

INTER - AMERICAN TROPICAL TUNA COMMISSION
COMISION INTERAMERICANA DEL ATUN TROPICAL

Bulletin — Boletín
Vol. IX, No. 5

**SURFACE CURRENTS OF THE EASTERN TROPICAL
PACIFIC OCEAN**

**CORRIENTES SUPERFICIALES DEL OCEANO PACIFICO
ORIENTAL TROPICAL**

by — por
KLAUS WYRTKI

La Jolla, California
1965

The **Inter-American Tropical Tuna Commission** was established by a Convention between the Governments of the Republic of Costa Rica and the United States of America. The Convention entered into force in 1950. The Commission's duties under the Convention (Art. II, 1.) include the conduct of:

"investigations concerning the abundance, biology, biometry, and ecology of yellowfin (*Neothunnus*) and skipjack (*Katsuwonus*) tuna in the waters of the eastern Pacific Ocean . . . and the kinds of fishes commonly used as bait in the tuna fisheries . . . and of other kinds of fish taken by tuna fishing vessels; and the effects of natural factors and human activities on the abundance of the populations of fishes supporting all of these fisheries."

and to

"Recommend from time to time, on the basis of scientific investigations, proposals for joint action . . . designed to keep the populations of fishes covered by this Convention at those levels of abundance which will permit the maximum sustained catch."

The Commission initiated its investigations, which are conducted by a permanent international scientific staff, in 1951.

Provision is made in the Convention (Art. V, 3.) for:

"Any government, whose nationals participate in the fisheries covered by this Convention . . . Upon receiving the unanimous consent of the High Contracting Parties . . ."

to adhere. Under this provision the Republic of Panama adhered in 1953, the Republic of Ecuador in 1961, and the United Mexican States in 1964.

Commissioners serving at the time of publication are:

COSTA RICA

José L. Cardona-Cooper
Virgilio Aguiluz
Fernando Flores
Victor Nigro

MEXICO

Mauro Cárdenas F.
Héctor Chapa Saldaña
Rodolfo Ramírez G.
María Emilia Téllez B.

UNITED STATES OF AMERICA

Eugene D. Bennett
John G. Driscoll, Jr.
Robert L. Jones
J. Laurence McHugh

La **Comisión Interamericana del Atún Tropical** fue establecida por una Convención entre los Gobiernos de la República de Costa Rica y los Estados Unidos de América. La Convención entró en vigencia en el año de 1950. Las obligaciones de la Comisión bajo la Convención (Art. II, 1.) incluyen:

"Llevar a cabo investigaciones sobre la abundancia, biología, biometría y ecología de los atunes de aletas amarillas (*Neothunnus*) y bonitos (*Katsuwonus*) de las aguas del Pacífico Oriental . . . como también de las clases de pescado que generalmente se usan como carnada en la pesca del atún . . . y otras clases de peces que pescan las embarcaciones atuneras; y asimismo sobre los efectos de los factores naturales y de la acción del hombre en la abundancia de las poblaciones de peces que sostengan a todas estas pesquerías."

como también

"Recomendar en su oportunidad, a base de investigaciones científicas, la acción conjunta necesaria . . . para fines de mantener las poblaciones de peces que abarca esta Convención en el nivel de abundancia que permita la pesca máxima constante."

La Comisión inició sus investigaciones, las cuales son conducidas por un personal científico internacional permanente, en 1951.

Existe una disposición en la Convención (Art. V, 3.) por medio de la cual:

"Todo gobierno cuyos nacionales tomen parte en las operaciones de pesca que abarca esta Convención . . . Al recibir el consentimiento unánime de las Altas Partes Contratantes . . ."

puede adherirse. Bajo esta cláusula la República de Panamá se adhirió en 1953, la República del Ecuador en 1961 y los Estados Unidos Mexicanos en 1964.

Los Delegados vigentes en la presente edición son:

ECUADOR

Eduardo Burneo
Enrique Ponce y Carbo
Héctor A. Chiriboga

PANAMA

Carlos A. López-Guevara
Dora de Lanzner
Juan L. Obarrio
Camilo Quintero

Director of Investigations — Director de Investigaciones

JOHN LAURENCE KASK, PH. D.

Headquarters and Main Laboratory — Oficina y Laboratorio Principal

c/o SCRIPPS INSTITUTION OF OCEANOGRAPHY

LA JOLLA, CALIFORNIA, U.S.A.

INTER - AMERICAN TROPICAL TUNA COMMISSION
COMISION INTERAMERICANA DEL ATUN TROPICAL

Bulletin — Boletín
Vol. IX, No. 5

**SURFACE CURRENTS OF THE EASTERN TROPICAL
PACIFIC OCEAN**

**CORRIENTES SUPERFICIALES DEL OCEANO PACIFICO
ORIENTAL TROPICAL**

by — por
KLAUS WYRTKI

La Jolla, California
1965

CONTENTS — INDICE
ENGLISH VERSION — VERSION EN INGLES

	Page
INTRODUCTION.....	271
THE DATA AND THEIR PROCESSING.....	272
CALIFORNIA CURRENT OFF LOWER CALIFORNIA.....	272
EQUATORIAL COUNTERCURRENT.....	273
NORTH EQUATORIAL CURRENT (EASTERN PORTIONS).....	274
CURRENTS OFF CENTRAL AMERICA.....	274
SOUTH EQUATORIAL CURRENT.....	275
PERU CURRENT.....	276
INTERACTION OF THE VARIOUS CURRENT SYSTEMS.....	276

FIGURES — FIGURAS.....	279
------------------------	-----

VERSION EN ESPAÑOL — SPANISH VERSION

	Página
INTRODUCCION.....	295
LOS DATOS Y SU PROCEDIMIENTO.....	296
LA CORRIENTE DE CALIFORNIA FRENTE A BAJA CALIFORNIA.....	296
CONTRACORRIENTE ECUATORIAL.....	297
CORRIENTE ECUATORIAL DEL NORTE (SECTORES ORIENTALES).....	298
CORRIENTES FRENTE A CENTROAMERICA.....	299
CORRIENTE ECUATORIAL DEL SUR.....	299
LA CORRIENTE DEL PERU.....	300
ACCION INTERMEDIA DE LOS DIVERSOS SISTEMAS DE CORRIENTES.....	301

LITERATURE CITED -- BIBLIOGRAFIA CITADA.....	303
--	-----

SURFACE CURRENTS OF THE EASTERN TROPICAL PACIFIC OCEAN^{1,2}

by

Klaus Wyrki^{3,4}

INTRODUCTION

The surface circulation in the Eastern Tropical Pacific Ocean undergoes a considerable variation in response to the shifting of the major wind systems. It is dominated by the eastern and equatorial parts of the anticyclonic gyres in the North and South Pacific Ocean. These consist of the California Current and the North Equatorial Current in the North Pacific and of the Peru Current and the South Equatorial Current in the South Pacific. Between these two gyres, the Equatorial Countercurrent is developed as long as the intertropical convergence is sufficiently far north of the equator. Because of the configuration of the ocean these two gyres do not reach into the area of the Eastern Tropical Pacific between Cape Corrientes in Mexico and Ecuador, which consequently has a variable and apparently complicated circulation pattern. Any understanding of the movements of water masses and of the processes maintaining the thermal and haline structure in this area will depend on information on the variation of the circulation.

Monthly charts of the surface currents in this area have been published by the U. S. Hydrographic Office (1947) for the region between the equator, 160°W, and the coast of America and have been represented in a different fashion by Cromwell and Bennett (1959) for the area between the equator, 30°N, 120°W, and the coast of America. For the South Pacific Ocean seasonal charts of surface currents have been published by the British Meteorological Office (1935) covering the ocean south of the equator. Both these atlases are presentations of statistically summarized observations and leave their interpretation to the reader. For many reasons, outlined by Wyrki (1960), an interpretation of such atlases is desirable, resulting in the construction of current charts that summarize the data, locate the different branches of the circulation and the positions of boundaries between them, and eliminate the scattering inherent in this kind of observations. The following is an attempt to analyze and interpret the surface circulation in the area between 30°N, 20°S, the coast of America, and 140°W based on observations of surface drift by ships.

1. This research was part of the Scripps Tuna Oceanography Research Program. It was supported by U. S. Bureau of Commercial Fisheries Contract No. 14-17-0007-139, and by Atomic Energy Commission Contract No. AT (11-1)-34, Project 99.
2. Contribution from the Scripps Institution of Oceanography, University of California at San Diego, New Series.
3. Institute of Marine Resources, Scripps Institution of Oceanography, University of California at San Diego.
4. Present address, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.

THE DATA AND THEIR PROCESSING

Observations of the surface drift recorded by merchant and naval vessels in this area have been obtained from the National Oceanographic Data Center, Washington, D. C. Only data that were punched on cards for machine processing have been used and no reference to the sources has been made. North of the equator, the data are partly the same as those used in the atlas of the U. S. Hydrographic Office (1947) from the period 1904-1934 and partly new data from the period 1935-1946. South of the equator data are chiefly from U. S. ships so that the Atlas of the British Meteorological Office (1935) could be used as an additional source.

These basic data were summarized by computer for each month by one degree squares, the resultant vector and average speed were computed, and a statistical summary in classes of direction and speed were made. The resultant current vectors were used to construct the twelve monthly charts of the surface circulation (Figures 1-12). In these charts the velocity of the currents is indicated by four classes: 0.1-0.3 knots, 0.4-0.6 knots, 0.7-0.9 knots, and greater than 1.0 knots. This subdivision seems to be appropriate with respect to the fluctuations of the surface currents. The statistical summaries of one degree squares with large numbers of observations in regions of a uniform current character show that usually about 40 to 50% of all observations fall into one of these speed classes. In regions of very variable currents the resultant current vector can become almost zero even if the speed of individual current observations is relatively high, which is the case off the coast of Mexico. No values for the persistence of constancy of the currents has been given, but in general it can be implied that a high velocity in the current charts also indicates a high persistence of the direction. For selected areas the resultant current vectors or the velocities in the most frequent direction are shown for each month in Figs. 13-17, and these values are also entered in the maps of the surface currents.

CALIFORNIA CURRENT OFF LOWER CALIFORNIA

Off the coast of Lower California the California Current flows south. From February to June the flow is strong, has an average speed of 0.3 knots, and is almost parallel to the coast with only a slight offshore component. In July the current shifts away from the coast, the velocity decreases, and in August a weak flow to the northwest is observed along the coast reaching to about 25°N. From August to December the flow is mostly offshore, its velocity is very weak, and the boundary, between movements to the northwest along the southern part of the coast and to the southeast along the northern part, lies near 27°N. In Fig. 13 the direction and speed of the resultant current is shown for each month at four positions along Lower California. The periods of a strong flow to the south in spring and that of a weak offshore flow in fall are clearly distinguishable. These current vectors are computed from between 300 to 1000 observations in each month, and besides the current vector, the average

speed, calculated without the consideration of direction, is shown. This average speed varies only slightly during the year, between 0.5 and 0.35 knots, indicating that the direction of the current is very constant during the spring and extremely variable from August to December.

Farther offshore, where the California Current turns west into the North Equatorial Current, the variation of speed is almost negligible during the year and the average velocity is about 0.3 knots (Fig. 14). In the entire area off Lower California the flow pattern is highly divergent during the whole year, being related to the strong upwelling along the coast. From August to December all the water of the California Current has turned west before reaching 20°N . In January and February the flow has southerly components to about 18°N , and from March to June the flow to the south reaches to 15°N . During these months the flow south of Cape San Lucas, at the southern end of Lower California, is divergent, most of the water turns west, but a portion continues to flow southeast into the Eastern Tropical Pacific.

EQUATORIAL COUNTERCURRENT

East of 140°W the Equatorial Countercurrent flows east between 4° and 11°N , but its position and width varies with the season. From May to December the Countercurrent is clearly developed. Between 140° and 100°W its southern boundary remains fairly stable between 4° and 6°N , while its northern boundary fluctuates between 8° and 12°N . East of 110°W the axis of the current and its boundaries shift slightly south and the end point of the southern boundary lies south of 4°N and that of the northern boundary south of 10°N . The width of the current varies from about 3° of latitude in May to more than 5° in August, September, and October and decreases again to less than 4° in December. The speed of the flow between 130° and 110°W is about 0.75 knots with highest values occurring in September (Fig. 14). From August to December usually some water from the South Equatorial Current enters the Countercurrent across its southern boundary, and some water leaves it across the northern boundary. East of 90°W the Countercurrent splits off, part of its water turning north and northwest around the Costa Rica Dome and part turning south and west entering the South Equatorial Current system.

In January the Countercurrent starts to break up and exists only in separate sections. The southern and northern boundaries are interrupted, and the individual sections are fed by water from the South Equatorial Current and discharge their water to the North Equatorial Current. In February and March the Countercurrent reaches to only about 120°W and east of this position a wind-drift to the west and northwest is developed between 5° and 10°N from the South Equatorial to the North Equatorial Current. This situation is even more pronounced in April when the Countercurrent is entirely absent. In May the Countercurrent is again formed to the east of 140°W , its northern boundary being well established while the southern boundary is interrupted and the current is fed by water entering from the south.

During the entire period from January to April cyclonic flow is maintained around the Costa Rica Dome near 9°N , 89°W (Wyrtki, 1964) and an anticyclonic flow around a point near 5°N , 88°W . Between these two locations a strong flow to the east is always developed, but it persists only along approximately 8° of longitude.

NORTH EQUATORIAL CURRENT (EASTERN PORTIONS)

The North Equatorial Current is fed from two sources, by the California Current and by water from the Eastern Tropical Pacific, but the contribution from these two sources varies during the year. From March to July the North Equatorial Current is almost exclusively supplied from the California Current which continues far to the south before turning west. The contribution of water from the Eastern Tropical Pacific is more significant during the remainder of the year, coinciding with the period when the Countercurrent is most strongly developed. From July to December large amounts of water from the Countercurrent turn north and feed the flow to the west between 10° and 20°N . In January when the Countercurrent starts to disintegrate and most of its water turns north, the flow of the North Equatorial Current to the west is marked by a band of high velocities. This current axis, also found in February, stretches from Costa Rica westwards along 11°N and later shifts north to about 17°N at 130°W . In February and March when the Countercurrent reaches only to about 120°W , east of this position the flow is west and northwestwards.

West of 120°W , when the waters from the California Current and from the Eastern Tropical Pacific have joined and the North Equatorial Current is well established, its velocity is 0.3 knots and remains almost constant during the whole year (Fig. 14). South of 20°N the flow usually has a slight component to the north, and north of 20°N a slight component to the south.

CURRENTS OFF CENTRAL AMERICA

The most pronounced branch of the circulation off Central America is the Costa Rica Coastal Current. This current is situated between the Costa Rica Dome and the coast and flows with high velocities to the northwest and west. The speed in the center of this current usually exceeds 0.5 knots (Fig. 15). In June and July the current follows the coast of Central America and Mexico as far as Cape Corrientes. In August the axis of the current shifts away from the coast after it has passed the Gulf of Tehuantepec. This situation prevails through December, and the water of the Costa Rica Coastal Current passes directly into the North Equatorial Current. From January to March the current flows straight to the west between 9° and 12°N after leaving the coast of Costa Rica and does not flow into the Gulf of Tehuantepec. In April and May the branch of the Costa Rica Coastal Current flowing into the Gulf of Tehuantepec, develops again, while the branch flowing due west weakens.

Along the coast of Mexico southeast of Cape Corrientes a weak flow to the southeast or away from the coast is developed from October to April (Fig. 15). This flow turns south before reaching the Gulf of Tehuantepec, joins the water of the Costa Rica Coastal Current, and flows west. Especially in March and April this flow is part of the general anticyclonic circulation between 10° and 20° N. In May, June, and July when this circulation weakens, the flow to the southeast deviates from the coast.

From January to March a strong flow out of the Gulf of Tehuantepec to the south, which is soon integrated into the North Equatorial Current, is observed.

Off the coast of Colombia a cyclonic eddy of elliptic shape is developed. Its north-flowing branch along the coast is the Colombia Current. Its south-flowing branch leaves the Gulf of Panama in a south and south-westerly direction and is most strongly developed from December to April. During this period most of the water leaving the Gulf of Panama, where strong upwelling takes place, turns west and joins the anticyclonic circulation centered near 5° N, 88° W. During the remainder of the year the eddy off Colombia is more weakly developed.

SOUTH EQUATORIAL CURRENT

West of the Galapagos Islands the South Equatorial Current flows west on both sides of the equator. Its northern boundary is the Equatorial Countercurrent near 4° N, and to the south it extends into the subtropical region with decreasing velocities. Highest velocities are found on both sides of the equator between about 3° N and 8° S. South of the equator the average speed changes little during the year while north of the equator speeds are usually greater and exhibit a marked seasonal variation with velocities above 1.5 knots from July to November (Fig. 16). West of 100° W the flow is usually divergent at the equator with a slight northerly component in the northern hemisphere and a southerly component south of the equator. In March and April an occasional flow to the east near the equator is observed, and in May the flow is definitely to the east between 100° and 120° W. Between 100° and 110° W this flow turns north and enters the Countercurrent, which is formed again in this month.

It is very likely that the occasional flow to the east at the equator represents a surfacing of the Equatorial Undercurrent in the absence of east winds. The eastward flowing Equatorial Undercurrent has its upper boundary at about 20 m depth in this area (Knauss, 1960) and is covered by a thin layer of water flowing west. Easterly flow at the equator to the west of the Galapagos Islands has already been charted by Puls (1895) and Schott (1942).

No surface currents to the east have been found near 5° S which could indicate the existence of a South Equatorial Countercurrent at the sea surface. This current, which has been postulated by Reid (1961) on the basis of the geopotential topography in this area, may therefore only exist in subsurface layers.

East of 100°W there is usually a flow from the southern to the northern hemisphere across the equator. This flow is especially strong from March to June when the Countercurrent is absent or is formed again. From July on, parts of the water flowing east with the Countercurrent turn south and enter the South Equatorial Current to the northeast of the Galapagos Islands, and the flow across the equator becomes weaker. By December the flow to the west has become almost parallel to the equator, and off the coast of Ecuador some water even flows south.

PERU CURRENT

Off the coast of Peru the flow is to the northwest as part of the anticyclonic circulation in the South Pacific Ocean. Along the coast coinciding approximately with the upwelling region, the Peru Coastal Current flows northwest, and farther offshore the Peru Oceanic Current also flows northwest. These two currents are usually separated by a weak and irregular flow to the south, the Peru Countercurrent. This current, however, is a subsurface current and reaches only occasionally to the surface (Wyrtki, 1963). From July to October the Countercurrent is not observed at the sea surface, from November to March it is most pronounced and is situated about 500 km offshore; from April to June southward flow is only occasionally observed and its location is more variable.

The Peru Coastal Current flows with velocities of about 0.2 - 0.3 knots to the northwest along the coast (Fig. 17). At Punta Aguja near 5°S , it leaves the coast and turns west, its speed increasing considerably to 0.5 - 0.7 knots when its water becomes part of the South Equatorial Current (Fig. 16). Along the coast of Peru the flow is stronger from April to September than during the remainder of the year. The shape of the coastline seems to have considerable influence on the coastal current, which has a tendency to leave the coast at almost every cape and seems to form eddies with a flow to the southeast along the coast in the lee of the capes. This situation is especially pronounced at Point Huacas near 14°S where the coastal current usually deviates strongly from the coast.

From July to October when the Countercurrent is not found at the surface, the Peru Coastal Current and the Peru Oceanic Current form a single uniform flow to the northwest passing into the South Equatorial Current, which is strongest during this period. During the larger part of the year, the flow in the Peru Oceanic Current is more to the west, at least north of 20°S . Velocities in the Peru Oceanic Current are usually slightly higher than those in the coastal current. When the Countercurrent is developed, water from the coastal current passes through the Countercurrent into the Peru Oceanic Current.

INTERACTION OF THE VARIOUS CURRENT SYSTEMS

The apparently complicated and changing pattern of the surface circulation in the Eastern Pacific Ocean becomes much simpler if periods having the same general pattern are compared with each other. Although in large parts of the oceans the changes in circulation can be reasonably

well described by discussing a summer and winter situation, in the Eastern Pacific Ocean three basically different situations are met.

The first typical circulation pattern is developed from August to December when the Equatorial Countercurrent is fully developed and the South Equatorial Current is also very strong, especially in its part situated north of the equator. During this period most of the water of the Countercurrent flows around the Costa Rica Dome into the Costa Rica Coastal Current and enters the North Equatorial Current between 10° and 20° N. The California Current leaves the coast of Lower California at about 25° N and supplies the water of the North Equatorial Current only north of 20° N. This situation is developed when the intertropical convergence is in a northerly position at or north of 10° N, approximately coinciding with the northern boundary of the Countercurrent. This situation seems to be the most stable and lasts longest.

In January when the intertropical convergence starts to move towards the equator, the Countercurrent becomes much weaker and breaks up into several segments. Simultaneously the California Current becomes stronger and extends farther to the south.

The second typical circulation pattern is developed from February to April when the intertropical convergence is in its most southerly position near 3° N. During this period the California Current is strong, penetrates far to the south, and supplies most of the water for the North Equatorial Current. Off the coast of Mexico between 10° and 20° N the circulation is anticyclonic with a flow to the southeast along the coast that turns west off the Gulf of Tehuantepec. The Equatorial Countercurrent is completely absent during this period, and in the area where it is usually found, water movements are to the west and northwest. Off the coast of Central America two huge eddies are developed; one is cyclonic around the Costa Rica Dome, and the other is anticyclonic around a point at 5° N, 88° W. The South Equatorial Current is weaker, and currents to the east are occasionally reported near the equator. The Peru Current is also relatively weak, and the Peru Countercurrent is pronounced.

The third typical circulation pattern is developed from May to July when the Countercurrent is formed again, but the California Current is still relatively strong. During this period the intertropical convergence is again near 10° N, which allows the Countercurrent to develop. Most of the water from the Countercurrent turns north into the Costa Rica Coastal Current, which during this period flows along the coast of Central America as far as Cape Corrientes. The California Current is still strong and reaches far to the south but does not penetrate much into the Eastern Tropical Pacific. It forms the main supply of the North Equatorial Current.

From July to August the California Current becomes progressively weaker, and the North Equatorial Current gains more and more water from the Eastern Tropical Pacific.

The changes in the circulation pattern are obviously related to variations of the intensity and location of the major wind systems. From December to April the northeast trades are strongest, and the wind maximum is in a relatively southerly position between 10° and 15° N. During this time the California Current reaches far to the south, is strongest, and almost exclusively supplies the North Equatorial Current. From July to October the southeast trades are strongest, and in this period there is a uniformly strong flow to the northwest off Peru without interruption by a countercurrent.

The most striking relation exists, however, between the development of the Equatorial Countercurrent and the position of the intertropical convergence. In Fig. 18 the position of the intertropical convergence, according to Crowe (1951), is compared with the position of the northern and southern boundary of the Countercurrent at 120° W, as taken from the monthly surface current charts. It is quite obvious that the northern boundary of the Countercurrent coincides approximately with the intertropical convergence and that the Countercurrent is developed as long as the intertropical convergence is situated north of 7° N. As soon as the intertropical convergence shifts close to the equator, from February to April, the Countercurrent disappears.

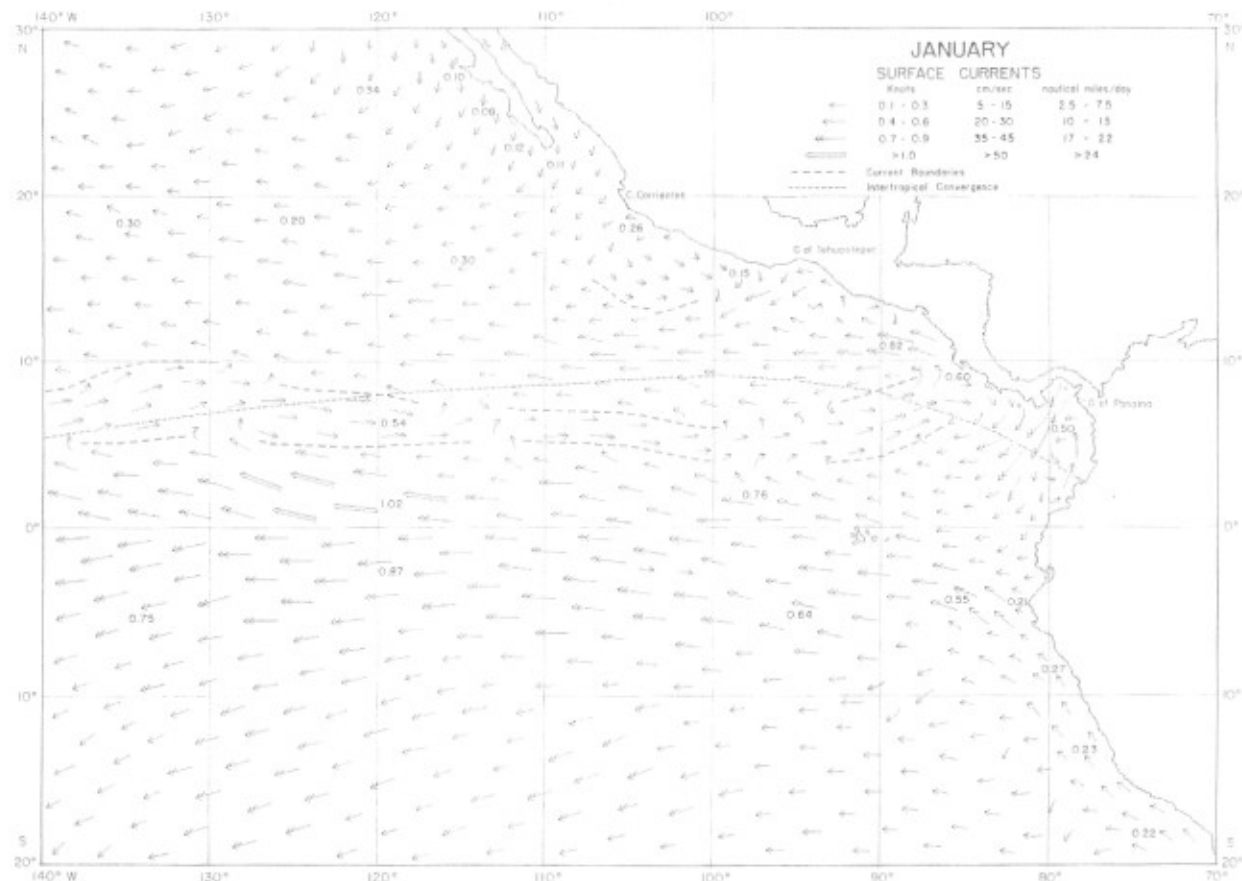


Figure 1 — Figura 1

FIGURES 1-12. Monthly charts of the surface circulation of the Eastern Tropical Pacific Ocean.

FIGURAS 1-12. Cartas mensuales de la circulación de la superficie en el Océano Pacífico Oriental Tropical.

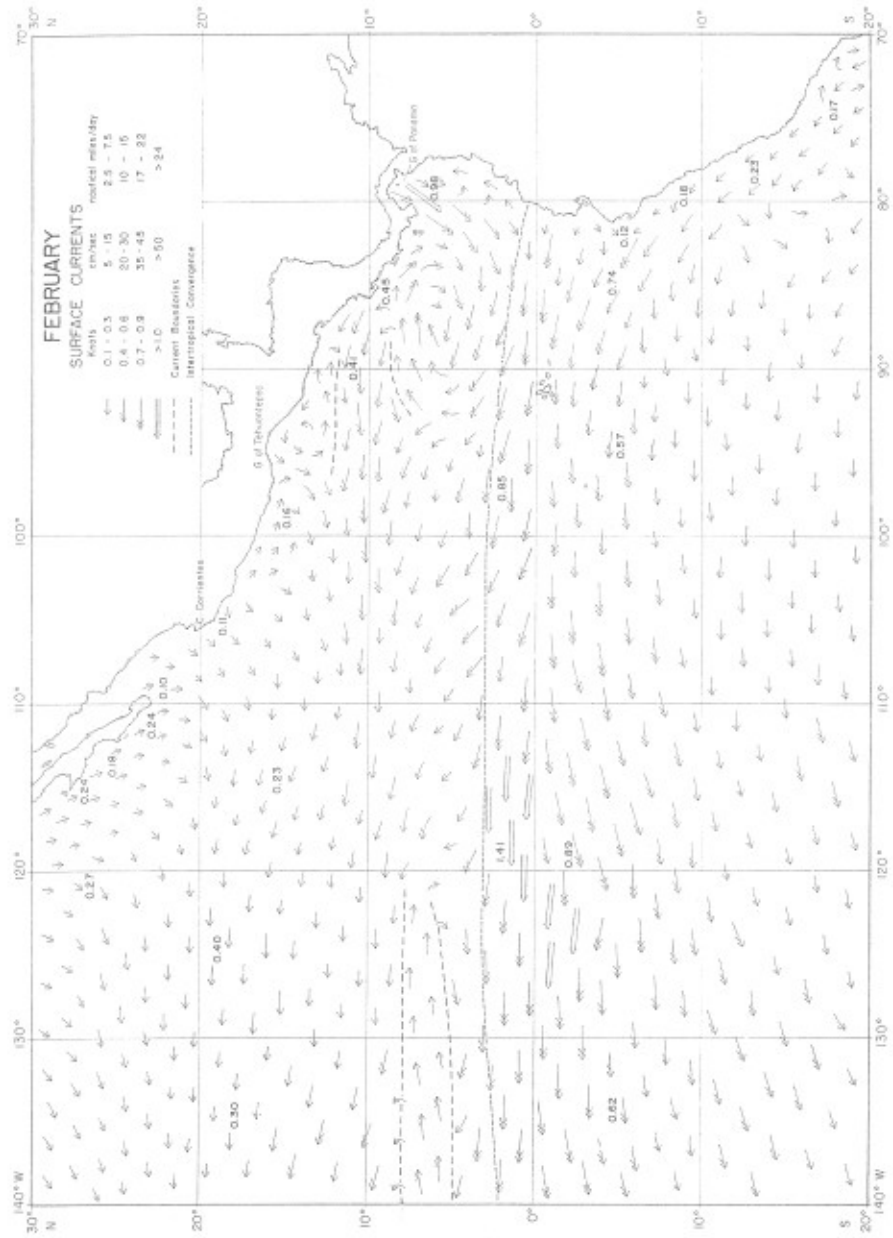


Figure 2 — Figura 2

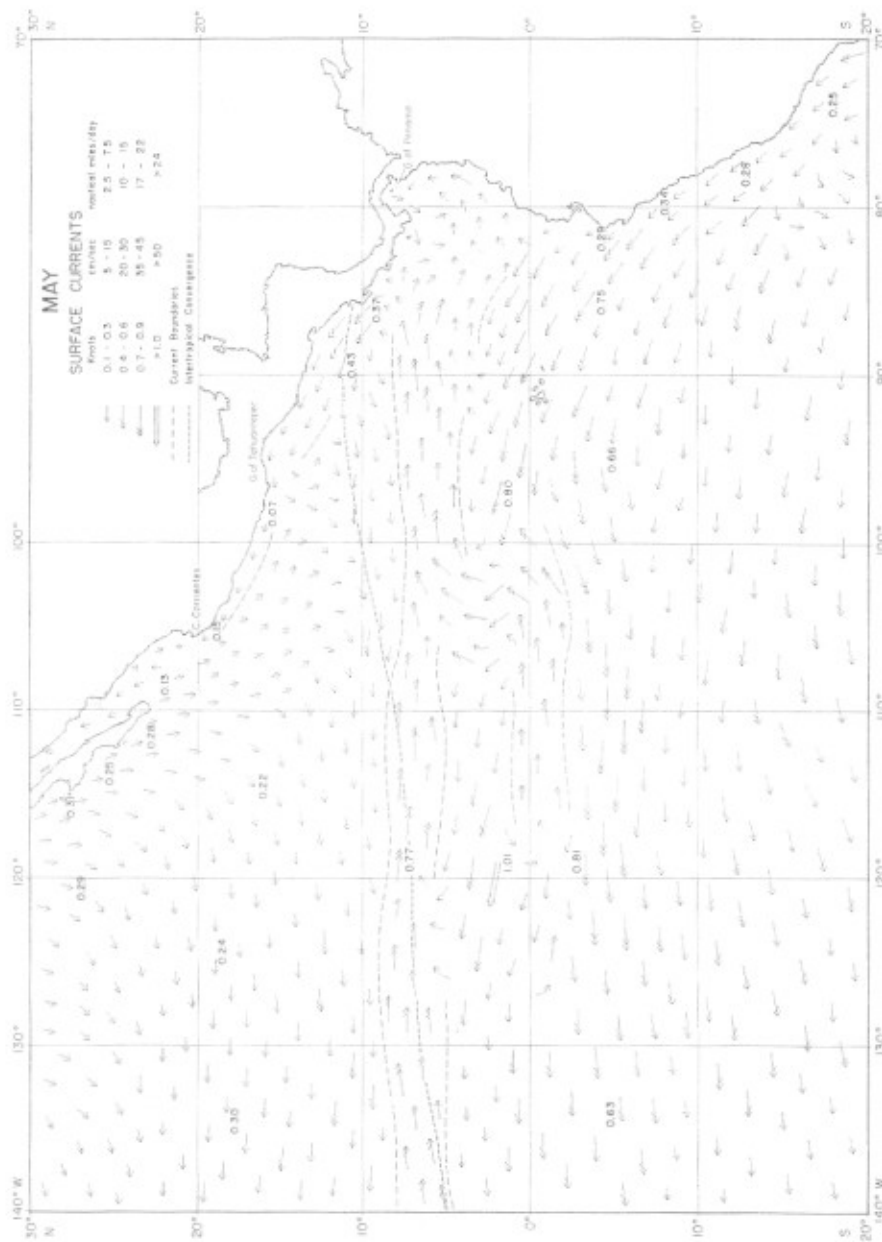


Figure 5 — Figure 5

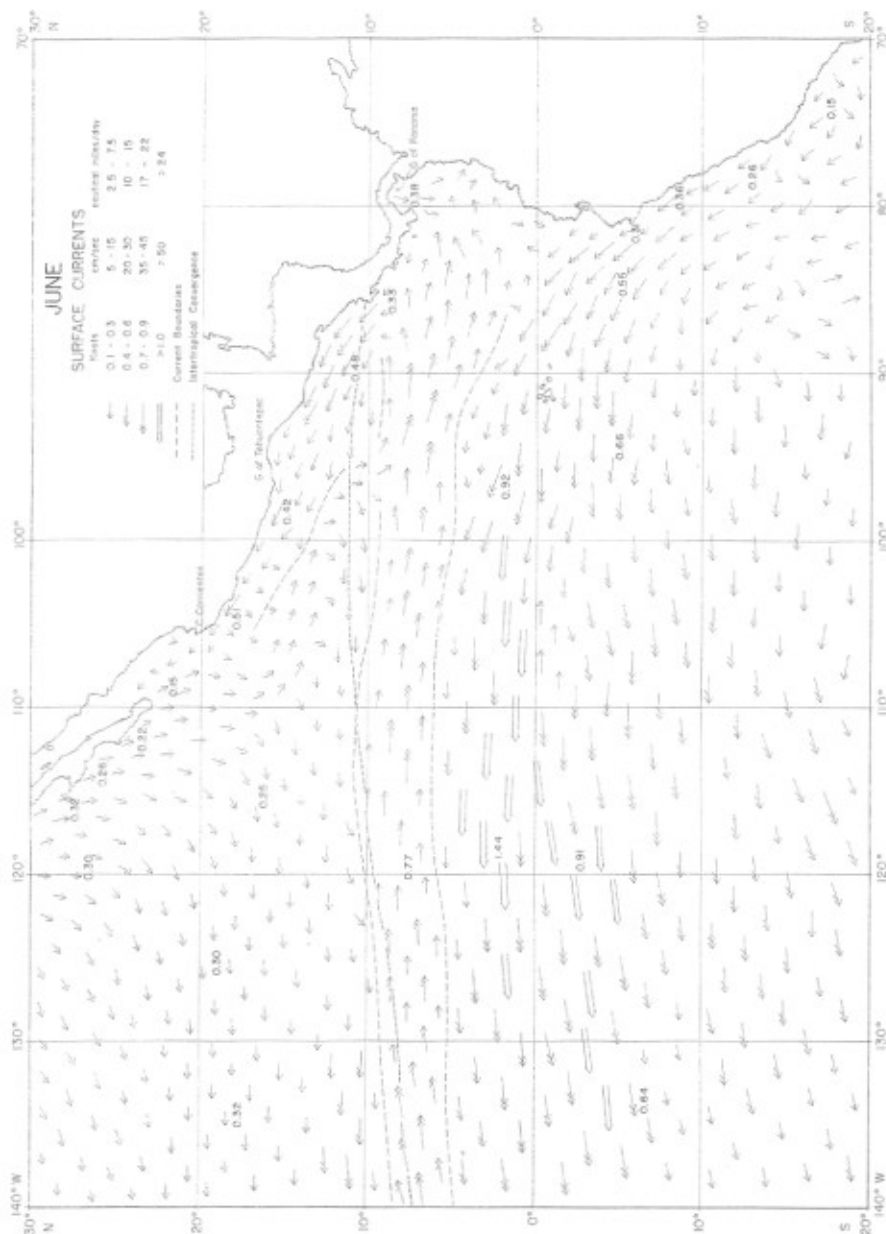


Figure 6 — Figure 6

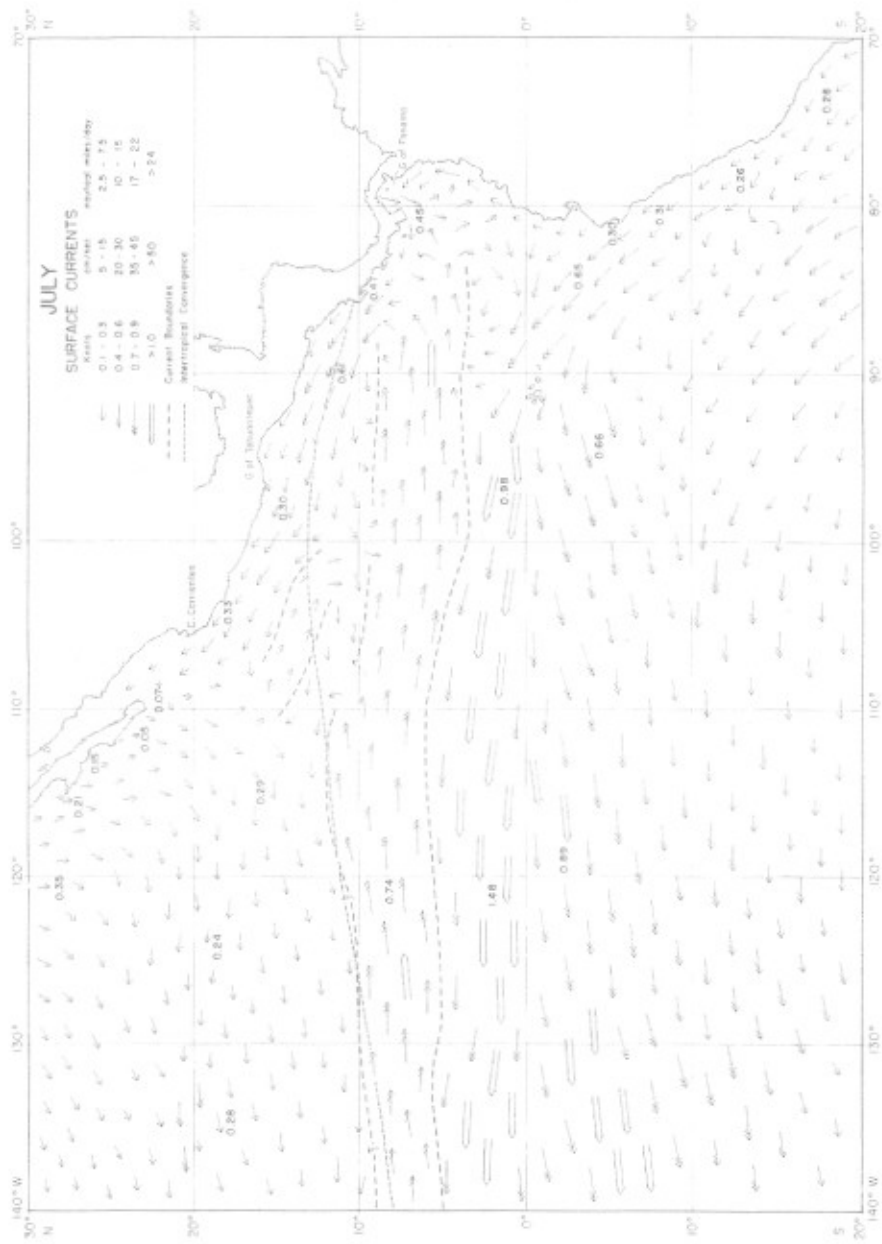


Figure 7 — Figura 7

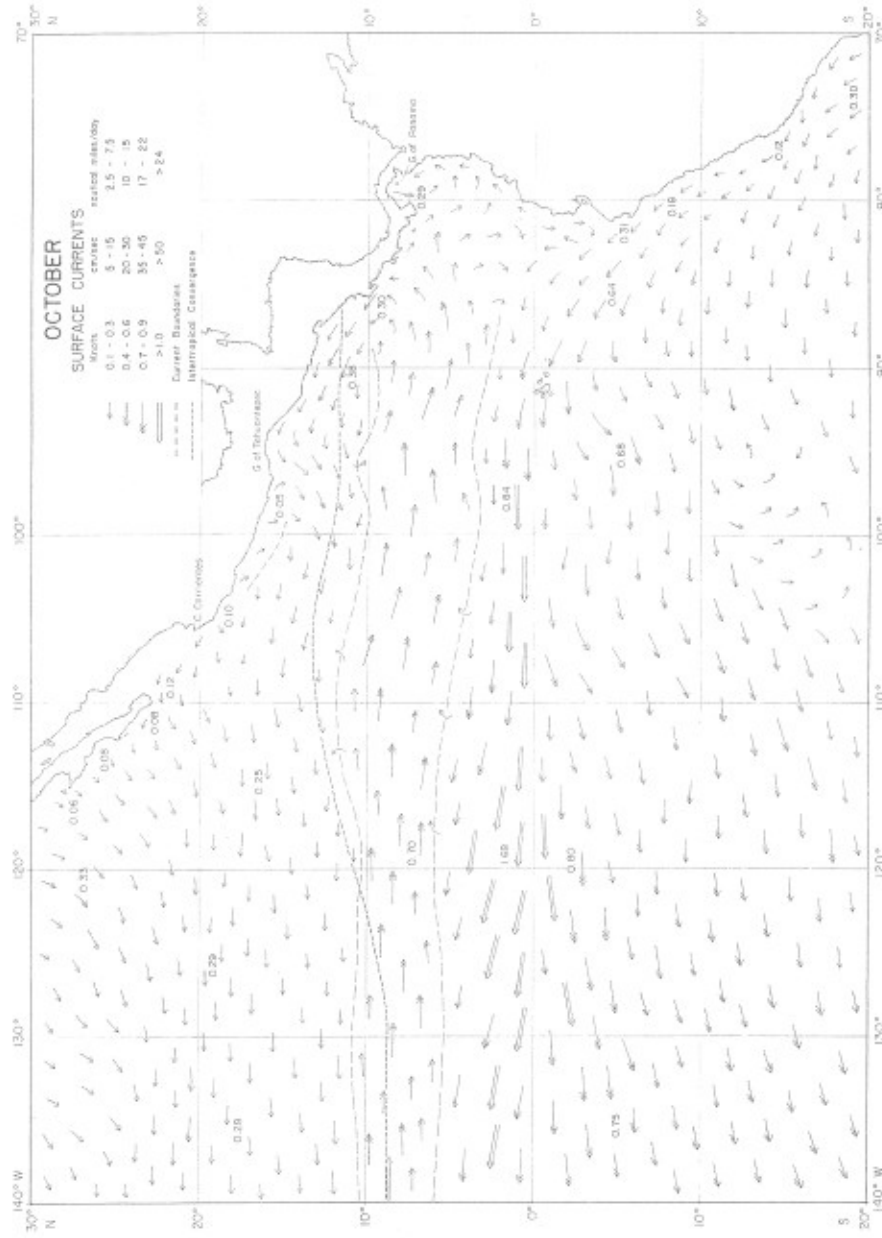


Figure 10 — Figure 10

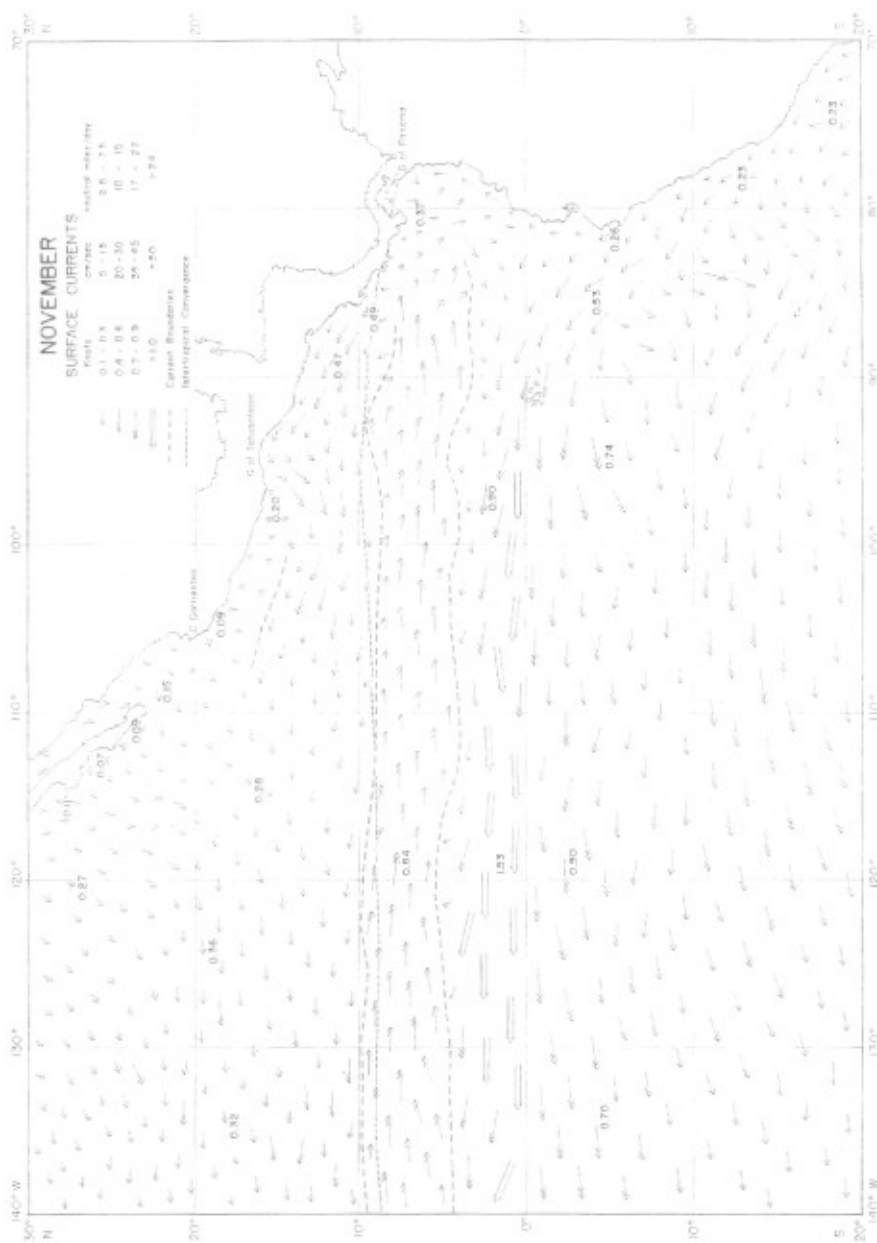


Figure 11 -- Figure 11

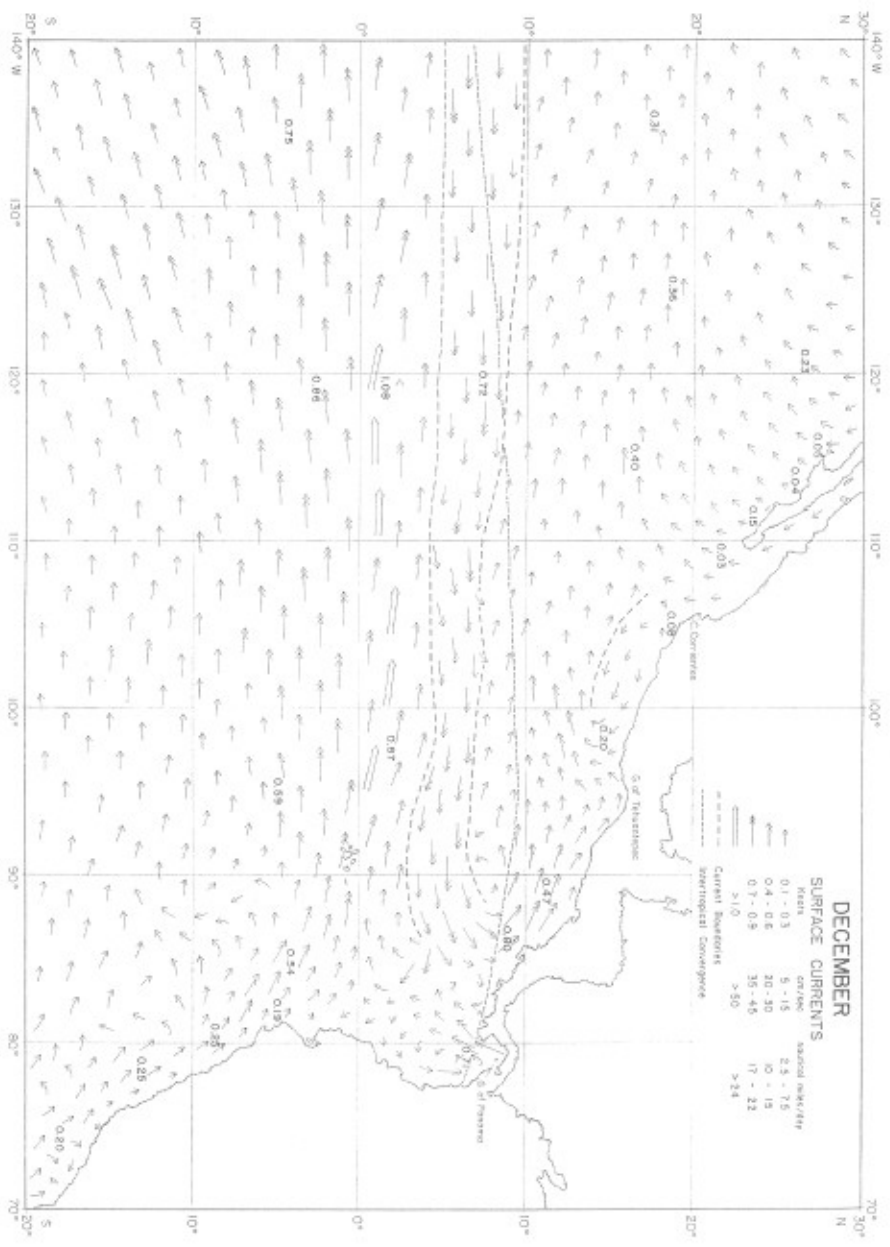


Figure 12 — Figure 12

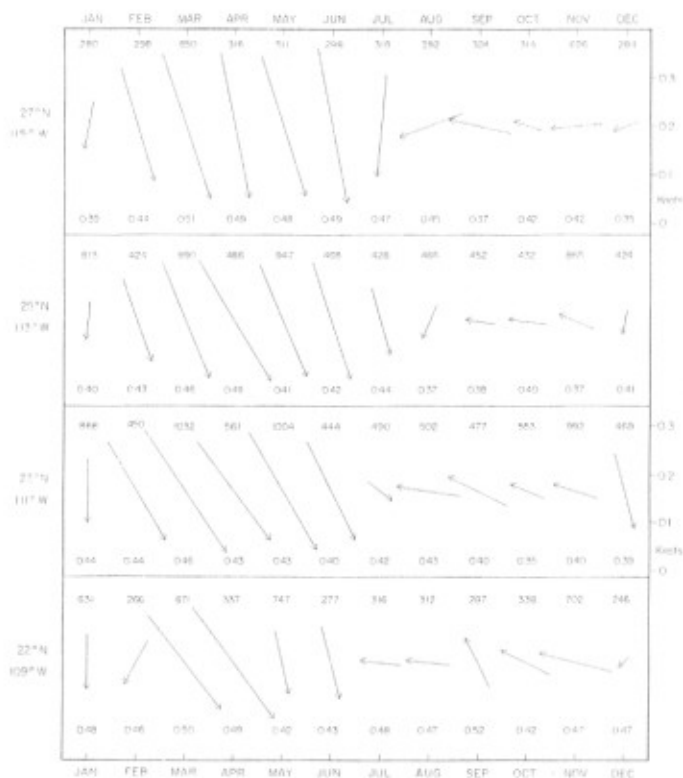


FIGURE 13. Resultant current vectors for each month at four locations off the coast of Lower California. Velocity in knots. Upper line gives the number of observations in each month, lower line the average speed irrespective of direction in knots.

FIGURA 13. Vectores de corriente resultantes, cada mes, en cuatro localidades frente a la costa de Baja California. Velocidad en nudos. La línea superior da el número de observaciones en cada mes. La línea inferior, el promedio de la velocidad en nudos, independiente de la dirección.

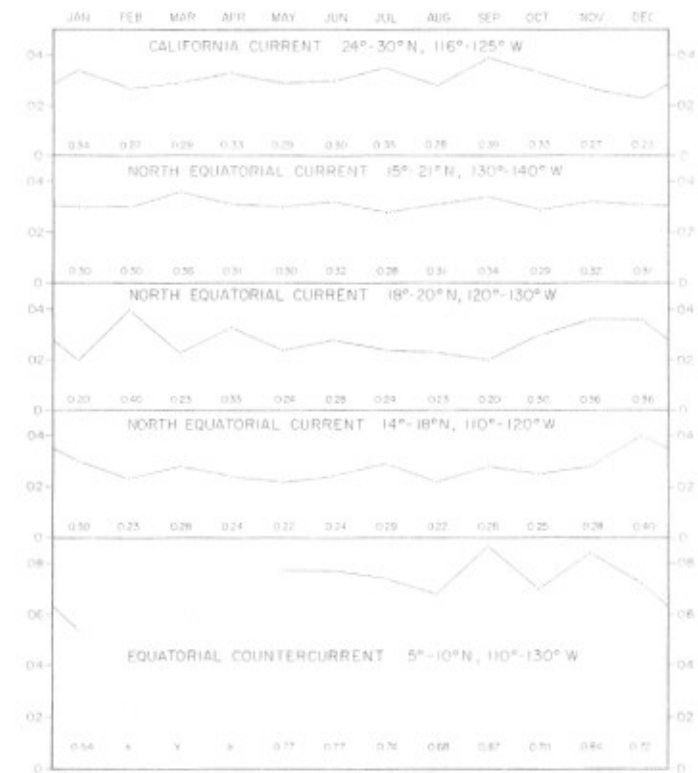


FIGURE 14. Seasonal variation of the average velocity in selected areas of the California Current, of the North Equatorial Current, and of the Equatorial Countercurrent. Figures give the velocity in knots. For direction see the monthly current charts.

FIGURA 14. Variación estacional del promedio de la velocidad en áreas seleccionadas de la Corriente de California, de la Corriente Ecuatorial del Norte y de la Contracorriente Ecuatorial. Las cifras dan la velocidad en nudos. Para la dirección, véase las cartas mensuales de corrientes.

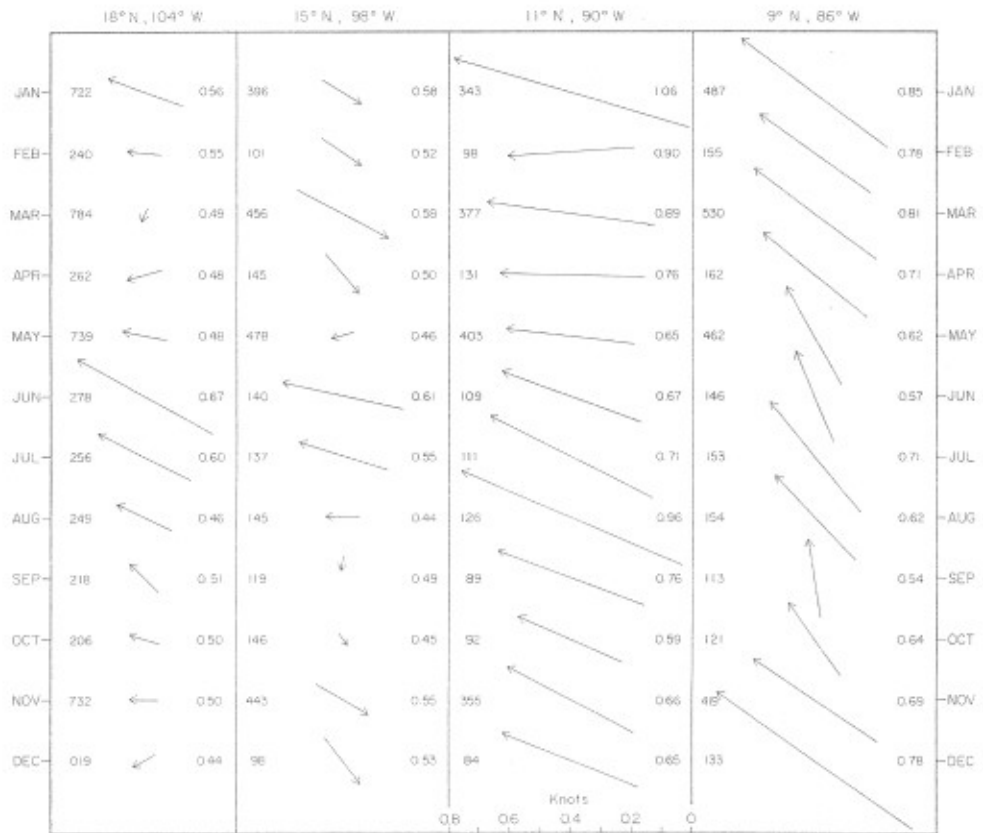


FIGURE 15. Resultant current vectors for each month at four locations off the coast of Central America. Velocity in knots. Left column gives the number of observations in each month, right column the average speed irrespective of direction in knots.

FIGURA 15. Vectores de corrientes resultantes, cada mes, en cuatro localidades frente a la costa de la América Central. Velocidad en nudos. La columna de la izquierda da el número de observaciones en cada mes. La columna de la derecha, el promedio de la velocidad en nudos, independiente de la dirección.

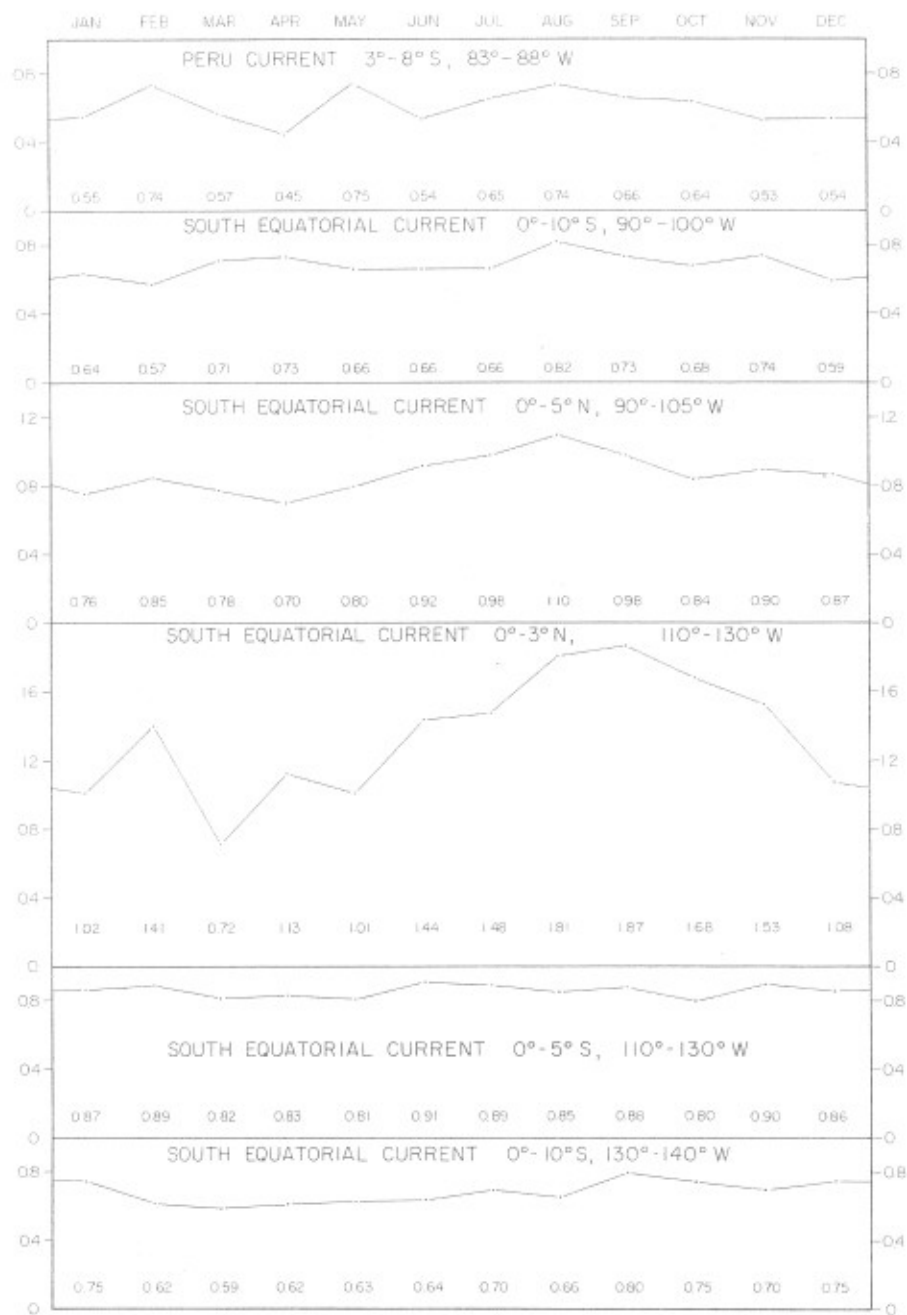


FIGURE 16. Seasonal variation of the average velocity in selected areas of the South Equatorial Current and the Peru Current. Figures give the velocity in knots. For direction see the monthly current charts.

FIGURA 16. Variación estacional del promedio de la velocidad en áreas seleccionadas de la Corriente Sud ecuatorial y de la Corriente del Perú. Las cifras dan la velocidad en nudos. Para la dirección, véase las cartas mensuales de las corrientes.

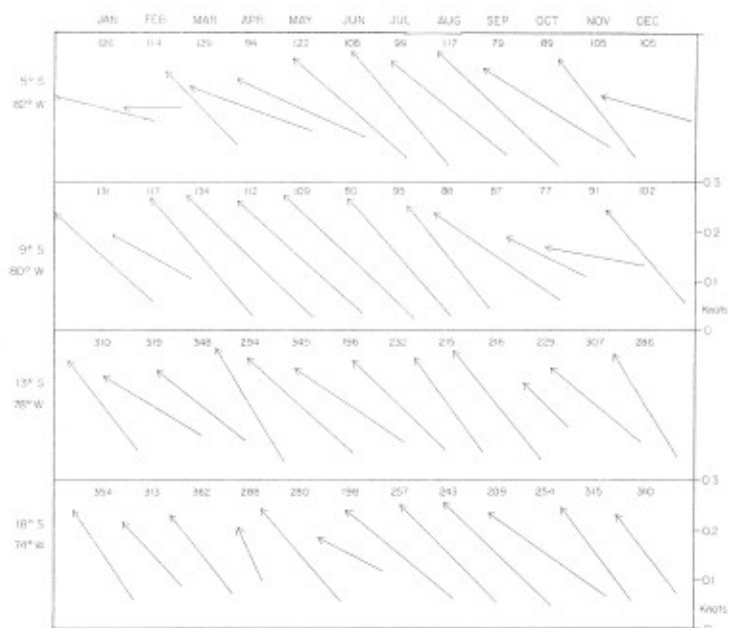


FIGURE 17. Resultant current vectors for each month at four locations off the coast of Peru. Velocity in knots. Figures give the number of observations.

FIGURA 17. Vectores de corrientes resultantes, cada mes, en cuatro localidades frente a la costa del Perú. Velocidad en nudos. Las cifras dan el número de observaciones.

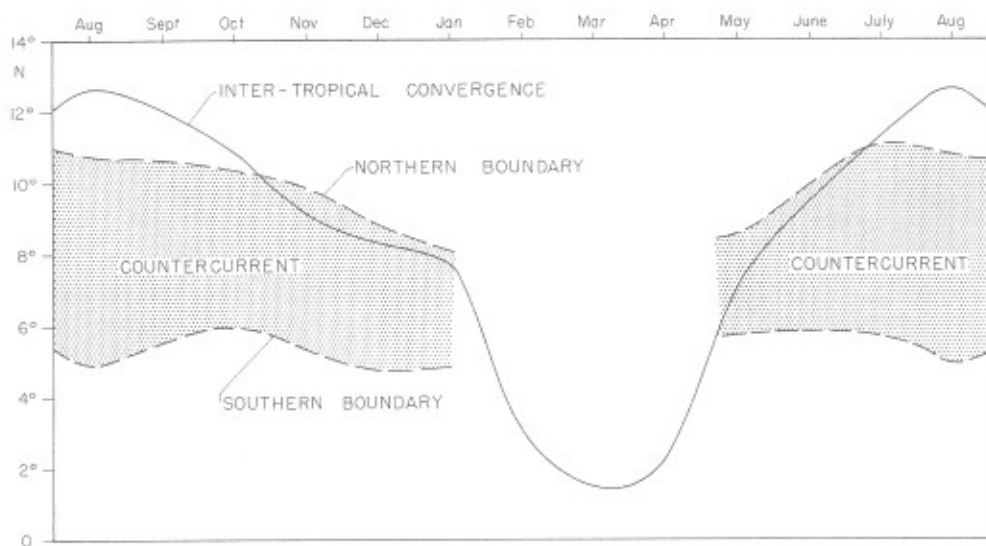


FIGURE 18. Seasonal variation of the position of the intertropical convergence and of the northern and southern boundary of the Equatorial Countercurrent at 120°W.

FIGURA 18. Variación estacional de la posición de la convergencia intertropical y de los límites norte y sur de la Contracorriente Ecuatorial a los 120°W.

CORRIENTES SUPERFICIALES DEL OCEANO PACIFICO ORIENTAL TROPICAL^{1, 2}

por

Klaus Wyrki^{3, 4}

INTRODUCCION

La circulación de la superficie en el Océano Pacífico Oriental Tropical está sometida a una considerable variación en respuesta al cambio del sistema de los vientos principales. Está dominada por la parte oriental y ecuatorial de los movimientos giratorios anticiclónicos en el Océano Pacífico del Norte y del Sur. Estos están constituidos por la Corriente de California y la Corriente Ecuatorial Septentrional, en el Pacífico del Norte, y por la Corriente del Perú y la Corriente Ecuatorial Meridional, en el Pacífico del Sur. Entre estos dos movimientos giratorios, la Contracorriente Ecuatorial se desarrolla tanto como la convergencia intertropical esté suficientemente alejada al norte del ecuador. A causa de la configuración del océano, estos dos movimientos giratorios no logran penetrar dentro del área del Pacífico Oriental Tropical, entre Cabo Corrientes, en México y el Ecuador, lo que consecuentemente ofrece una pauta de circulación variable y aparentemente complicada. Cualquier conocimiento de los movimientos de las masas de agua y de los procesos que mantienen la estructura termal y halina en esta área, dependerán de la información sobre la variación de la circulación.

Mensualmente, la U. S. Hydrographic Office (1947) ha publicado cartas de las corrientes superficiales en esta área de la región entre el ecuador, 160°W, y la costa de las Américas, y han sido representadas en una forma diferente por Cromwell y Bennett (1959) para el área entre el ecuador 30°N, 120°W, y la costa de las Américas. Han sido publicadas por la British Meteorological Office (1935), cartas estacionales de las corrientes superficiales para el Océano Pacífico Meridional, abarcando el océano al sur del ecuador. Estos dos atlas son una presentación de observaciones estadísticamente compendiadas y dejan su interpretación al lector. Por muchas razones destacadas por Wyrki (1960), es deseable una interpretación de tales atlas, que de como resultado la elaboración de cartas corrientes que compendien los datos, localicen las diferentes ramas de la circulación y la posición de los límites entre ellas, y que eliminen la dispersión inherente a esta clase de observaciones. Lo que sigue es un ensayo, basado sobre las

1. Esta investigación fue parte de Scripps Tuna Oceanography Research Program, subvencionada por el U. S. Bureau of Commercial Fisheries Contrato No. 14-17-007-139, y por el Atomic Energy Commission Contrato No. AT(11-1)- 34, Proyecto 99.
2. Contribución de Scripps Institution of Oceanography, University of California en San Diego. Nueva serie.
3. Institute of Marine Resources, Scripps Institution of Oceanography, University of California, en San Diego.
4. Dirección actual, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.

observaciones que han hecho los barcos acerca de la corriente superficial de analizar e interpretar la circulación superficial en el área entre los 30°N, 20°S, la costa de las Américas y los 140°W.

LOS DATOS Y SU PROCEDIMIENTO

Las observaciones sobre la corriente de la superficie, registradas por los barcos mercantes y de la marina en esta área, han sido obtenidas del Centro Nacional de Datos Oceanográficos (National Oceanographic Data Center), Washington, D. C. Solamente han sido usados los datos que presentan las tarjetas perforadas por medio del procedimiento de máquinas, y no se ha hecho referencia a los orígenes de los mismos. Al norte del ecuador, los datos son en parte los mismos que fueron empleados en el atlas de la U. S. Hydrographic Office (1947), desde el período de 1904 a 1934, y en parte los nuevos datos del período de 1935 a 1946. Al sur del ecuador, los datos provienen principalmente de los barcos de los Estados Unidos, de manera que el Atlas de la British Meteorological Office (1935) puede ser usado como una fuente adicional.

Estos datos básicos fueron compendiados por medio de un computador en cada mes por cuadrados de un grado, fueron computados el vector resultante y el promedio de velocidad, y se hizo un sumario estadístico de la clase de dirección y velocidad. Los vectores de la corriente resultantes fueron utilizados para elaborar las doce cartas mensuales de la circulación superficial (Figuras 1 a 12). En estas cartas, la velocidad de las corrientes está indicada en cuatro clases: de 0.1 a 0.3 nudos; de 0.4 a 0.6 nudos; de 0.7 a 0.9 nudos; y mayor de 1.0 nudos. Esta subdivisión parece ser apropiada con respecto a las fluctuaciones de las corrientes superficiales. Los sumarios estadísticos de los cuadrados de un grado con gran número de observaciones en regiones caracterizadas por una corriente uniforme, demuestran que generalmente de un 40 a un 50% de todas las observaciones caen dentro de una de estas clases de velocidad. En regiones de corrientes muy variables, el vector de la corriente resultante puede llegar a ser casi cero, aun cuando las observaciones de la velocidad de la corriente individual sean relativamente altas, que es lo que ocurre frente a la costa de México. No se han dado valores de la persistencia en la constancia de las corrientes, pero en general puede tenerse por cierto que una alta velocidad en las cartas de las corrientes, indica también una alta persistencia de la dirección. En las áreas seleccionadas, los vectores de la corriente resultantes o las velocidades en la dirección más frecuente, están indicados para cada mes en las Figuras 13 a 17, y estos valores han sido entrados también en los mapas de las corrientes superficiales.

LA CORRIENTE DE CALIFORNIA FRENTE A BAJA CALIFORNIA

Frente a la costa de Baja California, la Corriente de California fluye hacia el sur. De febrero a junio la corriente es fuerte, tiene un promedio de velocidad de 0.2 nudos y es casi paralela a la costa con solo un ligero componente de alta mar. En julio, la corriente cambia al separarse de la

costa, su velocidad decrece, y en agosto se observa un débil movimiento hacia el noroeste, a lo largo de la costa, que llega hasta cerca de los 25°N. De agosto a diciembre el flujo en su mayor parte se localiza mar afuera, su velocidad es muy débil, y el límite, entre los movimientos hacia el noroeste, a lo largo de la parte meridional de la costa, y hacia el sudeste, a lo largo de la parte septentrional, se localiza cerca de los 27°N. En la Figura 13, la dirección y la velocidad de la corriente resultante están indicadas para cada mes, en cuatro posiciones a lo largo de Baja California. Los períodos de un flujo fuerte hacia el sur en primavera, y el de un flujo débil mar afuera en el otoño, se distinguen claramente. Estos vectores de la corriente son computados según el resultado de las observaciones que en número de 300 a 1000, se hacen cada mes; además del vector de la corriente, se indica el promedio de la velocidad, calculado sin tomar en cuenta la dirección. Este promedio de la velocidad varía solo ligeramente durante el año, entre 0.5 y 0.35 nudos, lo cual indica que la dirección de la corriente es muy constante en la primavera y extremadamente variable de agosto a diciembre.

Más lejos de la costa, donde la Corriente de California se vuelve al oeste dentro de la Corriente Ecuatorial del Norte, la variación de la velocidad es casi insignificante durante el año, y el promedio de la misma es de unos 0.3 nudos (Fig. 14). En el área entera frente a Baja California, la pauta del flujo es altamente divergente durante todo el año, estando relacionada con el fuerte afloramiento a lo largo de la costa. De agosto a diciembre, toda el agua de la Corriente de California se ha vuelto hacia el oeste, antes de alcanzar los 20°N. En enero y febrero, el flujo tiene componentes del sur hasta por ahí los 18°N, y de marzo a junio el flujo hacia el sur alcanza los 15°N. Durante estos meses, el flujo al sur del Cabo San Lucas, al extremo meridional de Baja California, es divergente, y la mayor parte del agua se vuelve hacia el oeste, pero una parte continúa moviéndose hacia el sudeste dentro del Pacífico Oriental Tropical.

CONTRACORRIENTE ECUATORIAL

Al este de los 140°W, la Contracorriente Ecuatorial fluye hacia el este, entre los 4° y los 11°N, pero su posición y anchura varían con la estación. De mayo a diciembre, la Contracorriente se desarrolla claramente. Entre los 140° y los 100°W, su límite meridional se mantiene bastante estable entre los 4° y los 6°N, mientras que su borde septentrional fluctúa entre los 8° y los 12°N. Al este de los 110°W, el eje de la corriente y sus bordes cambian ligeramente hacia el sur, y el punto final del límite meridional se sitúa al sur de los 4°N, y el del límite septentrional, al sur de los 10°N. La anchura de la corriente varía de los 3° de latitud, en mayo, hasta más allá de los 5° en agosto, septiembre y octubre, y disminuye de nuevo a menos de los 4° en diciembre. La velocidad del flujo, entre los 130° y los 110°W, es de unos 0.75 nudos, ocurriendo valores más altos en septiembre (Figura 14). De agosto a diciembre, generalmente parte del agua de la Corriente Ecuatorial del Sur entra en la Contracorriente a través de su límite me-

ridional, y parte la abandona a través de su límite norte. Al este de los 90°W , la Contracorriente se bifurca, parte de su agua se vuelve hacia el norte y el noroeste, alrededor del Domo de Costa Rica, y parte toma rumbo hacia el sur y el oeste entrando en el sistema de la Corriente Ecuatorial del Sur.

En enero, la Contracorriente comienza a dividirse y existe solo en secciones separadas. Los límites sur y norte son interrumpidos, y cada una de las secciones es alimentada por aguas de la Corriente Ecuatorial del Sur y descarga sus aguas en la Corriente Ecuatorial del Norte. En febrero y marzo, la Contracorriente solo llega hasta los 120°W , y al este de esta posición desarrolla una corriente eólica hacia el oeste y el noroeste, entre los 5° y los 10°N , de la Corriente Ecuatorial del Sur a la Corriente Ecuatorial del Norte. Esta situación es aún más pronunciada en abril, cuando la Contracorriente está totalmente ausente. En mayo, la Contracorriente se forma de nuevo al este de los 140°W , estando su límite septentrional bien definido, mientras que su límite meridional es interrumpido, y la corriente es alimentada por el agua que recibe desde el sur.

Durante todo el período de enero a abril se mantiene un flujo ciclónico alrededor del Domo de Costa Rica, cerca de los 9°N , 89°W (Wyrtki, 1964) y una corriente anticiclónica alrededor de un punto cerca de los 5°N , 88°W . Entre estas dos localidades se desarrolla siempre un flujo fuerte al este, pero solo persiste hasta aproximadamente los 8° de longitud.

CORRIENTE ECUATORIAL DEL NORTE (SECTORES ORIENTALES)

La Corriente Ecuatorial del Norte es alimentada por dos fuentes: la Corriente de California y el agua del Pacífico Oriental Tropical, pero la contribución de estas dos fuentes varía durante el año. De marzo a julio, la Corriente Ecuatorial del Norte está suplida casi exclusivamente por la Corriente de California, que continúa alejándose hacia el sur antes de tomar rumbo al oeste. La contribución del agua del Pacífico Oriental Tropical es más significativa durante el resto del año, coincidiendo con el período en que la Contracorriente se desarrolla con mayor fuerza. De julio a diciembre grandes cantidades de agua de la Contracorriente toman rumbo hacia el norte, y alimentan el flujo hacia el oeste, entre los 10° y los 20°N . En enero, cuando la Contracorriente comienza a desintegrarse y la mayor parte de su agua se vuelve hacia el norte, el flujo de la Corriente Ecuatorial del Norte hacia el oeste está marcado por una banda de altas velocidades. El eje de esta corriente encontrado también en febrero, se alarga desde Costa Rica hacia el oeste, a lo largo de los 11°N , y luego cambia hacia el norte hasta cerca de los 17°N , a los 130°W . En febrero y marzo, cuando la Contracorriente solo llega hasta por ahí los 120°W , al este de esta posición el flujo corre hacia el oeste y el noroeste.

Al oeste de los 120°W , cuando las aguas de la Corriente de California y del Pacífico Oriental Tropical se han unido, y la Corriente Ecuatorial del

Norte queda bien establecida, su velocidad es de 0.3 nudos y se mantiene casi constante durante todo el año (Fig. 14). Al sur de los 20°N, el flujo generalmente tiene un leve componente al norte y un leve componente al sur, al norte de los 20°N.

CORRIENTES FRENTE A CENTROAMERICA

La rama más pronunciada de la circulación frente a Centroamérica es la Corriente Costanera de Costa Rica. Esta corriente está situada entre el Domo de Costa Rica y la costa, y se mueve a velocidades altas hacia el noroeste y el oeste. La velocidad, en el centro de esta corriente generalmente excede a 0.5 nudos (Fig. 15). En junio y julio, la corriente sigue la costa de Centroamérica y México y va hasta Cabo Corrientes. En agosto, el eje de la corriente cambia al alejarse de la costa, después de pasar el Golfo de Tehuantepec. Esta situación prevalece hasta diciembre, y el agua de la Corriente Costanera de Costa Rica pasa directamente a introducirse en la Corriente Ecuatorial del Norte. De enero a marzo, la corriente se mueve directamente al oeste, entre los 9° y los 12°N, después de abandonar la costa de Costa Rica, y no penetra el Golfo de Tehuantepec. En abril y mayo, la rama de la Corriente Costanera de Costa Rica, al entrar en el Golfo de Tehuantepec, se desarrolla nuevamente, mientras se debilita la rama que se mueve derecho al poniente.

A lo largo de la costa de México, al sudeste de Cabo Corrientes, un flujo débil hacia el sudeste, o sea, alejándose de la costa, se desarrolla de octubre a abril (Fig. 15). Este flujo se vuelve hacia el sur antes de alcanzar el Golfo de Tehuantepec, se asocia al agua de la Corriente Costanera de Costa Rica y toma rumbo al oeste. Especialmente en marzo y abril, este flujo forma parte de la circulación anticiclónica general, entre los 10° y los 20°N. En mayo, junio y julio, cuando esta circulación se debilita, el flujo hacia el sudeste se desvía de la costa.

De enero a marzo, se observa una fuerte salida de agua del Golfo de Tehuantepec hacia el sur, que pronto es integrada dentro de la Corriente Ecuatorial del Norte.

Frente a la costa de Colombia se desarrolla un remolino ciclónico de forma elíptica. Su rama con dirección al norte, a lo largo de la costa, es la Corriente de Colombia. Su rama con dirección al sur abandona el Golfo de Panamá en una dirección hacia el sur y el sudoeste, y se desarrolla con mayor fuerza de diciembre a abril. Durante este período, la mayor parte del agua que abandona el Golfo de Panamá, donde ocurre un fuerte afloramiento, toma rumbo al oeste y se une a la circulación anticiclónica centrada cerca de los 5°N y 88°W. Durante el resto del año, el remolino frente a Colombia se desarrolla más débilmente.

CORRIENTE ECUATORIAL DEL SUR

Al oeste de las Islas Galápagos, la Corriente Ecuatorial del Sur se mueve hacia el oeste a ambos lados del ecuador. Su límite septentrional es

la Contracorriente Ecuatorial cerca de los 4°N, y se extiende hacia el sur decreciendo su velocidad dentro de la región subtropical. Las velocidades más altas se encuentran a ambos lados del ecuador, entre más o menos los 3°N y los 8°S. Al sur del ecuador, el promedio de la velocidad cambia poco durante el año, mientras que al norte del ecuador las velocidades son generalmente mayores y exhiben una marcada variación estacional, con velocidades sobre 1.5 nudos de julio a noviembre (Fig. 16). Al oeste de los 100°W el flujo es, por lo general, divergente en el ecuador, con un débil componente norteño en el hemisferio septentrional y un componente sureño al sur del ecuador. En marzo y abril se observa un flujo ocasional al este, cerca del ecuador, y en mayo el flujo está definitivamente al este, entre los 100° y los 120°W. Entre los 100° y los 110°W, este flujo se vuelve hacia el norte y entra en la Contracorriente, que se forma de nuevo en este mes.

Es muy probable que el flujo ocasional hacia el este, en el ecuador, represente un ascenso de la Subcorriente Ecuatorial a la superficie, en ausencia de los vientos del este. La Subcorriente Ecuatorial que se mueve hacia el este tiene su límite superior por ahí cerca a los 20 m de profundidad en esta área (Knauss, 1960) y está cubierto por una capa delgada de agua que corre hacia el oeste. El flujo del este, en el ecuador, al oeste de las Islas Galápagos, ha sido cartografiado por Puls (1895) y Schott (1942).

No se han encontrado corrientes superficiales al este, cerca de los 5°S, que pudieran indicar la existencia de una Contracorriente Sudecuatorial en la superficie del mar. Esta corriente, que ha sido postulada por Reid (1961) sobre la base de la topografía geopotencial de esta área, solo puede, en consecuencia, existir en capas subsuperficiales.

Al este de los 100°W, hay generalmente un flujo del hemisferio sur al hemisferio norte a través del ecuador. Este flujo es especialmente fuerte de marzo a junio, cuando la Contracorriente se ausenta o se forma de nuevo. De julio en adelante, parte del agua que se mueve hacia el este con la Contracorriente, se vuelve hacia el sur y penetra la Corriente Sudecuatorial al nordeste de las Islas Galápagos, y el flujo a través del ecuador se hace más débil. En diciembre, el flujo hacia el oeste llega a ser casi paralelo al ecuador, y parte del agua corre aún hacia el sur, frente a la costa del Ecuador.

LA CORRIENTE DEL PERU

Frente a la costa del Perú, el flujo se mueve hacia el noroeste, como parte de la circulación anticiclónica del Océano Pacífico del Sur. A lo largo de la costa, coincidiendo aproximadamente con la región del afloramiento, la Corriente Costanera del Perú fluye hacia el noroeste y, más lejos de la costa, la Corriente Oceánica del Perú también se dirige hacia el noroeste. Estas dos corrientes están generalmente separadas por un flujo débil e irregular hacia el sur; la Contracorriente del Perú. Esta corriente, sin embargo, es una corriente subsuperficial y solo llega a la superficie ocasionalmente (Wyrtki, 1963). De julio a octubre, no se observa la Con-

tracorriente en la superficie del mar, de noviembre a febrero es cuando está más marcada y está situada a unos 500 kilómetros mar afuera, y de marzo a junio el flujo hacia el sur solo es observado ocasionalmente y su localización es más variable.

La Corriente Costanera del Perú se mueve hacia el noroeste a velocidades de unos 0.2 a 0.3 nudos, a lo largo de la costa (Fig. 17). En Punta Aguja, cerca de los 5°S, abandona la costa y se vuelve hacia el oeste aumentando considerablemente su velocidad, hasta 0.5-0.7 nudos cuando sus aguas llegan a ser parte de la Corriente Sud ecuatorial (Fig. 16). A lo largo de la costa del Perú, el flujo es más fuerte de abril a septiembre que durante el resto del año. La forma del contorno de la costa parece tener considerable influencia en la corriente costanera, que tiene la tendencia de abandonar la costa en casi cada cabo y parece formar remolinos con un flujo al sudeste a lo largo de la costa, en el sotavento de los cabos. Esta situación es especialmente marcada en Punta Huacas, cerca de los 14°S, en donde la corriente costanera generalmente se desvía fuertemente de la costa.

De julio a octubre, cuando no se encuentra la Contracorriente en la superficie, la Corriente Costanera del Perú y la Corriente Oceánica del Perú forman un solo flujo uniforme al noroeste, pasando dentro de la Corriente Sud ecuatorial, que es más fuerte en este período. Durante la mayor parte del año, el flujo en la Corriente Oceánica del Perú está más al oeste, por lo menos al norte de los 20°S. La velocidad en la Corriente Oceánica del Perú es por lo general ligeramente más alta que la de la corriente costanera. Cuando la Contracorriente se desarrolla, el agua de la corriente costanera pasa a través de la Contracorriente penetrando la Corriente Oceánica del Perú.

ACCION INTERMEDIA DE LOS DIVERSOS SISTEMAS DE CORRIENTES

La pauta aparentemente complicada y variable de la circulación superficial en el Océano Pacífico Oriental se hace mucho más simple si los períodos que ofrecen la misma pauta general son comparados entre sí. Aunque en grandes sectores de los océanos, los cambios en la circulación pueden ser descritos razonablemente bien al examinar la situación en verano y en invierno, en el Océano Pacífico Oriental se encuentran tres situaciones básicamente diferentes.

La primera pauta típica de la circulación se desarrolla de agosto a diciembre, cuando la Contracorriente Ecuatorial está desarrollándose totalmente y la Corriente Ecuatorial del Sur es muy fuerte también, especialmente en su parte situada al norte del ecuador. Durante este período, la mayor parte del agua de la Contracorriente fluye alrededor del Domo de Costa Rica, dentro de la Corriente Costanera de Costa Rica, y penetra la Corriente Ecuatorial del Norte entre los 10° y los 20°N. La Corriente de California abandona la costa de Baja California por ahí a los 25°N y solo

suple el agua de la Corriente Ecuatorial del Norte al norte de los 20°N. Esta situación se desarrolla cuando la convergencia intertropical se encuentra en una posición norteña en o al norte de los 10°N, coincidiendo aproximadamente con el límite septentrional de la Contracorriente. Esta situación parece ser la más estable y la que más perdura.

En enero, cuando comienza a moverse la convergencia intertropical hacia el ecuador, la Contracorriente llega a ser mucho más débil y se rompe en diversos segmentos. Simultáneamente, la corriente se hace más fuerte y se extiende más al sur.

La segunda pauta típica de la circulación se desarrolla de febrero a abril, cuando la convergencia intertropical se encuentra en su posición más meridional, cerca de los 3°N. Durante este período, la Corriente de California es fuerte, penetra más al sur y suple la mayor parte del agua a la Corriente Ecuatorial del Norte. Frente a la costa de México, entre los 10° y 20°N, la circulación es anticiclónica, con un movimiento hacia el sudeste a lo largo de la costa que se vuelve al oeste frente al Golfo de Tehuantepec. La Contracorriente Ecuatorial se ausenta completamente durante este período, y en el área en donde generalmente se encuentra, los movimientos del agua son hacia el oeste y el noroeste. Frente a la costa de la América Central se desarrollan dos remolinos enormes, uno es ciclónico, alrededor del Domo de Costa Rica, y el otro es anticiclónico, alrededor de un punto en los 5°N y los 88°W. La Corriente Sudecuatorial es más débil, y las corrientes al este se manifiestan ocasionalmente cerca del ecuador. La Corriente del Perú es también relativamente débil, y la Contracorriente del Perú es más marcada.

La tercera pauta típica de la circulación se desarrolla de mayo a julio, cuando la Contracorriente se forma de nuevo y la Corriente de California es todavía relativamente fuerte. Durante este período, la convergencia intertropical se encuentra de nuevo cerca a los 10°N, lo que permite el desarrollo de la Contracorriente. La mayor parte del agua de la Contracorriente se vuelve hacia el norte penetrando la Corriente Costanera de Costa Rica, que durante este período, corre a lo largo de la costa de la América Central hasta el Cabo Corrientes. La Corriente de California se mantiene aún fuerte y llega lejos al sur, pero no penetra mucho en el Pacífico Oriental Tropical. Constituye el afluente principal de la Corriente Ecuatorial del Norte.

De julio a agosto, la Corriente de California llega a ser progresivamente más débil, y la Corriente Ecuatorial del Norte recibe más y más agua del Pacífico Oriental Tropical.

Los cambios en la pauta de la circulación están claramente relacionados con las variaciones en la intensidad y localización del sistema principal de los vientos. De diciembre a abril, los alisios del nordeste son más fuertes, y el máximum del viento se encuentra en una posición relativamente meridional, entre los 10° y los 15°N. Durante esta época, la Corriente de California llega más al sur, tiene más fuerza y suple casi ex-

clusivamente la Corriente Ecuatorial del Norte. De julio a octubre, los alisios del sudeste son más fuertes y, en este periodo, hay un flujo uniformemente fuerte hacia el noroeste, frente al Perú, sin que sea interrumpido por una contracorriente.

Sin embargo, existe la relación más sorprendente entre el desarrollo de la Contracorriente Ecuatorial y la posición de la convergencia intertropical. En la Figura 18, la posición de la convergencia intertropical, según Crowe (1951), se compara con la posición de los límites norte y sur de la Contracorriente a los 120°W, como lo indican las cartas mensuales de las corrientes de la superficie. Es evidente que el límite norte de la Contracorriente coincide aproximadamente con la convergencia intertropical, y que la Contracorriente se desarrolla hasta tanto que la convergencia intertropical esté localizada al norte de los 7°N. Tan pronto como la convergencia intertropical cambia cerca del ecuador, de febrero a abril, la Contracorriente desaparece.

LITERATURE CITED — BIBLIOGRAFIA CITADA

British Meteorological Office

- 1935 South Pacific Ocean currents.
M.O. 435, H. M. Stationery Office, London.

Cromwell, T. and E. B. Bennett

- 1959 Surface drift charts for the Eastern Tropical Pacific [in English and Spanish].
Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 3 (5):215-237.

Crowe, P. R.

- 1951 Wind and weather in the equatorial zone.
Inst. of Brit. Geographers, Trans. and Papers, No. 17,
London, 76 p.

Knauss, J. A.

- 1960 Measurements of the Cromwell Current.
Deep-Sea Res., 6 (4):265-286.

Puls, C.

- 1895 Oberflächentemperaturen und Strömungen des Äquatorialgürtels des Stillen Ozeans.
Deutsche Seewarte, Archiv, 18 (1):1-38.

Reid, J. L.

- 1961 On the geostrophic flow at the surface of the Pacific Ocean with respect to the 1000-decibar surface.
Tellus, **13** (4):489-502.

Schott, G.

- 1942 Die Grundlagen einer Weltkarte der Meeresströmungen.
Ann. Hydr. Mar. Met., **11**:329.

U. S. Hydrographic Office

- 1947 Atlas of surface currents for the northeastern Pacific Ocean.
H.O. 570, Washington, D. C.

Wyrtki, Klaus

- 1960 On the presentation of ocean surface currents.
Int. Hydrogr. Rev., **37** (1):111-128.
- 1963 The horizontal and vertical field of motion in the Peru Current.
Bull. Scripps Inst. Oceanogr., **8** (4):313-346.
- 1964 Upwelling in the Costa Rica Dome.
U. S. Fish and Wildlife Service, *Fish. Bull.*, **63** (2):355-372.

An important phase of the scientific work of the Inter-American Tropical Tuna Commission is the publication of research results. The Commission publishes studies by its staff and by cooperating scientists in its *Bulletin* series, in both English and Spanish.

The Commission also publishes, in these languages, the Annual Report of the Inter-American Tropical Tuna Commission. In the Annual Report are reported the actions of the Commission, a review of the year's work carried out under the direction of the Commission, a roster of scientific staff, and a listing of all publications issued during the preceding calendar year.

Bulletins, Annual Reports, and papers published by the staff in other journals are distributed on an exchange basis to a selected international list of governmental organizations, official libraries and laboratories and interested members of the scientific community. Requests for these publications, as well as for a listing of all publications, may be directed to The Editor.

Some recent publications in the *Bulletin* series are:

Una fase importante del trabajo científico de la Comisión Interamericana del Atún Tropical es la publicación de los resultados de sus investigaciones. La Comisión publica tanto en inglés como en español, los estudios efectuados por su personal y por científicos que cooperan en su serie de *Boletines*.

La Comisión también publica en estos idiomas, el Informe Anual de la Comisión Interamericana del Atún Tropical. En el Informe Anual, se participa sobre las acciones de la Comisión; una revisión del trabajo llevado a cabo durante el año bajo la dirección de la Comisión; un registro del personal científico y una lista de todas las publicaciones editadas durante el año calendario anterior.

Los *Boletines*, Informes Anuales y artículos publicados por el personal en otras revistas, se distribuyen, a base de intercambio, a una lista internacional escogida de organizaciones gubernamentales, bibliotecas oficiales, laboratorios y personas interesadas de la comunidad científica. Los pedidos para estas publicaciones, lo mismo que de la lista de todas las ediciones, deben ser dirigidos al Editor.

Las publicaciones recientes en la serie de *Boletines* son:

Vol. IX, No. 2

A review of the population structure of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, in the Eastern Pacific Ocean, by James Joseph, Franklin G. Alverson, Bernard D. Fink and Edwin B. Davidoff. La Jolla, 1964.

Una revisión de la estructura de la población del atún aleta amarilla, *Thunnus albacares*, en el Océano Pacífico Oriental, por James Joseph, Franklin G. Alverson, Bernard D. Fink y Edwin B. Davidoff. La Jolla, 1964.

Vol. IX, No. 3

The Chaetognatha of the waters of the Peru region, by Paul N. Sund. La Jolla, 1964.

Los Quetognatos en las aguas de la región del Perú, por Paul N. Sund. La Jolla, 1964.

Vol. IX, No. 4

Muscle glycogen and blood lactate in yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, and skipjack, *Katsuwonus pelamis*, following capture and tagging, by Izadore Barrett and Anne Robertson Connor. La Jolla, 1964.

El glicógeno en los músculos y el lactato en la sangre del atún aleta amarilla, *Thunnus albacares*, y del barrilete, *Katsuwonus pelamis*, después de la captura y de la marcación, por Izadore Barrett y Anne Robertson Connor. La Jolla, 1964.

Editor:

IZADORE BARRETT

Inter-American Tropical Tuna Commission
Comisión Interamericana del Atún Tropical
c/o Scripps Institution of Oceanography
La Jolla, California, U.S.A.