAKINTOSH, N.A. 1946. The antarctic convergence and the distribution of surface temperature in antarctic waters. *Discovery Reports*, 36, 94 pp.
- MARTOS, P. & PICCOLO, M. C. 1988. Hydrography of the Argentine continental shelf between 38° and 42° S. *Cont. Shelf Res.*, 8 (9): 1043-1056.
- NEGRI, R.M., AKSELMAN, R.A. & BENAVIDES, H.R. 1992. Floración excepcional de un dinoflagelado en aguas de Argentina y Uruguay. *Frente Marítimo*, 11: 115-122.
- OTERO, H. O., BEZZI, S. Y., PERROTTA, R., PEREZ COMAS, J.A., SIMONAZZI, M. & RENZI, M. A. 1981. Los recursos pesqueros demersales del Mar Argentino: Parte III. Distribución, estructura de población, biomasa y rendimiento potencial de la polaca, el bacalao austral, la merluza de cola y el calamar. *Inst. Nac. Inv. Des. Pesq., Contribución* 383: 28-41.
- OTTMAN, F. & URIEN, C.M. 1965. Les melange des eaux douces et marines dans le Río de la Plata. *Cahiers Oceanographiques*, 17 (10): 703-713.
- OTTMAN, F. & URIEN, C.M. 1966. Sur quelques problèmes sédimentologiques dans le Río de la Plata. *Revue de géographie Physique et de Géologie Dynamique*. 8 (3): 209-224.
- PESQUERÍA I a XI, 1968/71. Datos y resultados preliminares de las campañas Pesquería. Pesquería I a III, IV a V, VI a XI. *Proy. de Des. Pesq., Publicación* 10/I a 10/XI. Serie de Informes Técnicos, Mar del Plata.
- PIOLA, A.R. & GARCIA, O.A. 1993. Atlas oceanográfico de la Cuenca Argentina occidental y la plataforma continental lindante. *Serv. Hidrogr. Naval (Buenos Aires)*, H-607, 267 pp.
- PIOLA, A.R. & SCASSO, L.M.L. 1988. Circulación en el Golfo San Matías. *Geoacta*, 15 (1): 33-51.
- PODESTA, G. P. 1989. Migratory pattern of Argentine Hake "Merluccius hubbsi" and oceanic processes in the Southwestern Atlantic Ocean. *Fishery Bulletin, U.S.* 88 (1): 167-177.
- PODESTA, G. P. & ESAIAS, W.E. 1988. Satellite-derived phytoplankton pigment concentrations along the shelf-break off Argentina, 1970-1980. *EOS*, 69: 1144.
- PODESTA, G., BROWN, G.O. & EVANS, R. 1991. The annual cycle of satellite-derived sea surface temperature in the Southwestern Atlantic Ocean. *J. Climate*, 4 (4): 457-467.
- REID, J.L., NOWLIN, W.D. & PATZERT, W.C. 1977. On the characteristics and circulation of the southwestern Atlantic Ocean. *J. Phys. Oceanogr.*, 7: 62-91.
- RIVAS, A.L. 1994. Spatial variation of the annual cycle of temperature in the Patagonian shelf between 40 and 50° of south latitude. *Cont. Shelf Res.*, 14: 1539-1554.
- RIVAS, A.L. & BEIER, E.J. 1990. Temperature and salinity fields in the northpatagonic gulfs. *Oceanologica Acta*, 13: 15-20.
- RIVAS, A.L. & RIPA, P. 1989. Variación estacional de la estructura termohalina de Golfo Nuevo, Argentina. *Geof. Int.*, 28, 1: 3-24.
- SANCHEZ, R. & CIECHOMSKI, J.D. de. 1995. Spawning and nursery grounds of pelagic fish species in the sea-shelf off Argentina and adjacent areas. *Sci. Mar.*, 59(3-4): 455-478.
- SCASSO, L.M.L. & PIOLA, A.R. 1988. Intercambio neto de agua entre el mar y la atmósfera en el Golfo San Matías. *Geoacta*, 15 (1): 13-31.
- THOMSEN, H. 1962. Masas de agua características del Océano Atlántico. *Serv. Hidrogr. Naval (Buenos Aires)*, H 632, 31 pp.
- URIEN, C. M. 1972. Río de la Plata estuary environments. *The Geological Society of America, Inc. Memoir* 133: 213-234.
- WÜST, G. & DEFANT, A. 1936. *Meteor Reports, Wiss. Ergeb. Deut. Atlant. Exp. Meteor 1925-1927*, 6, 411pp.