

**ANÁLISIS ESTACIONAL DE LA ESTRUCTURA TERMO-HALINA
EN EL GOLFO SAN JOSÉ, ARGENTINA.**

Andrés L. Kivas

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Centro
Nacional Patagónico. Boulevard Brown N° 2500, Puerto Madryn (9120), Chubut.

RESUMEN

Se analizan los datos de temperatura y salinidad obtenidos en cuatro campañas realizadas a lo largo de un año en el golfo San José. La temperatura es la variable fundamental en la regulación estacional de la densidad. Su distribución espacial presenta una fuerte homogeneidad horizontal mientras que en la vertical, por acción del viento y la marea en una zona somera, sólo alcanza una estratificación débil en los meses de máximo calentamiento superficial. Los balances de calor y sal indican que el intercambio de agua a través de la boca del golfo se invierte a lo largo del año. En otoño e invierno el agua que sale es más densa, en primavera y verano es más densa el agua proveniente del golfo San Matías. Las diferencias encontradas entre los datos observados en agosto de 1984 y agosto del año siguiente son explicadas satisfactoriamente al considerar las variaciones en los flujos superficiales, poniéndose en evidencia la escasa inercia del golfo a las fluctuaciones climáticas.

ABSTRACT

Temperature and salinity data collected in San José gulf during four cruises carried out from august 1984 to august 1985 are analyzed. Seasonal changes of density are regulated mainly by temperature fluctuations. Temperature field is horizontally homogeneous. Wind and tide maintain the water column well mixed during most of the year. However, during the summer, when the surface heating is maximum, a weak stratification is found. Heat and salt budgets indicate that water flow through the mouth changes direction throughout the year. In fall and winter outflowing water is denser than water flows in, while in spring and summer water flowing in from San Matías gulf is more dense. The differences between the observed data in august/84 and august/85 are satisfactorily explained by the variations in surface fluxes. The gulf fast response to climate fluctuations are significant.

1. INTRODUCCION

El golfo San José está ubicado entre las latitudes $42^{\circ}14'$ y $42^{\circ}26'$ S y las longitudes $64^{\circ}02'$ y $64^{\circ}36'$ W. De forma ovalada, su superficie se estima en $8 \cdot 10^{10} \text{ m}^2$ y su volumen en $3 \cdot 10^{10} \text{ m}^3$ (aproximadamente 38 m de profundidad media). Su profundidad máxima es del orden de 85 m (ver Figura 1). La comunicación con el golfo San Matías está restringida a una boca de $9 \cdot 10^3 \text{ m}$ de ancho y 10 m de profundidad media. La profundidad en la zona de la boca varía con la posición y el estado de marea. En efecto, la marea es semidiurna y su amplitud media (semidiferencia entre alta y baja mar) puede estimarse en 2,9 m (Servicio de Hidrografía Naval, Tablas de Marea, 1985), lo que representa variaciones del orden del 8 % en el volumen y del 30 % en el área de la boca.

La zona ha sido objeto de numerosos esfuerzos de investigación tendientes a dilucidar la magnitud de sus recursos biológicos. Sin embargo, desde el punto de vista físico poco se conoce sobre su comportamiento. Salvo la campaña realizada en junio de 1973 (Pizarro, 1976), la información física disponible hasta el año 1984 consistía en unos pocos datos dispersos obtenidos fundamentalmente como complemento para las observaciones biológicas. Por ese motivo, la serie de cuatro campañas realizadas por el Centro Nacional Patagónico, constituye el primer intento sistemático para estudiar la evolución anual de las características físicas del golfo. La interpretación de los campos de temperatura y salinidad observados en esta serie de cruces es el objetivo fundamental de este trabajo. Se centraliza el esfuerzo en la escala estacional, sin embargo, los datos de temperatura y en menor medida salinidad, exhiben cambios significativos de un año al otro indicando que la escala interanual puede ser importante.

En la sección siguiente se describen los datos empleados para el análisis que se realiza en la sección 3.. En estas, primero se estudian las características generales de los campos de temperatura y salinidad, luego se estudian los intercambios de calor y masa con la atmósfera y el golfo San Matías, más adelante se interpretan las fluctuaciones interanuales a la luz de estos intercambios y, finalmente, se discute la evolución anual de los campos. En la sección 4. se presentan las conclusiones.

2. DATOS

Se analizaron los datos obtenidos en cuatro campañas cuatrimestrales, en cada una de las cuales utilizando botellas Nansen y termómetros de inversión, se determinó temperatura (con un error estimado de observación de $0,03 \text{ }^{\circ}\text{C}$), salinidad (con un error estimado de observación de $0,005 \%$), oxígeno disuelto y nutrientes a las profundidades standard, en 18 estaciones interiores y tres exteriores adyacentes a la boca del golfo (Figura 1).

La información meteorológica empleada es la recopilada por el Centro Nacional Patagónico en la estación oceanográfica Golfo Nuevo, ubicada en las inmediaciones de la ciudad de Pto. Madryn, sobre la costa y a aproximadamente 70 km del golfo San José. En la misma se obtienen registros medios horarios de velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad y presión mediante una estación automática Clima Tronics.

3. ANALISIS

3.1 Consideraciones generales

Se graficaron los diagramas T-S correspondientes a cada campaña (Figura 2), diferenciando las estaciones interiores de las exteriores. De estos gráficos es posible extraer las siguientes consideraciones de carácter general:

1. En todas las campañas, excepto en diciembre, la dispersión de temperaturas es muy pequeña ($\pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$).
2. Si se excluye la campaña de abril y las estaciones exteriores al golfo que poseen en general valores inferiores, los datos de salinidad presentan poca dispersión. La diferencia de salinidad entre interior y ex-

terior es más nítida en invierno (agosto de 1984 y de 1985).

3. En agosto de 1984 las temperaturas observadas, tanto en el interior como en el exterior, son del orden de 1 °C inferiores a las medidas en agosto de 1985.

4. La evolución temporal de la densidad es controlada casi exclusivamente por las fluctuaciones de la temperatura. La temperatura y la salinidad regulan las variaciones especiales de densidad.

La homogeneidad encontrada en los datos se analizó calculando los promedios horizontales de temperatura y salinidad (pesados con pesos proporcionales al área de influencia de cada estación) y sus correspondientes desviaciones standard. La dispersión en los datos de temperatura encontrada para el crucero de diciembre en los diagramas T-S está en parte originada por la estratificación, ya que disminuye al considerar cada capa por separado (Tabla I). Salvo en verano cuando se pone de manifiesto cierta estructura vertical, las desviaciones verticales son similares a las horizontales indicando que los promedios verticales son representativos de toda la columna de agua y, en consecuencia, se puede considerar al golfo como puntual. En la Tabla I se han incluido los promedios totales calculados sobre todo el volumen del golfo, con pesos proporcionales al volumen de influencia de cada estación, y sus correspondientes desviaciones standard.

.....
TEMPERATURA (°C)

Z (m)	AGOSTO/84	DICIEMBRE/85	ABRIL/85	AGOSTO/85
0	9,64 ± 0,22	13,64 ± 0,70	15,36 ± 0,13	10,69 ± 0,10
5	9,64 ± 0,23	13,62 ± 0,77	15,35 ± 0,08	10,67 ± 0,10
10	9,63 ± 0,23	13,37 ± 0,74	15,30 ± 0,09	10,67 ± 0,11
20	9,57 ± 0,28	12,76 ± 0,62	15,27 ± 0,10	10,66 ± 0,10
30	9,57 ± 0,23	12,61 ± 0,38	15,27 ± 0,13	10,64 ± 0,12
50	9,43 ± 0,32	12,34 ± 0,14	15,27 ± 0,09	10,64 ± 0,14
75	9,58 ± 0,30	12,37 ± 0,06	15,38 ± 0,05	10,81 ± 0,07
TOTAL	9,58 ± 0,27	12,99 ± 0,50	15,29 ± 0,10	10,66 ± 0,11

SALINIDAD (‰)

Z (m)	AGOSTO/84	DICIEMBRE/84	ABRIL/85	AGOSTO/85
0	33,860 ± 0,015	33,810 ± 0,033	33,846 ± 0,082	33,816 ± 0,024
5	33,860 ± 0,015	33,801 ± 0,038	33,822 ± 0,103	33,838 ± 0,039
10	33,863 ± 0,029	33,790 ± 0,032	33,831 ± 0,083	33,824 ± 0,030
20	33,865 ± 0,031	33,776 ± 0,032	33,839 ± 0,089	33,825 ± 0,031
30	33,860 ± 0,022	33,781 ± 0,028	33,821 ± 0,103	33,827 ± 0,026
50	33,872 ± 0,008	33,773 ± 0,026	33,806 ± 0,094	33,820 ± 0,013
75	33,854 ± 0,019	33,785 ± 0,007	33,869 ± 0,006	33,803 ± 0,006
TOTAL	33,861 ± 0,024	33,785 ± 0,024	33,832 ± 0,091	33,827 ± 0,020

Tabla I: valores medios horizontales (para cada capa) y totales (para todo el volumen) de temperatura y salinidad con sus desviaciones standard para cada campaña.

.....

El perfil promedio de salinidad presenta muy poca dispersión en la vertical (del orden o inferiores a 0,03 ‰) y en la horizontal, si bien no difieren demasiado del valor medio, las desviaciones son mayores, llegando a ser hasta tres veces más grandes en el crucero realizado en el mes de abril.

40 ANALISIS ESTACIONAL..

Las isopícnas en la Figura 2 muestran que la densidad puede aproximarse adecuadamente con la expresión lineal

$$\delta = \delta_0 [1 + \alpha(T_0 - T) + \beta(S - S_0)], \quad (1)$$

siendo: $\delta_0 = 1025 \text{ kg/m}^3$, $\alpha = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, $T_0 = 12 \text{ } ^\circ\text{C}$, $\beta = 7,6 \cdot 10^{-6} \text{ } \%.^{-1}$ y $S_0 = 33,8 \text{ } \%$, con la cual es más sencillo verificar que la evolución de la densidad es controlada casi exclusivamente por la temperatura. En efecto, cuando ajustamos la temperatura y la salinidad media de cada campaña a un valor medio más una señal anual, en la forma

$$\begin{aligned} \langle T(t) \rangle &= T_0 + T_1 \cos[w(t-t_0)] \text{ y} \\ \langle S(t) \rangle &= S_0 + S_1 \cos[w(t-t_0)], \end{aligned} \quad (2)$$

donde las barras $\langle \rangle$ indican promedio en todo el volumen del golfo, t es el tiempo en días contado a partir del 19 de enero y $w = 2\pi/365 \text{ d}$, se verificó que $\alpha T_1/\beta S_1 \approx 10$. Esto significa que las fluctuaciones temporales de la densidad son debidas fundamentalmente a las correspondientes variaciones de temperatura, como se observó en la Figura 2. Se hace notar que los ajustes realizados son significativos con un nivel de confianza superior al 90 % a pesar de haber ajustado una función con tres coeficientes libres a conjuntos de sólo cuatro datos (un sólo grado de libertad).

Por otra parte, considerando los valores medios totales y sus correspondientes desviaciones standard (espaciales) se obtuvo que $0,2 \leq \alpha\sigma_T/\beta\sigma_S \leq 6$ (σ simboliza la desviación standard). Esto indica que las desviaciones de la densidad respecto a su valor medio en cada crucero son controladas por la temperatura y la salinidad en forma conjunta, prevaleciendo una u otra variable de acuerdo al crucero que se considere.

3.2 Intercambios de calor y sal con la atmósfera y el golfo San Matías

Se planteó el balance de calor en el golfo igualando la diferencia entre la variación del contenido de calor y el flujo superficial al intercambio de calor por la boca, pues se desprecia el flujo en el fondo. Para los periodos entre campañas, la variación en el contenido de calor es proporcional a la diferencia de temperaturas medias (promedios espaciales) observadas, los flujos atmosféricos son estimados a partir de las expresiones empíricas recomendadas por Reed (1983) y el intercambio de calor con el golfo San Matías es calculado por diferencia entre los otros dos exigiendo un balance térmico perfecto. Con los registros horarios de temperatura y humedad del aire, rapidez del viento, presión y nubosidad obtenidos en la estación oceanográfica Golfo Nuevo, se calcularon los valores medios mensuales de estas variables necesarios para estimar los flujos atmosféricos. Se supuso que los valores así calculados son representativos de las condiciones imperantes en el golfo San José, a pesar de existir unos 70 km de distancia entre el golfo y la estación meteorológica. Se consideraron positivos los flujos entrantes al golfo ya sea por la superficie libre o por la boca. En la Tabla II se muestran los valores obtenidos para los términos involucrados en el balance de calor, así como también el de algunas variables relacionadas. Estos resultados indican que, si bien los flujos superficiales son en valor absoluto siempre mayores, los tres factores considerados son igualmente importantes.

Análogamente, se analizó el balance de sal considerando la variación de la cantidad de sal disuelta y los flujos a través de la superficie libre y la boca, por no existir aportes fluviales. Estos cálculos se llevaron a cabo siguiendo el procedimiento detallado por Rivas (1985). Los resultados (Tabla III) muestran que durante todo el año el flujo de sal en la interfase aire-agua es hacia el golfo (la precipitación es menor que la evaporación) y en la boca es hacia afuera (el agua que ingresa al golfo es más dulce), siendo ambos términos de mayor intensidad que la variación de la cantidad de sal disuelta. En otoño e invierno el mar está más caliente que el aire

originándose en la atmósfera una situación de inestabilidad que favorece la evaporación pues inhibe la saturación de las capas bajas, razón por la cual, el flujo de agua dulce se intensifica.

PERIODO	FLUJO SUPERFICIAL		CALOR ALMACENADO		FLUJO POR LA BOCA	
	$\int Q \, dA \, dt$ 10 ¹⁷ J	Q W/m ²	$\int \rho \, C \, T \, dV$ 10 ¹⁷ J	$\Delta T/\Delta t$ 10 ⁻³ °C/d	$\int q \, da \, dt$ 10 ¹⁷ J	q 10 ⁴ W/m ²
Agosto-diciem. 115 d	6,0	75,0	4,2	29,6	-1,8	-20,1
hiciem.-abril 121 d	6,1	72,0	2,9	18,8	-3,2	33,7
Abril-agosto 129 d	-10,0	-112,0	-5,8	-35,9	4,2	41,9
TOTAL ANUAL	2,1	8,1	1,3	2,9	-0,8	-2,8

Tabla II: términos del balance de calor calculados para los intervalos entre campañas. Q es el flujo superficial de calor, q el flujo de calor a través de la boca, A el área superficial, a el área de la boca, ρ la densidad, C el calor específico a presión constante y $\Delta T/\Delta t$ la rapidez de variación de la temperatura.

Se calcularon las temperaturas y salinidades medias interiores y exteriores correspondientes al promedio pesado de las 18 estaciones ubicadas en el golfo San José y al promedio de las tres ubicadas en el golfo San Matías, respectivamente. Para los tres periodos considerados se verifica que cuando el golfo San José está más caliente el flujo de calor es hacia el San Matías y viceversa. Lo mismo ocurre con la salinidad ya que, en promedio para cada periodo, siempre es más salino el golfo San José coincidiendo con su comportamiento de exportador de sal. Las diferencias encontradas entre los promedios interiores y exteriores, a pesar de ser pequeñas, son representativas pues son mayores que la suma de las desviaciones de cada promedio (estimada como la desviación standard de la muestra dividida por la raíz cuadrada del número de datos).

La evolución temporal de la densidad media (promedio espacial), de acuerdo con la ecuación de estado (1) y expresando las variaciones de la temperatura y salinidad medias en función de los flujos de calor y sal, es

$$d\rho/dt = -\rho/(\rho h) [Q + q \, a/A] + 1/h [F + f \, a/A], \quad (2)$$

donde C es el calor específico a presión constante (3990 J/kg °C), h la profundidad media equivalente (38 m), Q y q los flujos de calor (en W/m²) en la superficie libre y en la boca respectivamente, a el área de la boca (9 10⁶ m²), A el área de la superficie libre (8 10⁹ m²) y F y f indican los flujos de sal (expresados en kg/m² s) a través de la interfase aire-mar y de la boca, respectivamente. Al aplicar esta ecuación a los periodos entre cruceros (Tabla IV) se observa como contribuye cada uno de los flujos con-

42 ANALISIS ESTACIONAL ..

siderados a la variación de la densidad media del golfo. Las variaciones de densidad debidas al flujo neto de calor son, para cada periodo, al menos 10 veces más intensas que las que produce el flujo total de sal. Es decir, la temperatura regula la variación temporal de la densidad como ya fue puntualizado. Los flujos por la boca, ya sean de calor o sal, tratan de compensar a los flujos superficiales (sus efectos son de signo contrario), siendo estos últimos más importantes en la regulación de la densidad.

PERIODO	FLUJO SUPERFICIAL		SAL ALMACENADA		FLUJO POR LA BOCA	
	$\int F \, dA \, dt$	$\langle E-P \rangle$	$\int \delta \beta \, S \, dV$	$\Delta S/\Delta t$	$\int f \, da \, dt$	f
	10^8 kg	$m/año$	10^8 kg	10^{-6} \%/d	10^8 kg	$10^{-6} \text{ kg/m}^2\text{s}$
Agosto-diciem. 115 d	42,9	0,647	-18,0	-66,0	-60,9	-0,011,0
Diciem. abril 121 d	76,5	1,087	11,4	39,3	-65,1	-0,006,2
Abril-agosto 129 d	92,9	1,248	-1,4	-4,6	-94,3	-0,010,1
TOTAL ANUAL	212,3	1,005	-8,0	-7,2	-220,3	-774,1

Tabla III: términos del balance de sal calculados para los intervalos entre campañas. F es el flujo superficial de sal, f el flujo de sal a través de la boca, E la evaporación, P la precipitación, δ la densidad, β el coeficiente de contracción salina, A y a el área de la superficie libre y de la boca respectivamente y $\Delta S/\Delta t$ la rapidez de variación de la salinidad.

En los periodos agosto-diciembre y diciembre-abril (primavera y verano) el agua que ingresa al golfo por la boca es más fría y menos salada que el agua que sale. Como el resultado neto de este intercambio por la boca es un aumento de la densidad, se puede afirmar que el agua que ingresa es más densa que la que abandona el golfo. Por el contrario, en el periodo abril-agosto (otoño e invierno) el agua que abandona el golfo es más fría y más salada que la que ingresa, es decir, sale agua más densa que la que entra. En consecuencia, el egreso de agua será por el fondo y su comportamiento será el descrito por Defant (1961) como "hoya de concentración".

Se puede inferir que durante los meses de otoño e invierno (posiblemente en el periodo marzo-octubre), el golfo se comporta como una hoya de concentración, su densidad aumenta debido al doble efecto de la evaporación y el enfriamiento superficial, y se mantiene en promedio superior a la densidad exterior. Durante el resto del año, la evaporación sigue siendo superior a los aportes pluviales pero su contribución al aumento de densidad es pequeño y resulta superado por la dilución térmica que produce el exceso de radiación incidente. Este efecto de dilución neta es más efectivo dentro del golfo y explica que el agua que ingresa durante la primavera y el verano posea mayor densidad. La escasa profundidad del golfo y su restringida

comunicación con el océano hacen que el mismo sea más eficientemente influido por la atmósfera que el mar abierto y, en consecuencia, la diferencia de densidades entre ambos cambia de signo a lo largo del año.

PERIODO	FLUJO SUPERFICIAL		FLUJO POR LA BOCA		NETO
	CALOR: Q	SAL: F	CALOR: q	SAL: f	
Agosto- diciem. 115 d	-8,9	1,4	2,7	-2,0	-6,2 CALOR -0,6 SAL
Diciem.- abril 121 d	-8,5	2,4	4,5	-2,0	-4,0 CALOR 0,4 SAL
Abril- agosto 129 d	13,3	2,7	-5,6	-2,8	7,7 CALOR -0,1 SAL

Tabla IV: variación temporal de la densidad media calculada para los intervalos entre campañas (en 10^{-3} kg/m³).

3.3 Fluctuaciones interanuales

La temperatura media del golfo es regulada, si se desprecia el intercambio de calor con el lecho marino, por los flujos de calor a través de la superficie libre y la boca del golfo. Entonces, la diferencia encontrada entre agosto de 1984 y agosto de 1985 sólo puede deberse a la variación de esos flujos respecto a la señal climatológica estacional.

Se analizó el comportamiento de los promedios mensuales de las variables meteorológicas (temperatura, humedad, presión, velocidad del viento y nubosidad) observados en la estación Golfo Nuevo durante los periodos comprendidos entre mayo y septiembre de los años 1982 a 1986 inclusive, respecto a la estadística climática confeccionada para el periodo 1901-1950 en la ciudad de Puerto Madryn (Servicio Meteorológico Nacional, 1958). Salvo para temperatura y en menor medida rapidez del viento, no se encontraron diferencias notables en los parámetros atmosféricos entre los años de interés (1984 y 1985) ni con el resto de los registros disponibles para comparar. Para el periodo comprendido entre el 19 de junio y el 15 de agosto (aproximadamente dos meses y medio antes de cada campaña) se encontró que el año 1985 fue del orden de 2,5 °C más cálido y con vientos en promedio 0,5 m/s menores que el año 1984 (Figuras 3.a y 3.b). Por otra parte, con las expresiones empíricas empleadas para estimar el flujo superficial neto de calor se calculó, para las condiciones encontradas en el golfo San José en invierno, que dicho flujo es aproximadamente 15 W/m² mayor por cada grado que decrece la temperatura del aire, disminuye unos 30 W/m² cuando la rapidez del viento se incrementa 1 m/s y disminuye del orden de 20 W/m² cuando la temperatura del mar crece 1 °C. Entonces, si suponemos que durante los dos meses y medio anteriores a las campañas de agosto el mar estuvo 1 °C más frío en 1984 que al año siguiente y consideramos las diferencias climáticas descritas, podemos estimar en 33 W/m² el exceso de calor emitido en ese periodo de 1984 respecto a su similar de 1985, o, de acuerdo con la geometría de la cuenca, en una diferencia de 1,35 °C en las temperaturas medias.

Si discriminamos en cada tipo de radiación podemos especificar que

mientras las radiaciones de onda larga y corta no varían mayormente, el calor latente cedido por evaporación y el calor sensible entregado a la atmósfera por conducción son en promedio 20 W/m^2 y 13 W/m^2 respectivamente mayores en el invierno de 1984. En la Figura 4 se han graficado los flujos de calor en la interfase aire-mar calculados a partir de expresiones empíricas y con los datos meteorológicos y oceanográficos disponibles para el período mayo/84 a agosto/85, pudiendo constatarse las diferencias antes mencionadas. Si consideramos el exceso de evaporación asociado al aumento de calor latente producido por las variaciones climáticas, se encuentra que en agosto/84 la salinidad media debe ser del orden de 0,04 % mayor que en agosto/85, valor este que concuerda aceptablemente con las observaciones ($\Delta S = 0,03 \%$).

Los análisis realizados en base a las diferencias climáticas halladas, justifican para la temperatura y la salinidad variaciones interanuales aproximadamente un 30 % mayores que las observadas. Posiblemente, los efectos producidos sobre las condiciones medias del golfo por variaciones en los flujos atmosféricos, son atenuados al modificarse los flujos a través de la boca. Esto es razonable pues como ya fue mencionado los flujos por la boca tratan de compensar a los flujos superficiales.

De acuerdo a los resultados encontrados por Taylor (1983) para el canal Inglés, las fluctuaciones de los flujos superficiales de calor son los responsables principales de los cambios interanuales en la temperatura, un resultado similar ha sido obtenido para el golfo San José.

3.4 Evolución anual

Los datos de temperatura y salinidad fueron reducidos a perfiles verticales promedios. La evolución temporal experimentada por esos perfiles en el intervalo de tiempo comprendido entre el primer y el último crucero, es mostrada en la Figura 5.

Para temperatura se observa en primavera y verano una débil estratificación que alcanza sus máximos valores de estabilidad en los meses de enero y febrero. Luego, la columna de agua se torna casi isotérmica. La intensidad de la mezcla vertical se manifiesta por el hecho de que aún en los períodos de calentamiento superficial, la temperatura del fondo varía con prácticamente la misma velocidad que la de superficie. El golfo San José responde casi sin retardo al forzado atmosférico. En efecto, a través de las Figuras 4 y 5.a se puede ver que coincidiendo con el cambio de signo en el flujo superficial de calor (septiembre y marzo) se inician los procesos de calentamiento o enfriamiento, además, estos procesos alcanzan su mayor rapidez en los meses en que el forzado atmosférico alcanza sus valores extremos (enero y mayo).

Los promedios horizontales de temperatura (Tabla I) fueron ajustados a un valor medio más una oscilación anual, con una ecuación similar a la (2), lográndose explicar un gran porcentaje de la varianza (más del 99 % con un nivel de confianza superior al 90 %) como puede comprobarse en la Figura 6. En esta se han graficado las curvas ajustadas, los cuatro juegos de valores medios usados para calcular los coeficientes de los ajustes (que son la base de datos usada para este trabajo) y los valores observados por Boschi y Fenucci (1972), Brandhorst y col. (1971), Pizarro (1976) y en las campañas Norpat I y II (Centro Nacional Patagónico, inédito), que constituyen el total de datos disponibles para comparar. Se verifica que a pesar de las variaciones interanuales, un ajuste de este tipo constituye un eficaz predictor de la señal anual de temperatura.

En el caso de la salinidad, la estratificación en verano y otoño es más notable (algunas isolíneas son casi horizontales) mientras en invierno la evaporación y el enfriamiento ayudan a que la columna de agua sea casi homogénea y con valores más altos.

4. CONCLUSIONES

La poca profundidad del golfo San José hace que la relación entre el

área superficial y la profundidad media equivalente sea muy grande comparada con los valores que toma ese cociente en el exterior, además, su comunicación con el golfo San Matías está restringida por el umbral que hay en la boca. Ambos factores contribuyen a que los intercambios de calor y masa con el aire sean fundamentales en la regulación de la temperatura y la salinidad medias del golfo, y a que la inercia del mismo respecto a las fluctuaciones atmosféricas sea muy reducida. En efecto, los flujos superficiales son los principales responsables de la señal anual del campo térmico y de las variaciones interanuales encontradas en los datos analizados.

Como además sus efectos se extienden a los flujos a través de la boca, de su análisis fue posible inferir que el intercambio de agua con el golfo San Matías fluctúa a lo largo del año. En otoño e invierno, debido al enfriamiento superficial y a la evaporación, la densidad del golfo alcanza un máximo respecto al exterior forzando a que el ingreso de agua sea por la superficie. Durante el resto del año, a pesar de la evaporación, la ganancia de calor por la superficie hace que la densidad interior sea inferior y, en consecuencia, el agua que ingresa sea la más densa.

La influencia del viento y las corrientes de marea sobre la estratificación en áreas de poca profundidad, ha sido cuantificada por Simpson y Hunter (1974). En el golfo San José, los vientos intensos son un fenómeno común y la marea alcanza amplitudes inusualmente grandes, por ese motivo, la columna de agua permanece bien mezclada durante casi todo el año y sólo se manifiesta una débil estructura vertical en los meses de máximo calentamiento superficial.

Agradecimientos

Se agradece muy especialmente a Pedro Ripa y Sergio G. Marinone por la revisión crítica de este trabajo y las observaciones y sugerencias realizadas. El señor Gonzalo Lana confeccionó todos los gráficos con singular maestría.

REFERENCIAS

- Boschi, E.E., Fenucci, J.L., 1972: Contribución al conocimiento de la fauna marina del golfo San José; *Physis*, XXXI, 82, 155-167.
- Brandhorst, W., Castello, J.P., 1971: Evaluación de los recursos de anchoita (*Engraulis anchoita*) frente a la Argentina y Uruguay. I Las condiciones oceanográficas, sinopsis del conocimiento actual y el plan para su evaluación; Proyecto de Desarrollo Pesquero, Serie Informes Técnicos, Nº 29.
- Defant, A., 1961: *Physical Oceanography*; vol. 1, Pergamon Press, Oxford.
- Pizarro, M.J., 1976: Análisis de los resultados de la primera campaña oceanográfica en el golfo San José; Centro Nacional Patagónico, Informe Técnico 1,10.2.
- Read, R.K., 1983: Heat fluxes over the Eastern Tropical Pacific and aspects of the 1972 El Niño; *J. Geophys. Res.*, 88, 9627-9638.
- Rivas, A., 1985: Balance estacional de calor y sal en golfo Nuevo, Argentina, Tesis de Maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, México, 117 pp..
- Servicio Meteorológico Nacional, 1958: Estadísticas climatológicas periodo 1901-1950, Publicación 8, Nº 3.
- Servicio de Hidrografía Naval, 1985: Tablas de marea para el año 1985, Publicación H. 160, Armada Argentina.
- Simpson, J.H., Hunter, J.R., 1974: Fronts in the Irish Sea, *Nature*, 250, 404-406.
- Taylor, A.H., 1983: Spectral response of a model of the English Channel and southern North Sea heat budgets 1961 to 1976, *Continental Shelf Research*, 2, 331-334.

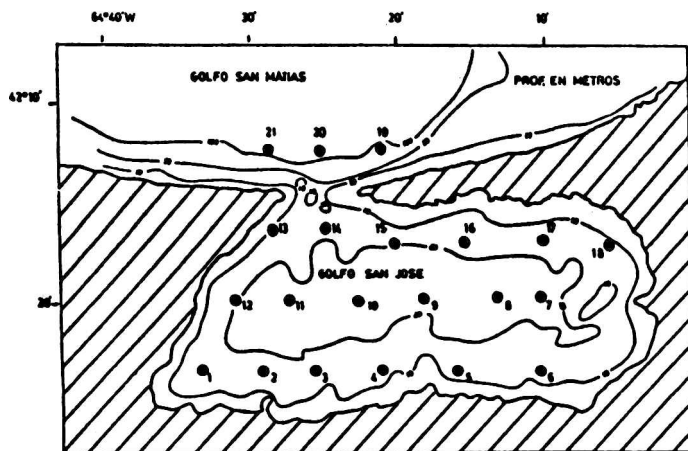


Figura 1: carta batimétrica del golfo San José y localización de las estaciones hidrográficas (adaptada de la carta H-215 confeccionada por el Servicio de Hidrografía Naval).

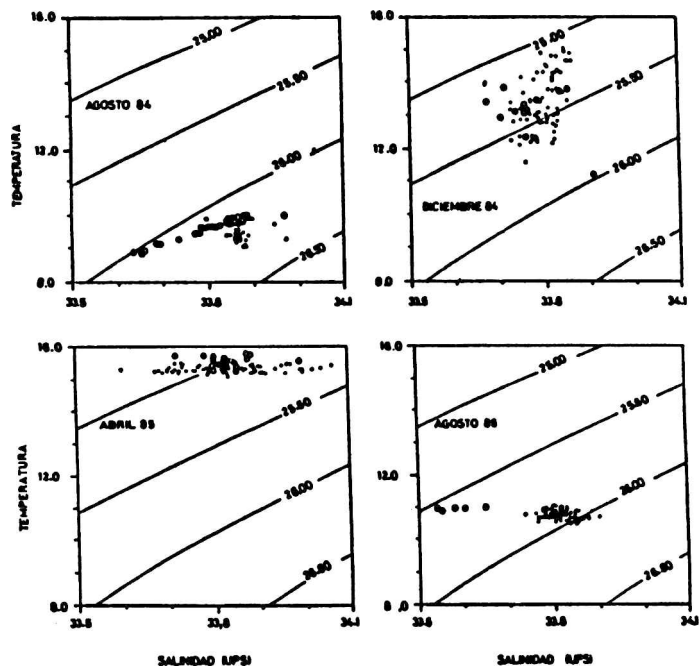


Figura 2: diagramas T-S por campaña. Con puntos se indican las estaciones interiores al golfo y con círculos las estaciones exteriores.

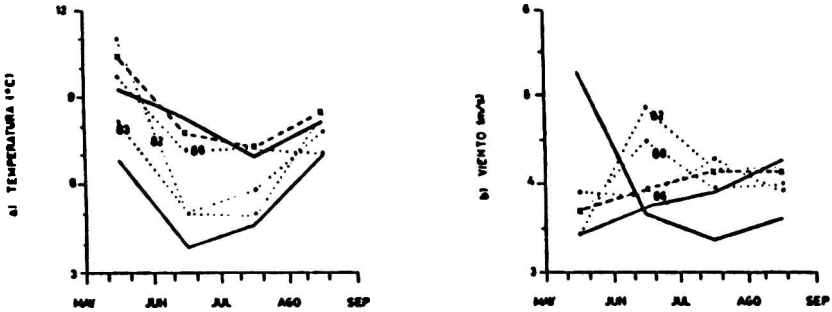


Figura 3: valores medios mensuales de temperatura del aire (a) y velocidad del viento (b) para los años; 1984 (línea fina), 1985 (línea gruesa), 1982, 1983 y 1986 (líneas punteadas) y valores climatológicos (línea quebrada).

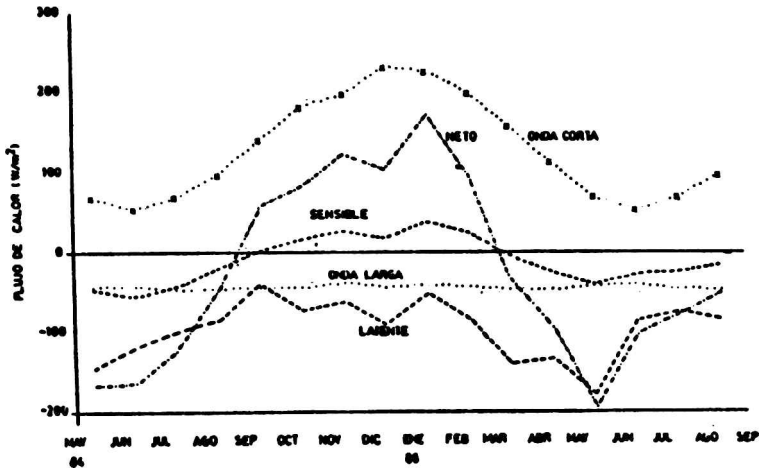


Figura 4: flujos de calor en la interfase aire-mar en función del tiempo. Se consideran positivos los flujos que ingresan al golfo.

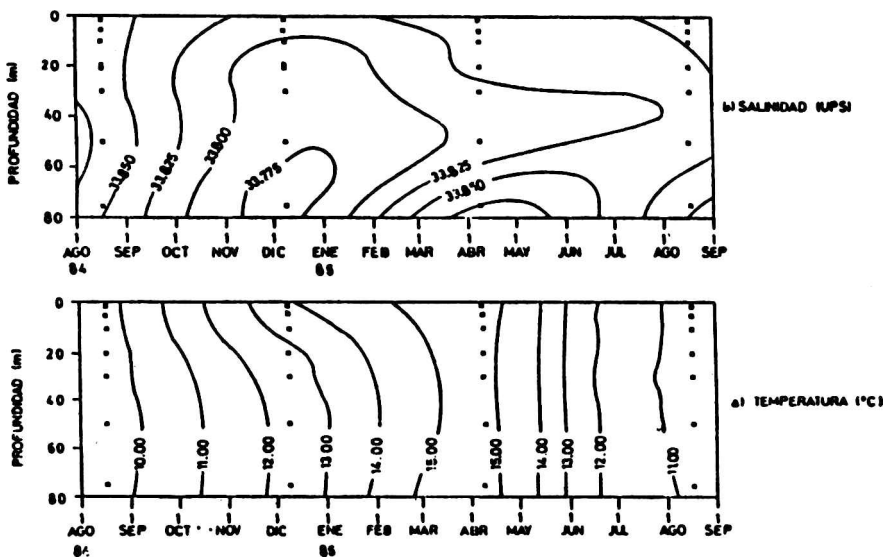


Figura 5: valores medios horizontales de temperatura (a) y salinidad (b) en función de la profundidad y del tiempo. Los puntos indican las observaciones.

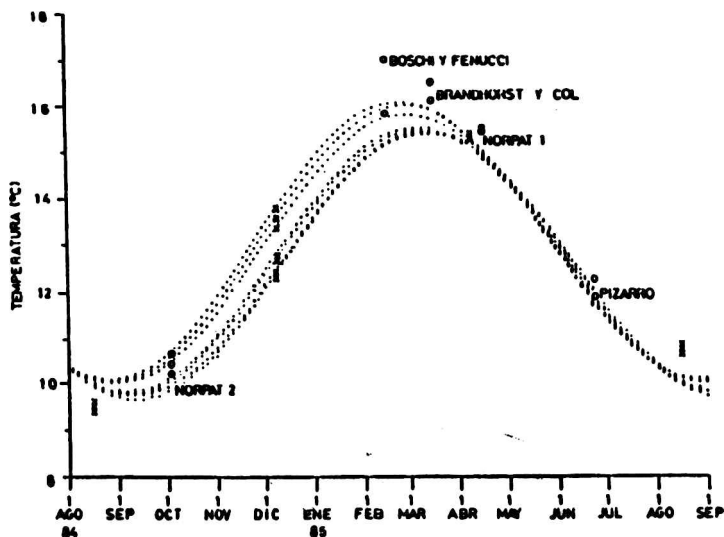


Figura 6: valores medios horizontales de temperatura. Ajustes teóricos (líneas punteadas), observaciones usadas para calcular los coeficientes del ajuste (x) y observaciones usadas para comparar (o) con BUS referencias.