

CORRIENTES EN LA REGION DE LA BOCA DEL GOLFO DE
CALIFORNIA EN LA PRIMAVERA DE 1970.

por:

LUIS GUSTAVO ALVAREZ SANCHEZ
Unidad de Ciencias Marinas
Apartado Postal 453
Ensenada, B.C., México

BRUCE WYATT
Oregon State University
Corvallis, Oregon 97331
U.S.A.

MERRITT R. STEVENSON
Comisión Interamericana del Atún Tropical
La Jolla, California 92093
U.S.A.

RESUMEN.

Se estudió la circulación en los 250 metros superiores de la región de la boca del Golfo de California, frente a la Paz, durante principios de primavera de 1970. La circulación geostrófica se compara con las corrientes medidas con flotadores libres, entre 0 y 250 metros, en tres estaciones. Las estaciones hidrográficas y las observaciones de corrientes están distribuidas en dos semanas.

Las corrientes medidas directamente concuerdan con la circulación general determinada por el método geostrófico. Ambos métodos muestran ser consistentes en mas de 70 % en una estación y en mas de 85 % en las dos restantes. Las corrientes geostróficas decrecieron en magnitud al aumentar la profundidad. Al compararlas con las mediciones se encontró que en los 100 metros superiores la circulación fue predominantemente baroclínica.

CORRIENTES GOLFO DE CALIFORNIA

SUMMARY.

The circulation in the upper 250 meters in the region of the mouth of the Gulf of California was studied in early spring of 1970. Geostrophic currents were compared with drogue observations from 0 to 250 meters, at three stations. The hydrographic stations and drogue tracking were completed within two weeks.

The drogue observations were in agreement with the general circulation pattern inferred from the geostrophic currents. Drogue and geostrophic velocities showed agreement better than 70 % in one station, and better than 85 % in the other two. The decrease of geostrophic velocity with depth indicates that a baroclinic condition existed. Comparison of these velocities with the drogue measurements indicates that a baroclinic condition was predominant in the upper 100 meters.

INTRODUCCION.

Los estudios de intercambio de agua a través de la Boca del Golfo de California se han hecho en dos formas: mediante balance de agua y sal y mediante transporte calculado por corrientes geostróficas. El primero proporciona transporte promedio estacional mientras el segundo da información sobre la circulación durante el tiempo que dura el muestreo hidrográfico. Generalmente este muestreo ha durado algunos días. El nivel de referencia en que se han basado los cálculos geostróficos varía para cada estudio dependiendo, en muchos casos, de la profundidad del muestreo.

Los estudios de Griffiths (1968), al Sur de la boca del Golfo muestran corrientes geostróficas referidas a 500 y 1000 metros. En abril y mayo se presentaron corrientes con intensidades de 10 a 40 cm/seg y con inversiones en el sentido de flujo a través de la boca. Stevenson (1970) presenta una distribución anual de corrientes geostróficas al sur de la boca, con referencia a 250 metros. Las intensidades fueron cercanas a 20 cm/seg en la superficie y disminuyeron a menos de la mitad a 100 metros de profundidad. Warsh y Warsh (1971) estudiaron las discrepancias entre los transportes de agua entrando y saliendo del Golfo a través de la boca. Propusieron un nivel de referencia variable entre 200 y 800 metros aproximadamente, asumiendo concordancia entre los volúmenes de entrada y salida de

agua y flujo del agua del Golfo de California hacia el exterior, sobre el margen Oeste de la boca. Roden (1972) da la descripción mas detallada de la circulación baroclínica a través de la boca, para diciembre de 1969. Las corrientes geostróficas referidas a 1500 metros muestran núcleos de circulación entrando y saliendo del Golfo hasta los 600 metros de profundidad. Se detectaron corrientes muy intensas, entre 40 y 50 cm/seg.

En esta región no se han efectuado muestreos de hidrografía y medición de corrientes simultáneamente para establecer una comparación entre la circulación determinada por el método geostrófico y la corriente total obtenida con mediciones. Este trabajo se orienta a establecer una comparación entre ambos métodos analizando datos hidrográficos y medición de corrientes hecha con flotadores libres en la región de la boca del Golfo de California, frente a la Paz (Fig. 1).

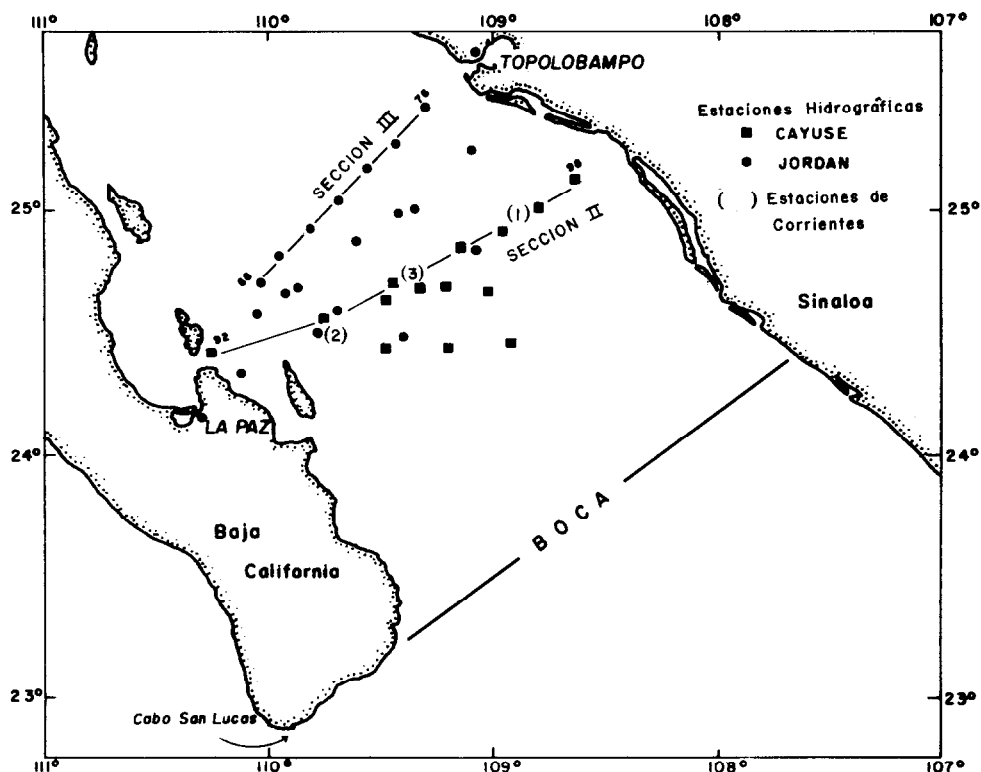


Figura 1. Estaciones hechas en la región de la boca del Golfo de California en marzo y abril de 1970.

CORRIENTES GOLFO DE CALIFORNIA

DATOS.

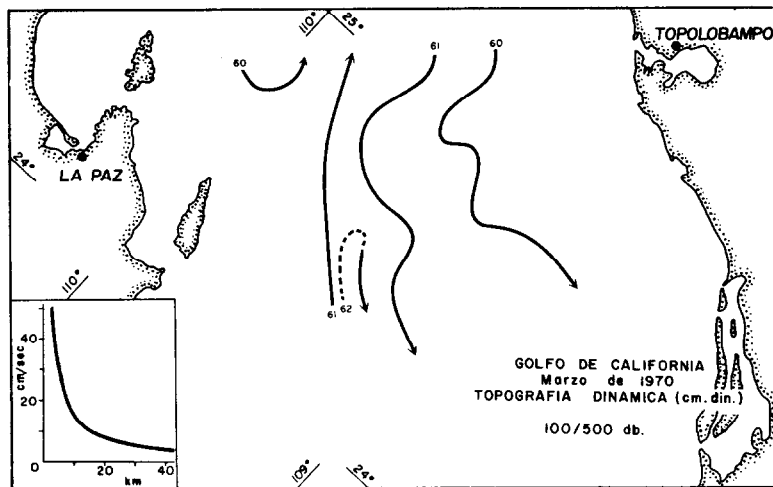
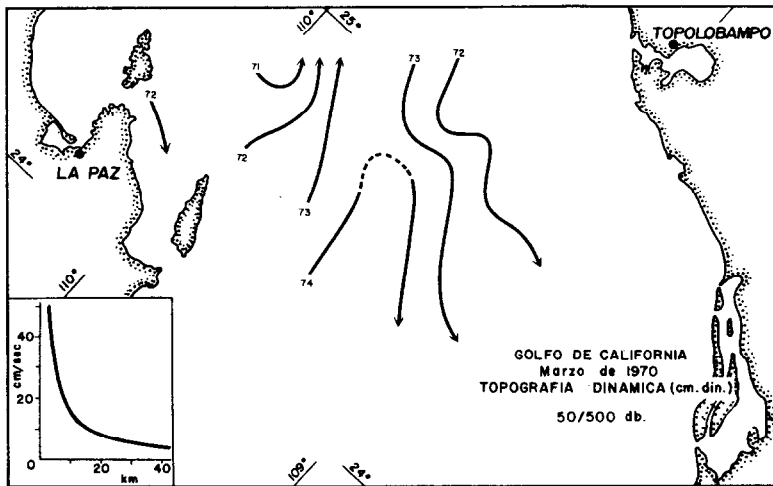
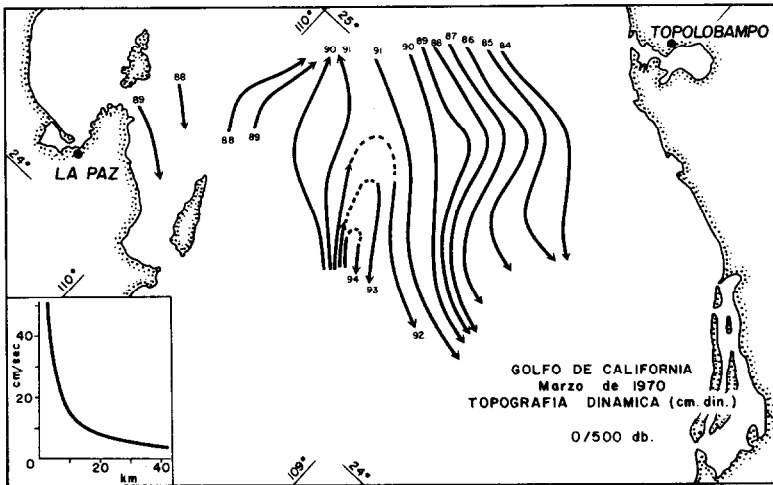
Las observaciones hidrográficas y de corrientes fueron hechas a bordo de los barcos oceanográficos "Cayuse" de Oregon State University y "David Starr Jordan" del National Marine Fisheries Service de Estados Unidos de América. Los datos hidrográficos fueron obtenidos entre el 20 y 23 de marzo de 1970 y se describen en este mismo volumen (Alvarez Sánchez, Stevenson y Wyatt, 1978).

El "Cayuse" hizo mediciones de corrientes mediante flotadores libres en tres estaciones localizadas en la región de la boca del Golfo de California e indicadas en la sección II de la figura 1. Las estaciones, marcadas con los números 1, 2 y 3, fueron hechas en marzo 18, marzo 23 y abril 3, respectivamente. Los flotadores libres fueron del tipo con paracaídas, similares a los descritos por Volkman, Knauss y Vine (1956). En cada estación se lanzaron cuatro flotadores libres, uno a cada una de cuatro profundidades: 9, 50, 110 y 250 metros. Estos fueron localizados cada 15 minutos por medio de radar y se siguió su trayectoria por tiempos que variaron entre 18 y 26 horas. Con el radar utilizado, las distancias se midieron con un error de ± 20 metros y los ángulos con error de ± 0.25 grados. El procedimiento para las mediciones fué similar al descrito por Stevenson, Pattullo y Wyatt (1969). Los datos hidrográficos fueron procesados por la Comisión Interamericana del Atún Tropical. Las mediciones de corrientes fueron analizadas en Oregon State University mediante los programas de computadora descritos por Wyatt, Stevenson, Gilbert y Pattullo (1967).

ANALISIS DE DATOS.

Los datos hidrográficos fueron procesados para obtener la distribución horizontal de corrientes geostroficas a 0, 50 y 100 metros en forma de topografía dinámica referida a la superficie de 500 decibares (Figura 2, 3 y 4). La distribución vertical de corrientes geostroficas y el transporte a través de la boca se discuten por separado (Alvarez Sánchez, et. al. 1978).

En las mediciones de corrientes, la trayectoria de cada flotador libre fue analizada para obtener la velocidad media, sus componentes (u), positiva al Este y (v),



Figuras 2, 3 y 4. Topografía dinámica de las superficies 0 sobre 500, 50 sobre 500 y 100 sobre 500 decibares. Los números indican altura dinámica en centímetros dinámicos y las flechas indican el sentido de la corriente. El monograma de la izquierda da intensidad de la corriente geostrofica en función de la separación entre contornos de altura dinámica.

CORRIENTES GOLFO DE CALIFORNIA

positiva al Norte. Además, se obtuvieron componentes de la velocidad en direcciones normal y paralela al eje del Golfo de California en la región de la boca (Tabla 1).

Se utilizó el método de autocorrelación para obtener el período dominante del movimiento de cada flotador (definido como el período asociado a la máxima amplitud). Este método se empleó para las mediciones de corrientes en la forma descrita por Stevenson (1966) y Wyatt, *et. al.* (1967). La ventaja de este procedimiento es que puede aplicarse a series de tiempo de duración corta. Una y media o dos veces la magnitud del período dominante son suficientes. Una desventaja importante es que no existe un método riguroso para conocer la confiabilidad del período computado. El único índice usado en los trabajos previos es el parámetro de dispersión de la serie (ρ) definido como

$$\rho = \frac{1}{2 \sigma_1^2}$$

donde σ_1^2 es la variancia de la primera serie transformada en el proceso de autocorrelación. Debido a que la variancia de una variación sinusoidal pura es $\sigma^2 = 1/2$, los valores de (ρ) cercanos a 1.0 indican una estimación confiable del período. Stevenson (1966) considera que el período calculado es aceptable si (ρ) está entre 1.0 y 1.3.

La determinación de las amplitudes de oscilación de las trayectorias para los períodos dominantes se efectuó por análisis de Fourier. Los resultados están resumidos en la Tabla 2. Las trayectorias para las tres estaciones se presentan en las figuras 5, 6 y 7.

DISCUSION.

La topografía dinámica de las figuras 2, 3 y 4 indican la persistencia de los rasgos principales de la circulación entre 0 y 100 metros. Las regiones de entrada y salida del agua parecen estar conectadas por circulación transversal que sugiere la presencia de un giro anticiclónico. Griffiths (1968) presentó la topografía dinámica al Sur de la boca en la primavera de 1960 en donde los contornos indican la posibilidad de giros. Estos pueden compararse a los que se presentan cercanos a la costa en la Corriente de California al Sur de Punta Concepción y Punta Eugenia (Schwartzlose y Reid, 1972).

ALVAREZ SANCHEZ - WYATT - STEVENSON

Estación	Prof. (m)	Duración (hrs.)	Veloc. Media (cm/seg.)			Dirección (grados)	Componentes respecto eje del Golfo (cm/seg)	
			u: Este	v: Norte	c		normal	paralela
1 Mar 18	9	26.5	17	-22	28	142°	1	-29
	50	26.5	15	-16	22	137°	3	-22
	110	26.0	14	-7	16	115°	3	-14
	250	26.0	8	-8	11	133°	3	-11
2 Mar 23	7	18.0	-30	14	33	294°	-17	28
	50	18.0	-10	4	11	291°	-6	17
	110	18.0	-7	4	8	298°	-4	7
	250	16.0	0	0	0		0	0
3 Abr 3	7	25.5	42	1	42	89°	34	-23
	50	25.0	27	1	27	88°	23	-15
	110	25.0	25	-5	26	99°	18	-18
	250	24.0	22	0	22	91°	18	-13

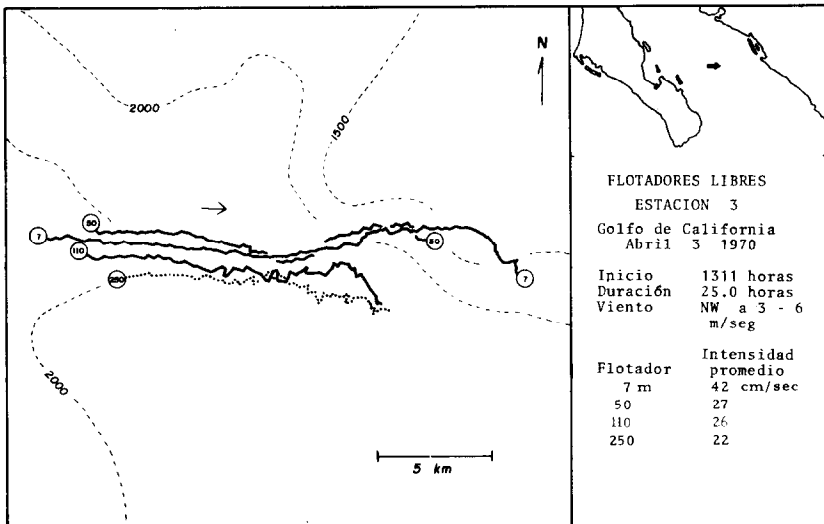
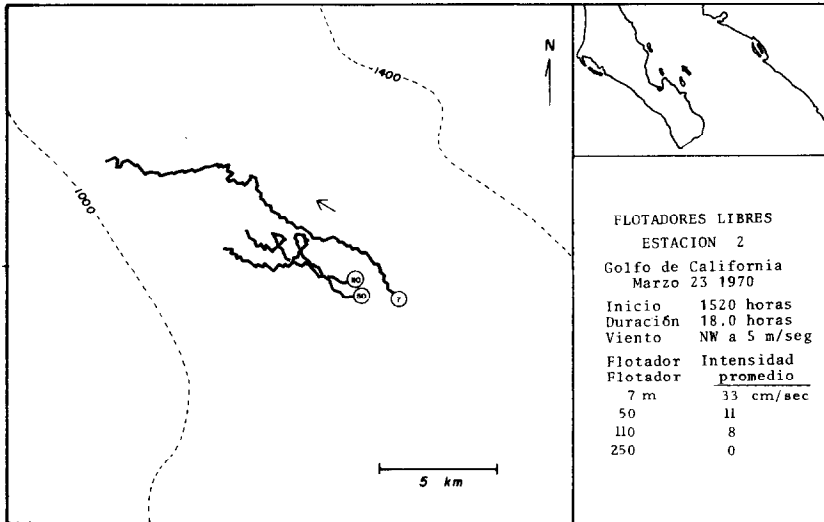
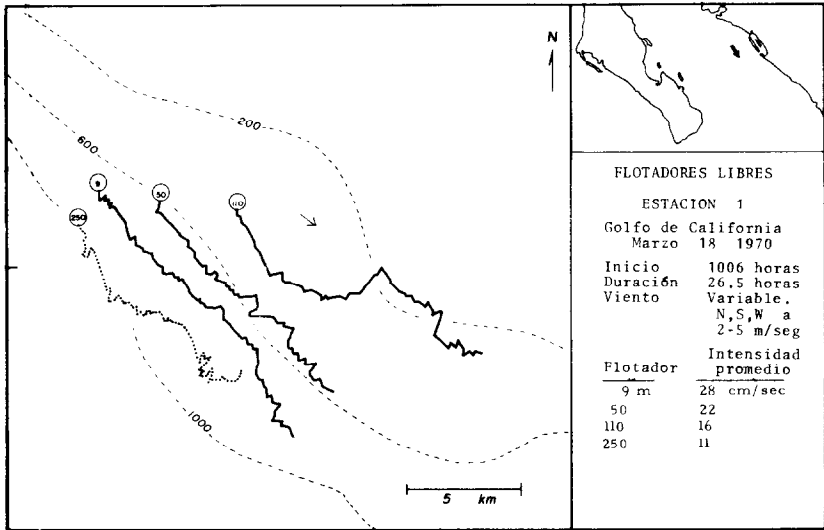
Tabla 1. Resumen de los resultados de las observaciones de corrientes en la región de la boca del Golfo de California. Primavera de 1970.

Estación	Prof. (m)	Período (hrs)		Amplitud (km)		ρ_x	ρ_y
		T_x	T_y	A_x	A_y		
1 Mar 18	9	17.5	11.3	0.7	0.2	1.38	1.27
	50	4.3	13.5	0.1	0.4	1.59	2.13
	110	15.8	14.8	0.6	0.9	1.67	1.34
	250	26.8	12.0	0.5	0.6	1.77	1.30
2 Mar 23	7	12.0		0.6		1.22	
	50	14.0	14.0	1.1	1.5	1.17	1.05
	110	14.5	13.0	0.9	0.5	0.84	1.59
	250	10.5	10.0	0.7	0.3	1.12	2.09
3 Abr 3	7	10.8	22.0	0.4	0.9	1.27	1.43
	50	25.0	14.0	1.2	0.8	1.11	1.36
	110	16.5	11.8	1.4	0.2	0.91	2.41
	250	11.8	13.5	1.0	0.5	1.72	0.87

Tabla 2. Resultados de la autocorrelación y análisis de Fourier en las tres estaciones de medición de corrientes. Región de la boca del Golfo de California, primavera de 1970.

CORRIENTES GOLFO DE CALIFORNIA

Figuras 5, 6 y 7. Trayectoria de los flotadores libres en las estaciones 1, 2 y 3. El número en círculo indica la profundidad de medición. Se indica el sentido de flujo. Isobatas en metros.



La distribución espacial de las regiones de entrada y salida en la región de la boca del Golfo no concuerdan completamente con lo descrito en trabajos previos pero sobresalen algunos rasgos comunes a pesar del carácter tan variable de la circulación.

Comunmente se encuentra salida de agua a través de la boca sobre el margen Oeste en junio, julio, agosto y diciembre (Stevenson, 1970; Warsh y Warsh, 1971; Roden, 1972; Warsh, et al., 1973). La circulación geostrófica obtenida en este estudio, para principios de primavera de 1970, indica salida de agua principalmente sobre el margen Este de la boca. Esto último concuerda con los datos de Griffiths para la primavera de 1960 y de Stevenson para invierno y primavera de 1967.

Con respecto a las mediciones directas de corrientes, se observa en las figuras 5, 6 y 7 que el desplazamiento resultante de los flotadores es en el mismo sentido desde la superficie hasta 250 metros y presentan una disminución de la intensidad de la corriente con profundidad. Únicamente en la estación 2, frente a Baja California, la intensidad decrece hasta valores cercanos a cero a 250 metros mientras que en las estaciones 1 y 3, en el Este y centro de la boca, las intensidades a 250 metros son 11 y 22 cm/seg, respectivamente.

La circulación obtenida por mediciones directas no está en desacuerdo con la descrita mediante el método geostrófico, a pesar de las limitaciones de éste último y la complejidad de las condiciones oceanográficas en la región de la boca del Golfo. Las características más sobresalientes de la circulación aparecen en ambos métodos, o sea, el flujo hacia el interior del Golfo en el margen Oeste y flujo hacia el exterior en el margen Este. En la estación 3, en la parte media de la sección, se presentó un flujo conectivo entre los dos anteriores, hacia el Este, que sugiere un giro anticiclónico similar al que resulta por el método geostrófico (Fig. 8), aunque las trayectorias de ambos métodos se cruzan a un ángulo de 45 grados aproximadamente, en la superficie. Esto puede ser el resultado de la diferencia en tiempo entre las tres estaciones de medición de corrientes. La estación 3 fue efectuada de 10 a 15 días después que las estaciones 1 y 2. Se ha encontrado que la trayectoria de las partículas de agua son paralelas a los contornos de topografía dinámica solo en circunstancias excepcionales. Además, el método geostrófico se aplicó con datos que cubren una escala de tiempo de una semana, aproximadamente, y las mediciones de corrientes están distribuidas en dos semanas. Las mediciones directas representan promedios sobre un día cada una.

CORRIENTES GOLFO DE CALIFORNIA

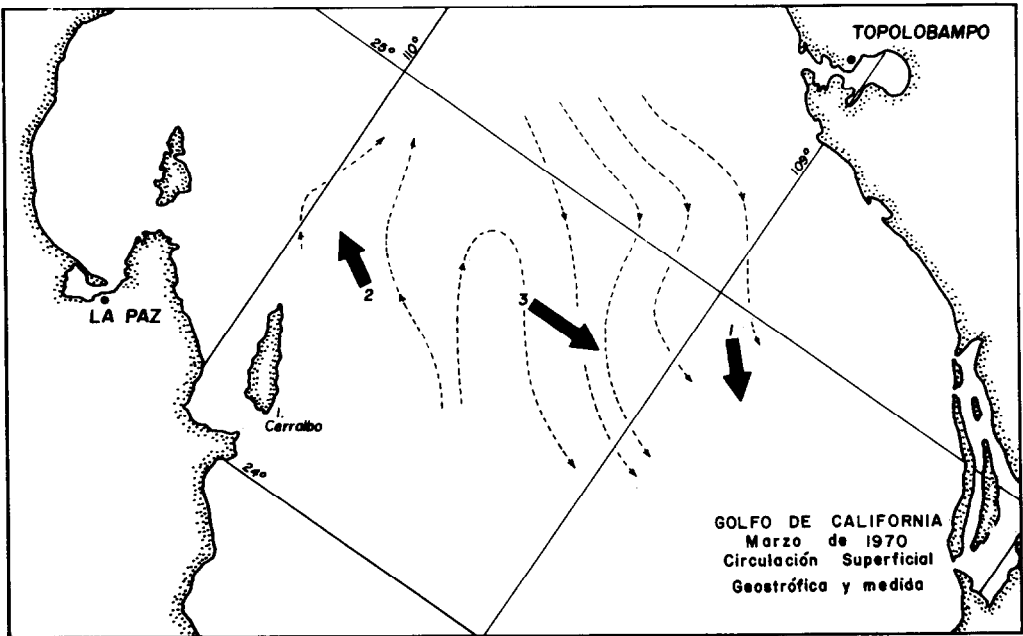


Figura 8. Circulación geostrófica en la superficie (-----) y desplazamiento de los flotadores libres en la superficie (flechas), en las estaciones 1, 2 y 3.

Las mediciones directas pueden utilizarse para estimar la confiabilidad de las corrientes calculadas por el método geostrófico. El movimiento de los flotadores está referido a un punto fijo en tierra de tal manera que la corriente determinada representa la corriente total en el nivel de medición. La duración de las mediciones abarca de 1.5 a 2.0 períodos semidiurnos y se asume que el efecto de marea se elimina en los desplazamientos resultantes. El método geostrófico determina la parte baroclínica de la circulación pero no determina la parte barotrópica. Comparando los resultados de ambos métodos se encuentra que las corrientes en los 100 metros superiores concuerdan en más de 70% en la estación 2 y más de 85% en las estaciones 1 y 3. Estas comparaciones se hicieron tomando componentes del movimiento paralelas al eje del Golfo y se presentan gráficamente en la figura 9. Estos datos demuestran que la circulación fue predominantemente baroclínica, principalmente en los 100 metros superiores donde las corrientes son más intensas.

Con respecto a la circulación general definida por ambos métodos y por estudios anteriores, el giro que se describe en la región de la boca es anticiclónico durante la primavera, cuando la circulación general fuera del Golfo es hacia el Sureste. En otoño y verano esta última se invierte fluyendo

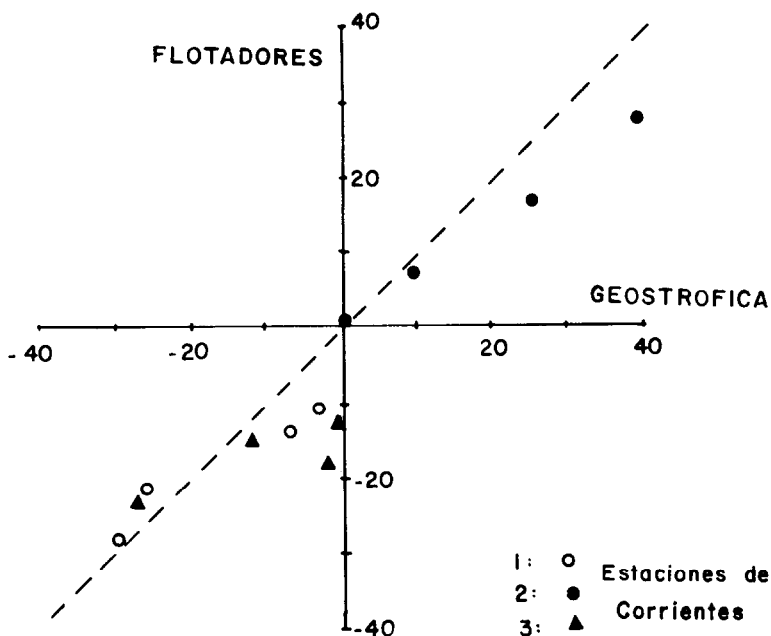


Figura 9. Comparación entre la intensidad de la corriente medida con flotadores y la geostrofica, en dirección paralela al eje del Golfo de California. La recta punteada está a 45° como referencia.

hacia el Noroeste. Posiblemente el giro que se observa en primavera se invierta a sentido ciclónico como se propone en la figura 10. Esta simplificación posiblemente explique los cambios espaciales de las regiones de entrada y salida de agua durante el año. La existencia de este giro y sus variaciones se podrá comprobar mediante estudios estacionales mas completos.

Los cambios de corto período que se observaron en las mediciones fueron los asociados con las mareas semidiurnas (Tabla 2). Los cálculos de períodos dominantes se hicieron para las componentes (x, y) del movimiento de los flotadores. Los periodos T_y estan mas cercanos a 12.5 horas y corresponden a oscilaciones en dirección Norte-Sur (Fig. 11). Estos sugieren la influencia de las mareas semidiurnas aunque no es posible cuantificar su efecto por la corta duración de las mediciones. Estos resultados concuerdan con las corrientes de marea descritas en el modelo teórico presentado por Grijalva (1972). En este estudio se indica que las corrientes de marea en la región de la boca del Golfo producen movimientos oscilatorios predominantemente en la dirección Norte-Sur.

CORRIENTES GOLFO DE CALIFORNIA

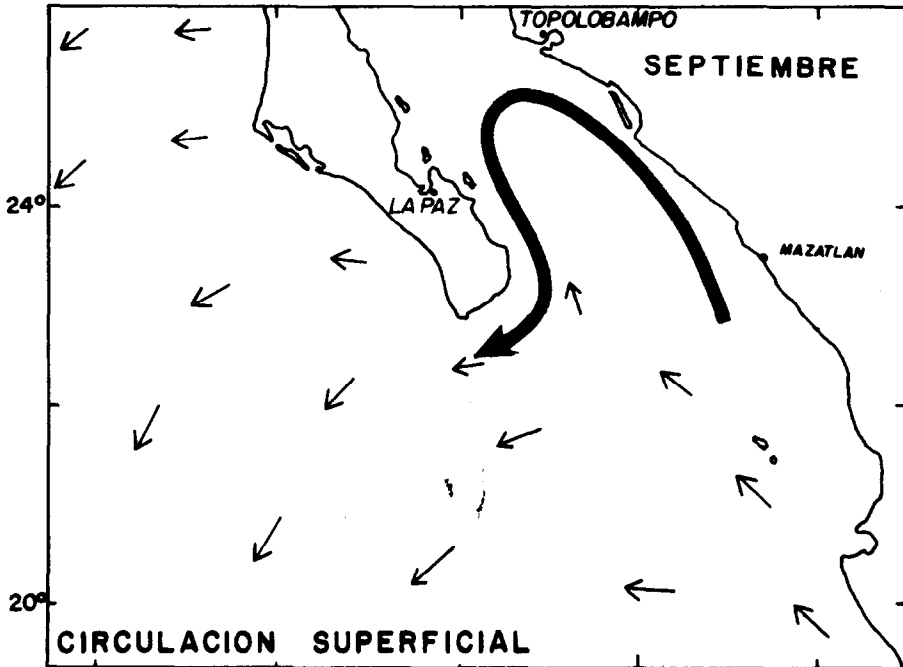
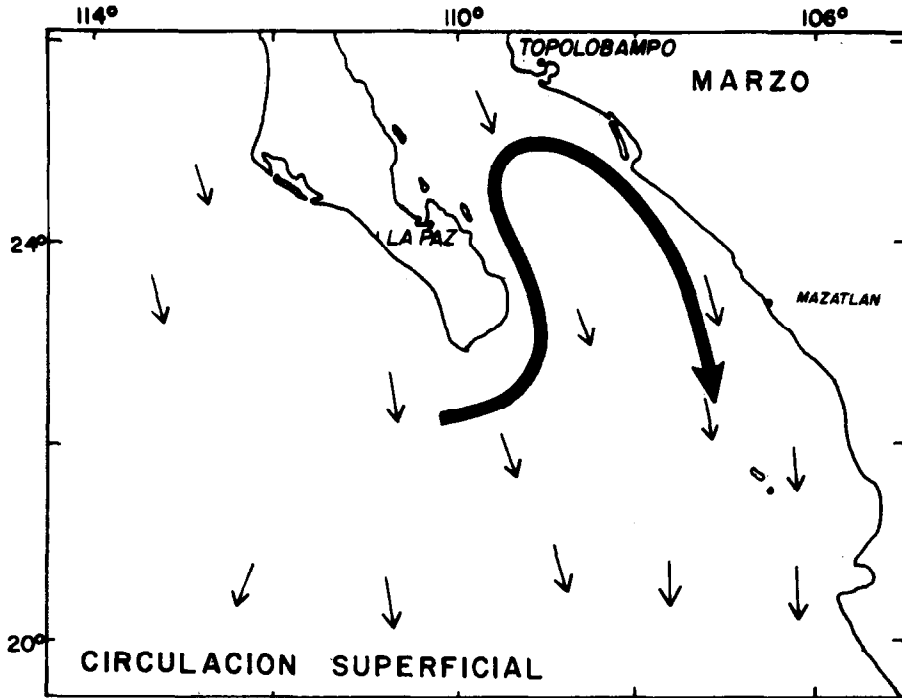


Figura 10. Localización propuesta de un giro que se invierte estacionalmente. Las flechas rectas indican la circulación superficial según Wyrтки (1965).

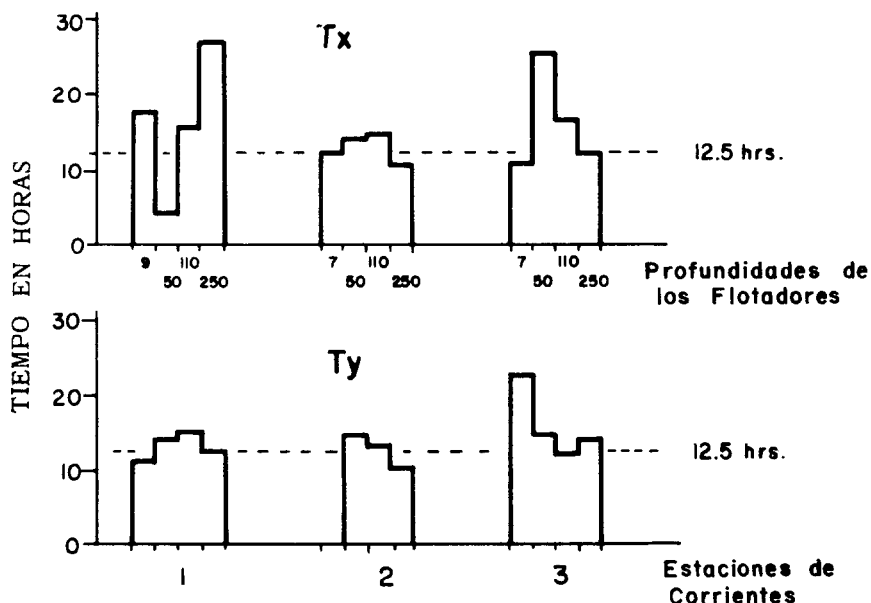


Figura 11. Períodos dominantes de los componentes (x) y (y) del movimiento de los flotadores libres. Se presentan las cuatro profundidades de medición, en cada una de las 3 estaciones..

RECONOCIMIENTOS.

Este trabajo forma parte de la tesis de Maestría en Ciencias hecha en Oregon State University por el primer autor. El programa de Maestría se llevó a cabo gracias a una beca otorgada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México.

BIBLIOGRAFIA.

- Alvarez Sánchez L. G., M.R. Stevenson y B. Wyatt. 1978. Circulación y Masas de Agua en la Región de la Boca del Golfo de California en la Primavera de 1970. Ciencias Marinas (Mex) Vol. 5 No. 1.
- Griffiths, R.C. 1968. Physical, chemical and biological oceanography of the entrance to the Gulf of California, spring of 1960. Spec. Sci. Rep. U.S. Fish. Wild. Serv; No. 573, 47 pp.
- Grijalva, O.N. 1972. Tidal computation in the Gulf of California I. Geofísica Internacional, 12(2): 13-34.

CORRIENTES GOLFO DE CALIFORNIA

- Roden, G. I. 1972. Thermohaline structure and baroclinic flow across the Gulf of California entrance and the Revilla Gigedo islands region. *Jour. Phys. Oceanography*, 2(2): 177-183.
- Schwartzlose, R.A. and J.L. Reid. 1972. Near-shore circulation in the California Current. *Calif. Mar. Res. Comm.*; CALCOFI Rep.; 16: 57-65.
- Stevenson, M. R. 1966. Subsurface currents off the Oregon coast. Ph. D. Thesis. Corvallis, Oregon State Univerisity. 140 numb. leaves.
- Stevenson, M. R., J. G. Pattullo and B. Wyatt. 1969. Subsurface currents off the Oregon coast as measured by parachute drogues. *Deep-Sea Res.* 16: 449-461.
- Stevenson, M. R. 1970. On the physical and biological oceanography near the entrance to the Gulf of California, october 1966- august 1967. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. Bull.* 4(3): 389-504.
- Volkman, G., J. Knauss and A. Vine. 1956. The use of parachute drogues in the measurement of subsurface currents. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 37 (5): 573-577.
- Warsh, C. E. and K. L. Warsh. 1971. Water exchange at the mouth of the Gulf of California. *Jour. Geo. Res.* 76:8098-8116.
- Warsh, C. E., K. L. Warsh and R. C. Stanley. 1973. Nutrients and water masses at the mouth of the Gulf of California. *Deep-Sea Res.* 20: 561-570.
- Wyatt, B., M. R. Stevenson, W. E. Gilbert and J. G. Pattullo. 1967. Measurements of subsurface currents off the Oregon coast made by tracking of parachute drogues. *Data. Rep. No. 26. Dept. of Oceanography, Oregon State Univ. Ref. 67-20.* 34pp.
- Wyrtki, K. 1965. Surface currents of the eastern tropical Pacific Ocean. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 9(5): 269-304.

Recibido: junio 5 de 1978.