

INTER-AMERICAN TROPICAL TUNA COMMISSION
COMISION INTERAMERICANA DEL ATUN TROPICAL

Bulletin — Boletín

Vol. VIII, No. 9

(Completing the Volume)
(Completando en Volumen)

**BIOLOGICAL PRODUCTION IN THE
EASTERN PACIFIC OCEAN**

**PRODUCCION BIOLOGICA EN EL
OCEANO PACIFICO ORIENTAL**

by — por
Eric D. Forsbergh — James Joseph

La Jolla, California
1964

CONTENTS — INDICE

ENGLISH VERSION — VERSION EN INGLES

	Page
INTRODUCTION.....	479
METHODS AND SOURCES.....	480
The data.....	480
Phosphate-phosphorus.....	481
Chlorophyll <i>a</i>	481
Primary production.....	481
Zooplankton values.....	483
Diagrams and maps.....	483
RESULTS AND DISCUSSION.....	484
Nutrients.....	484
Phytoplankton.....	486
Zooplankton.....	487
Nekton.....	487
Tunas and billfishes.....	488
Sperm whales.....	488
—————	
FIGURES—FIGURAS.....	489
—————	
TABLES—TABLAS.....	498
—————	

SPANISH VERSION — VERSION EN ESPAÑOL

	Página
INTRODUCCION.....	512
METODOS Y FUENTES.....	513
Los datos.....	513
Fosfato-fósforo.....	514
Clorofila <i>a</i>	514
Producción primaria.....	514
Valores del zooplancton.....	516
Diagramas y mapas.....	517
RESULTADOS Y DISCUSION.....	518
Sales nutritivas.....	518
Fitoplancton.....	519
Zooplancton.....	520
Necton.....	521
Atunes y peces con espada.....	521
Cachalotes.....	522
—————	
REFERENCES—REFERENCIAS.....	523

BIOLOGICAL PRODUCTION IN THE EASTERN PACIFIC OCEAN¹

by

Eric D. Forsbergh and James Joseph

INTRODUCTION

Systematic and quantitative surveys of the oceans of the world are necessary in order to discover the geographic distribution of biological production at various levels in the food chain (Schaefer, 1962). The relations of this production to hydrographic and meteorological variables also need to be investigated.

The Inter-American Tropical Tuna Commission is primarily concerned with that part of the eastern Pacific Ocean which is inhabited by the stocks of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and skipjack (*Katsuwonus pelamis*). Cromwell (1958) described the thermocline topography in part of this area. Bjerknes (1961) has analyzed some of the relationships between meteorology and hydrography. Wooster and Cromwell (1958) illustrated the vertical distribution of temperature, dissolved oxygen, inorganic phosphate and silicate in the eastern Pacific by vertical sections through most of its important features. During the Danish *Galathea* Expedition Steemann Nielsen and Aabye Jensen (1957-1959) first measured the rate of autotrophic production in the sea using the sensitive radiocarbon method developed by Steemann Nielsen (1952). They made some determinations in the eastern tropical Pacific. The first extensive survey of primary production and of standing crop of both phytoplankton and zooplankton in the eastern tropical Pacific was made during EASTROPIC Expedition in 1955 (King, Austin and Doty, 1957; Holmes, Schaefer and Shimada, 1957; Brandhorst, 1958; Holmes, 1958; Austin, 1960) but few measurements were made south of 10°S. Other measurements of primary production and of standing crops of phytoplankton and zooplankton have been made on several subsequent expeditions, mostly north of the equator.

Reid (1962) has described the geographic distribution of phosphate-phosphorus (PO₄-P) and zooplankton volumes in the upper layers of the Pacific based upon data available up to 1958, but again few data are shown south of 10°S. A comprehensive survey of the physics, chemistry and biology of the waters off Peru and northern Chile was made during STEP-I Expedition in 1960. Some results have been presented by Wooster (1961a), Wooster and Gilmartin (1961), Sund (*in press*), Wyrтки (1963), Chow and Barrett (M.S.).

¹ This investigation was supported in part by Office of Naval Research Contract Nonr 2216 (01) with Scripps Institution of Oceanography and Atomic Energy Commission Contract AT (11-1)-34 Project 99 with the Institute of Marine Resources of the University of California.

The mechanisms of biological production in the eastern Pacific have become of increasing interest in recent years, owing to the development of large and expanding fisheries whose importance may be judged from the size of the catches: off the Peruvian coast about 4,300,000 metric tons of anchovies (*Engraulis ringens*) are taken annually by aquatic birds (Wooster and Reid, 1963) and about 6,000,000 metric tons were taken during 1962 by Peruvian fishermen; in the purse-seine and live-bait fishery for yellowfin tuna and skipjack from California to Chile 191,000 short tons were caught during 1961, mainly by American fishermen; during 1961 the Japanese offshore longline fishery east of 130°W took about 36,000 short tons of tunas (Scombridae) and billfishes (Istiophoridae and Xiphiidae). Catch statistics by species, area and season, of the purse-seine and live-bait fishery have been presented by Shimada (1958) and Alverson (1959, 1960, 1963). Partial statistics of Japanese offshore longline catches in the eastern Pacific have been published by a number of Japanese agencies but the most complete statistics have been compiled by Akira Suda (unpublished data). Sette (1955) made the first major attempt, based on substantial data, to relate high-seas fish production to oceanic circulation and wind force. A description of physical, chemical and biological features and their inter-relationships in the northeastern Pacific (east of 120°W, and north of the equator) is being completed by Robert W. Holmes.

The present paper is principally concerned with the geographic distribution of the standing crop and production of phytoplankton at the surface of the eastern Pacific, east of 130°W and between 10°N and 33°S, as reflected by recently collected data. In addition we discuss some of the more obvious, general relationships among thermocline topography, nutrient concentration, and the various trophic levels from primary production to fish production. The limited data do not allow a seasonal study. We have therefore mapped all of the data together regardless of the time of collection, but do not wish to imply that the physical, chemical and biological system is without seasonal or periodic change.

The authors are grateful to the following persons for many helpful suggestions: Franklin G. Alverson, Edward B. Bennett, Maurice Blackburn, Wilbert M. Chapman, Milner B. Schaefer, Paul N. Sund, and particularly to O. Elton Sette. Thanks are also extended to Akira Suda for assistance in computing total catch for the Japanese longline fishery.

METHODS AND SOURCES

The data

The data upon which this paper is based are summarized in Table 1 and completely listed in Tables 4-9 and either have been or will be distributed as unpublished data reports.

TABLE 1. Origin of data primarily used in this report.

Cruise	Time	Source	PO ₄ -P	Chl. <i>a</i>	C ¹⁴	Zoo-plankton
COSTA RICA DOME	Nov.-Dec., 1959	Anon. (1960)	X	X	X	X
STEP-I	Sep.-Dec., 1960	Wooster (1961a)	X			
STEP-I	Sep.-Dec., 1960	Forsbergh (1961)		X	X	X
SWANSONG	Oct.-Dec., 1961	Unpublished data		X	X	X
<i>Esmeralda</i>	Jul.-Aug., 1962	Forsbergh (1963)		X	X	

Cruise tracks of the above cruises are shown in Figure 1.

Phosphate-phosphorus

Surface PO₄-P was determined by the method described by Strickland and Parsons (1960) and concentrations are reported as microgram-atoms per liter ($\mu\text{g-at./L}$) (Figure 2 and Table 4). Precision of the method is given for the COSTA RICA DOME as $\pm 0.13 \mu\text{g-at./L}$ at the $3.30 \mu\text{g-at./L}$ level and as $\pm 0.06 \mu\text{g-at./L}$ at the $0.65 \mu\text{g-at./L}$ level (Anon. 1960) and for STEP-I as $\pm 0.11 \mu\text{g-at./L}$ at the $3 \mu\text{g-at./L}$ level and as $\pm 0.055 \mu\text{g-at./L}$ at the $0.3 \mu\text{g-at./L}$ level (Strickland and Parsons, 1960 and Wooster, 1961a).

Chlorophyll *a*

Samples of surface water were collected with a plastic bucket at sunrise, noon, and sunset. The phytoplankton was removed immediately by filtering the samples through HA Millipore filters (pore diameter: 0.45μ). The phytoplankton extract was prepared by the method of Creitz and Richards (1955) and the chlorophyll *a* concentration was determined by the method of Richards with Thompson (1952). Values are given to two significant figures as milligrams per cubic meter of water (mg/m^3).

The density of sampling locations on COSTA RICA DOME required the assignment of one symbol on the map (Figure 3) for each one-degree area in order to prevent overlapping. The size of the symbol used corresponds to the median of the measurements, by the categories indicated in the inset on Figure 3, made in each one-degree square.

Primary production

The rate of carbon fixation by the phytoplankton was measured using the C¹⁴ method of Steemann Nielsen (1952). Samples of surface water were obtained with a plastic bucket at sunrise and at noon, placed in glass-stoppered Pyrex reagent bottles, inoculated with 1 ml of C¹⁴ solution and exposed to natural light between sunrise and noon or between noon and sunset. Bottles containing samples were either towed behind the ship, or were exposed on deck and maintained at approximately sea surface temperature by means of circulating sea water (Robert W. Holmes [personal

communication] has found no significant difference between these two methods). Dark bottles, similarly exposed, were used as controls in all experiments. At the end of each experiment the phytoplankton was collected by filtering the water sample through HA Millipore filters (pore diameter: 0.45μ) with suction less than 20 inches of mercury. Filters were washed several times with sea water, then desiccated under vacuum.

The SWANSONG samples were first filtered through netting with apertures 0.5×0.5 mm in order to remove most of the zooplankton. On COSTA RICA DOME and STEP-I, 125-ml bottles were used; on SWANSONG and *Esmeralda*, 250-ml bottles were used.

A Nuclear Chicago D-47 gas-flow counter was used to measure the activity of the radiocarbon solution and of the phytoplankton. COSTA RICA DOME samples were counted to 1280 counts, all others were counted to 2560 counts. Phytoplankton samples from STEP-I and SWANSONG were exposed to vapors of hydrochloric acid before counting in order to remove any radioactivity from contamination by inorganic carbonate. Samples from COSTA RICA DOME and *Esmeralda* were not so exposed. We have found that activities before and after exposure to acid vapors are not significantly different, so this practice was discontinued after SWANSONG.

All radiocarbon solutions were prepared and standardized in the same manner. One determination of the standard was made for the COSTA RICA DOME solution, three for STEP-I, and four for *Esmeralda*. The self-absorption curves of radioactivity versus thickness of precipitate were not extrapolated to zero thickness because of a decrease in activity at very small thickness (< 0.03 mg/cm²) perhaps caused by an uneven deposition of the precipitate at low concentrations. We do not consider this decrease in activity to be real. Owing to the scatter of the points, particularly among determinations of the standard, the plotting of the curve through the remaining points (at thicknesses ≥ 0.03 mg/cm²) was not considered realistic. Therefore, the mean activity of all points at the peak of the curves was the value assigned to each solution. Values derived in this manner were used for all three solutions.

The correction for non-photosynthetic uptake of carbon was made by subtracting dark-bottle from light-bottle activity. Carbon fixed was calculated to two significant figures except in cases of very low fixation when it was calculated to one figure only. Values of daily fixation were calculated by doubling the values obtained during the half-day exposures, and therefore are not corrected for nocturnal respiration. The carbonate-carbon content of the sea water was assumed to be constant at 24 mg per liter. A correction factor of 1.05 was used to compensate for the isotope effect (except on COSTA RICA DOME). Differences in methods among the major cruises are shown by Table 2.

TABLE 2. Methods used on the major cruises.

Methods	COSTA RICA			
	DOME 1959	STEP-I 1960	SWANSONG 1961	<i>Esmeralda</i> 1962
Trailing bottles	X	X		X
Deck incubator		X	X	
Size of bottles	125 ml	125 ml	250 ml	250 ml
Zooplankton removed			X	
Sample filters exposed to HCl vapor		X	X	
Correction for isotope effect		X	X	X
Counts per sample	1280	2560	2560	2560
No. of determinations/standard (3 replicates/determination)	1	3	4	4
Coefficient of variation	±12%	±5%	±17%	±17%

Because of the density of sampling locations, the same procedures used to plot the COSTA RICA DOME chlorophyll *a* values in Figure 3, were used to plot the rates of production in Figure 4.

Zooplankton values

Zooplankton was collected with nets, one meter across the mouth, made of nylon grit-gauze (Nitex No. 452 in the body, aperture size 0.452 mm; Nitex No. 295 in the rear section and cod-end, aperture size 0.295 mm). Standard oblique hauls were made from a depth of about 300 m. The wire was let out at 50 m per minute and taken in at 20 m per minute, the angle being maintained as close to 45° as possible by varying the ship's speed. A Tsurumi flowmeter was used to estimate water flow, and the total volume of water strained was calculated by the method of South Pacific Fishery Investigations (1953). An average of 760 m³ of water¹ were strained per tow, the range being from 120 m³ to 2240 m³. The zooplankton was preserved in 4% buffered formalin and the wet volume was measured by displacement after removal of organisms longer than 5 cm. Concentrations of zooplankton are given in milliliters per 1000 cubic meters of water (ml/1000 m³) and were calculated to two significant figures. Griffiths (1963), using total variance, has shown that the 95% confidence limits of a single haul are 1/3 and 3 times the value of the haul. Zooplankton hauls were not possible on the *Esmeralda* cruise.

Diagrams and maps

The schematic diagram of the current system (Figure 5) was derived from the following sources: 1) For the Equatorial current system: Sverdrup, Johnson and Fleming (1942), Cromwell and Bennett (1959), Reid (1961, 1962), Wooster (1961), Wyrтки (1963), Knauss (1960 and personal

¹. In the STEP-I data report, SIO Ref. 61-18, the amount of water strained at Station 88 is given as 30 m³. This is erroneous; the correct value is 300 m³. The value for zooplankton volume given is, however, correct.

communication. 2) For the Peruvian system: Günther (1936), Wooster and Gilmartin (1961), Wooster and Reid (1963) and Wyrтки (1963).

The map of surface PO₄-P (Figure 2) for STEP-I was supplied by Tsaihwa J. Chow. The PO₄-P data from COSTA RICA DOME were added to those of STEP-I.

The maps of surface chlorophyll *a* and surface productivity (Figures 3 and 4) are based on the data given in Tables 5-8. In addition, similar maps were made based on all the available published data south of 10°N and east of 130°W (Table 3 and Figure 6).

TABLE 3. Sources of data used in Figure 6.

Cruise	Time	Reference	Carbon fixation		
			Chl. <i>a</i>	<i>In situ</i>	Artificial-light Incubator
GALATHEA	May, 1952 (in eastern Pacific)	Steemann Nielsen & Aabye Jensen 1957-1959			X
EASTROPIC	Oct.-Dec., 1955	Holmes, Schaefer & Shimada, 1957	X	X	X
EASTROPIC	Oct.-Dec., 1955	King, Austin & Doty, 1957			X
<i>Hugh M. Smith</i>	Jan.-Mar., 1957	Wilson & Rinkel, 1957			X
SCOPE	Nov.-Dec., 1956	Holmes, <i>et al.</i> , 1958	X	X	X
SCOT	Apr.-Jun., 1958	Holmes & Blackburn, 1960	X		
SCOT	Apr.-Jun., 1958	Blackburn, <i>et al.</i> , 1962		X	X

The map of zooplankton distribution (Figure 7) is based on the data given in Table 9.

The map of the distribution of catch, hook-rate (catch-per-100 hooks), and effort for the Japanese longline fishery for tunas and billfishes in 1961 (Figure 8) was obtained from statistics published by The Japanese Fishermen's Cooperative Association (1962-1963). These statistics are not complete but we considered them adequate to reflect the distribution of tunas and billfishes in the high seas of the eastern Pacific. The number of fish caught was calculated from the number of sets and the hook-rate, with the assumption that 2000 hooks were fished in each set.

Figure 9, which shows the distribution of sperm whale (*Physeter catodon*) catches made by American whalers in the eastern Pacific between the years 1761 and 1920, was taken from Plates 1 and 2 in Townsend (1935). The distribution is shown by season, as originally presented by Townsend.

RESULTS AND DISCUSSION

Nutrients

The major factors involved in phytoplankton production are illumination, rate of replenishment of nutrient salts, rate of grazing by zooplankton,

removal of plants from the euphotic zone by turbulence, and the effects of temperature on metabolism (Harvey, 1957). In tropical and subtropical seas the availability of nutrients is believed to be by far the predominant factor (Steemann Nielsen, 1955). The upward transport of nutrients into the euphotic zone depends on the concentration gradient, the degree of vertical eddy diffusion (dependent in turn on turbulence and density gradient), and on upwelling (Harvey, 1957). Brandhorst (1958) showed that in offshore waters the standing crop of zooplankton, itself a rough indicator of phytoplankton production, is inversely related to both the depth and stability of the thermocline. A similar situation was found to exist in the Gulf of Tehuantepec (Blackburn, 1962).

$\text{PO}_4\text{-P}$ is the most commonly measured of the plant nutrients, although others may be even more important. Reid (1962) states:

“Variations of $\text{PO}_4\text{-P}$ may or may not be important in themselves. They may be important as indicators of variations of other nutrients, such as nitrate, that are affected by the same processes, but are not present in excess.”

The maps of surface $\text{PO}_4\text{-P}$ (Figure 2; Reid, 1962, Figure 2) show high concentrations at the Costa Rica Thermal Dome, about the equator, along the coasts of Peru and Chile, and in a wide band on a northwesterly axis between Peru and the equator. These regions correspond to those of shallow thermocline or weak stratification. An exception to this is the region along the thermal ridge at the north border of the North Equatorial Countercurrent (Cromwell, 1958), where surface $\text{PO}_4\text{-P}$ is low west of 100°W . This suggests that even though the waters at 100 m are very high in $\text{PO}_4\text{-P}$ along this latitude (Reid, 1962, Figure 3) horizontal divergence and vertical mixing and eddy diffusion are not great enough to permit enrichment of surface water there. Also surface wind is weakest there, hence there is little stirring.

From 120°W to 95°W , maximum surface $\text{PO}_4\text{-P}$ is found along 3°S (Reid, 1962, Figure 2) which coincides with the shallowest part of the equatorial thermal ridge running between parallels 3°N and 5°S . Enrichment of the surface at the equator is apparently not as great as might be expected because upwelling, owing to the meridional cell (Charney, 1960; Knauss, 1960) in the Cromwell Current, takes place from about the middle of the pycnocline in these longitudes. Observations show that nutrient concentrations are relatively low in the pycnocline along the equator (Wooster and Cromwell, 1958; Knauss, 1960; and Bennett, 1963). Consequently, any vertical mixing processes along the equator cannot be as effective in enriching surface waters as would be the case a few degrees to the south.

Along the Peruvian coast extremely high $\text{PO}_4\text{-P}$ values (Figure 2) at 6°S and 15°S can be taken as evidence of strong upwelling. Sea-surface

temperatures also indicate strong upwelling at these points. Sund (*in press*) has shown a similar pattern of upwelling using chaetognaths as water-mass indicators.

Off central and southern Peru prevailing southeasterly winds during November (the middle month of STEP-I Cruise) increase from Beaufort Force 2 along the coast to greater than Force 4 at about 20°S and 90°W (Meteorological Office, 1956). If these southeasterly winds produce a southwesterly transport of surface waters (Ekman transport) which increases as one moves from the coast to the position of strongest winds (20°S and 90°W), then the relative difference in transport of surface waters would cause a divergence resulting in upwelling. The PO₄-P values of 1 μ-at./L found over 300 miles offshore could be attributed to such a divergence. This enriched surface water is apparently carried to the northwest by the Peru Oceanic Current.

Phytoplankton

Previously published phytoplankton data (Figure 6) show high standing crop, as measured by chlorophyll *a* concentrations, between the Galapagos Islands and the mainland and relatively high production near the equator between 130°W and 110°W. Austin (1960, Figure 24) has contoured the data of King, Austin and Doty (1957) showing maximum production in the region along the equator.

Recent and extensive data obtained by standardized methods (Figures 3 and 4 and Tables 5-8) show the distributions of standing crop and productivity of surface phytoplankton to correspond approximately to the distribution of surface PO₄-P. Chlorophyll *a* is high at the Costa Rica Thermal Dome (0.33-0.99 mg chl. *a*/m³), very high near the Peruvian coast (≥ 1.00), high at 115°W between 4°N and 10°S; but at 95°W is high at the equator rather than at 3°S, where the PO₄-P maximum is. The rate of production is high at the Costa Rica Thermal Dome (15-44 mgC/m³/day), very high near the Peruvian coast (≥ 45), high between the Galapagos Islands and the mainland, high between 10°N and 10°S at 115°W and between 2°N and 10°S at 95°W, with the maxima at the equator rather than at 3°S. We have no explanation for the differences in latitudes of maximum PO₄-P concentration and maximum productivity, if the differences are real.

High production and standing crop several hundred miles off the Peruvian coast reflect high nutrient concentration, shown by PO₄-P concentrations greater than 1.0 μg-at./L. There are no phosphate data at 32°S, but the high values of production and standing crop there as far west as 83°W suggest that PO₄-P may be high there also, perhaps caused by coastal upwelled water driven seawards by easterly winds and by a divergence between the Peru Countercurrent and the Peru Oceanic Current.

Zooplankton

The relationships of zooplankton to hydrography and nutrients in the equatorial current system of the Pacific have frequently been examined. Sverdrup, Johnson and Fleming (1942) show that at 140°W zooplankton maxima occur at 13°N and 3°S coinciding with the peaks of the thermal ridges in the equatorial current system. King and Demond (1953) found a maximum at, or within a few degrees of, the equator between 155° and 175°W. Sette (1955) also shows a maximum near the equator at 150°W. King and Hida (1957) in their analysis of zooplankton and the equatorial current system between 120° and 180°W found zooplankton to be maximum along the equator, except between 120° and 140°W, where it was equally high at the equator and in the North Equatorial Countercurrent; they observed zooplankton volumes which were greater in the convergence north of the equator, than were those to the south of the equator. These may have been caused by the southeast trades driving surface waters northward. On a series of sections across the equatorial current system, King and Hida (*op. cit.*) found a high positive relationship between zooplankton and surface PO₄-P. Holmes, Schaefer and Shimada (1957) found a positive relationship between zooplankton and surface chlorophyll *a* east of 130°W. Brandhorst (1958) showed an inverse relationship between zooplankton and the depth of the thermocline. Reid (1962, Figure 4) shows zooplankton to be relatively high along the thermal ridge at the north edge of the North Equatorial Countercurrent, and along the equatorial thermal ridge from 5°N to 4°S at 130°W, and from 5°N to 10°S at 90°W, which corresponds roughly with the distribution of PO₄-P (Reid, 1962 Figures 2 and 3). Figure 7 shows high zooplankton (> 82 ml/1000 m³) along 95°W between 10°N and 10°S with the maximum (> 244) from 0° to 8°S which coincides with high surface productivity (Figure 4) and high PO₄-P concentration (Figure 2). In the equatorial region the zone of zooplankton maximum appears to be shifted slightly to the north of the zone of PO₄-P maximum, perhaps as a result of southeasterly winds driving the surface water northwards as suggested by King and Hida (*op. cit.*).

Nekton

Micronekton volumes collected during STEP-I were greater near the Peruvian coast (Maurice Blackburn, personal communication) reflecting the zooplankton distribution shown by Reid (1962, Figure 4), but not that from STEP-I (Figure 7).

King and Iversen (1962) analyzed a large number of catches taken by midwater trawl over a 6-year period in the equatorial current system between 108° and 165°W. The organisms taken were principally primary and secondary carnivores. The greatest catches of forage organisms were taken between 5°N and 5°S in the region of upwelling and enrichment. Poor catches were made south of 5°S and between 10° and 18°N. The

correlation of forage organisms with zooplankton was highly significant; there was some significant correlation between phytoplankton production and PO_4 -P.

Tunas and billfishes

The best practical measure, presently available, of the distribution of the apparent abundance of tunas and billfishes is obtained from the catches of fishermen, mainly American and Japanese, who are now fishing over the entire eastern tropical Pacific. American tuna fishermen depend for their catches upon dense surface schools of yellowfin tuna and skipjack near the mainland extending about 200 miles offshore from about $30^\circ N$ to about $20^\circ S$ and around offshore islands. Statistics for this fishery have been presented by Shimada (1958) and Alverson (1959, 1960, 1963). We can find no obvious relationships between the relative apparent abundance of the tuna stocks supporting this fishery and the data we have presented. The Japanese, on the other hand, fish in subsurface, offshore waters for all large species (mainly tunas and billfishes) where they are not aggregated in dense schools. Figure 8 shows the statistics of this fishery in 1961. Areas of high hook-rate, which reflects relative apparent abundance, are mainly distributed in a broad band, slanting slightly southward towards the east, running between $10^\circ N$ and $10^\circ S$ at $130^\circ W$ and $5^\circ N$ and $15^\circ S$ at $95^\circ W$. This distribution west of the Galapagos, roughly coincides with those of zooplankton, phytoplankton and surface PO_4 -P.

Sperm whales

Although sperm whales are thought to feed principally upon large cephalopods, which means that they are removed from phytoplankton by many trophic levels, their distribution (Figure 9) is seen to correspond roughly with areas of upwelling and divergence, high surface PO_4 -P, and high phytoplankton production, namely, along and about the equator, from Ecuador and northern Peru to the Galapagos Islands, off the coast of Peru centered at $15^\circ S$, and along the coast of central Chile. Exceptions are the Costa Rica Dome where few whales were ever taken, and along the equator between $115^\circ W$ and the Galapagos Islands, where good whaling was encountered only during October-March between $102^\circ W$ and $108^\circ W$.

Except for this region between $115^\circ W$ and the Galapagos Islands both the sperm whale catches and the Japanese catch of tunas and billfishes have been good all along the equator across the entire Pacific. The "off-shore grounds" along $5^\circ S$ between $115^\circ W$ and $100^\circ W$ coincide with a region of good tuna catches by the Japanese.

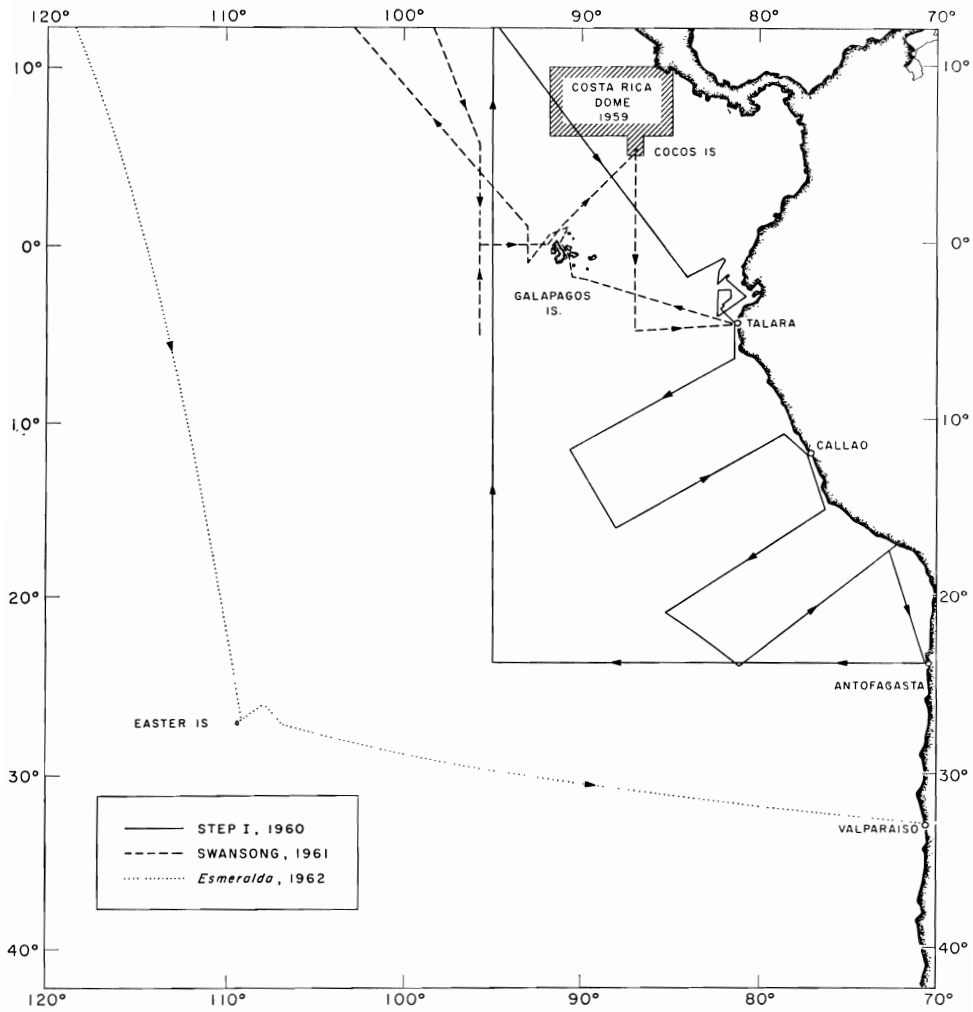


FIGURE 1. Track chart of COSTA RICA DOME, STEP-I, SWANSONG and *Esmeralda* Cruises in the eastern Pacific.

FIGURA 1. Derroteros de los Cruceros COSTA RICA DOME, STEP-I, SWANSONG y *Esmeralda* en el Pacífico Oriental.

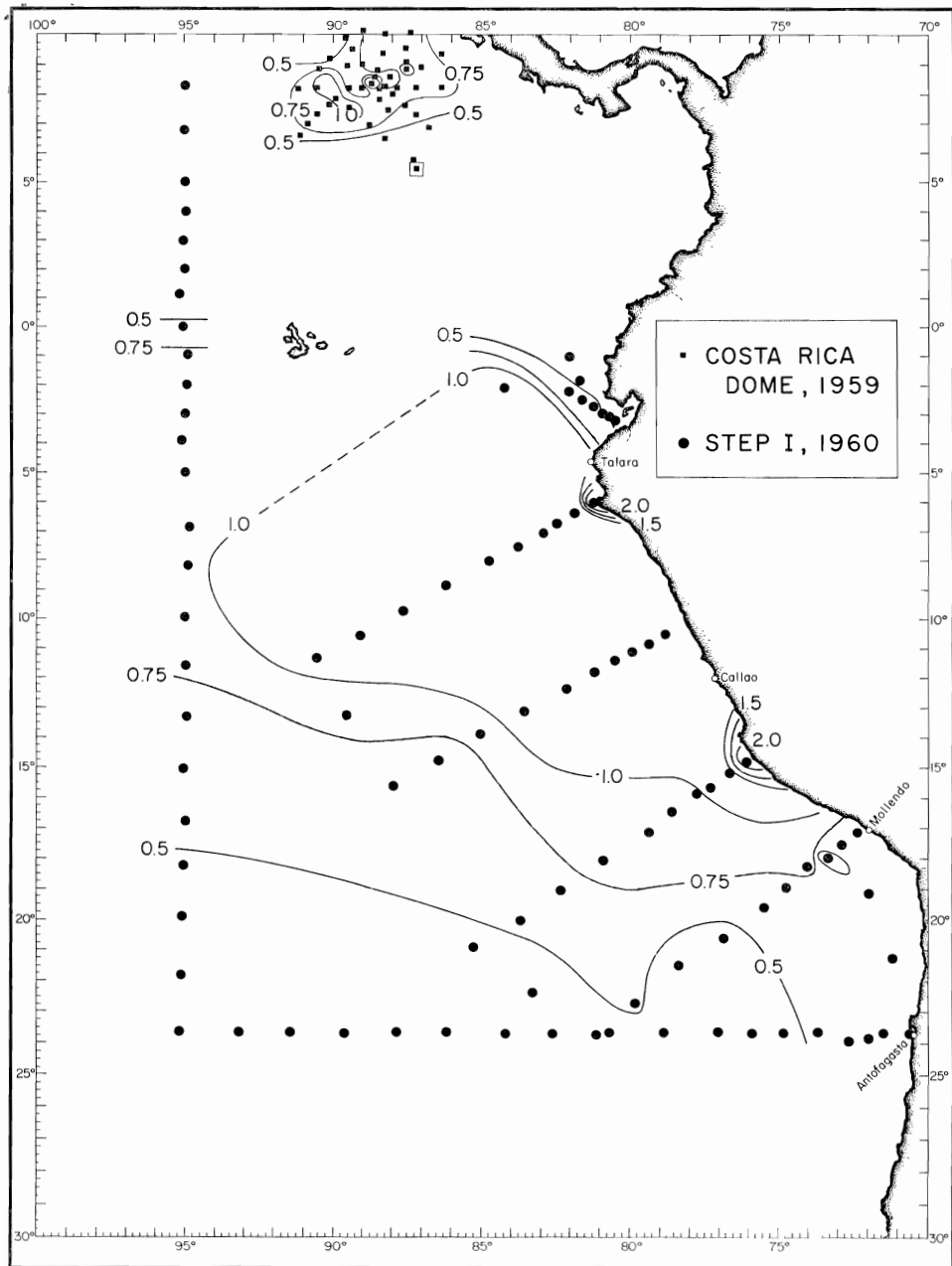


FIGURE 2. Surface values of phosphate-phosphorus ($\mu\text{g-at./L}$) from two cruises to the eastern Pacific.

FIGURA 2. Valores de superficie del fosfato-fósforo ($\mu\text{g-at./L}$) de dos cruceros en el Pacífico Oriental.

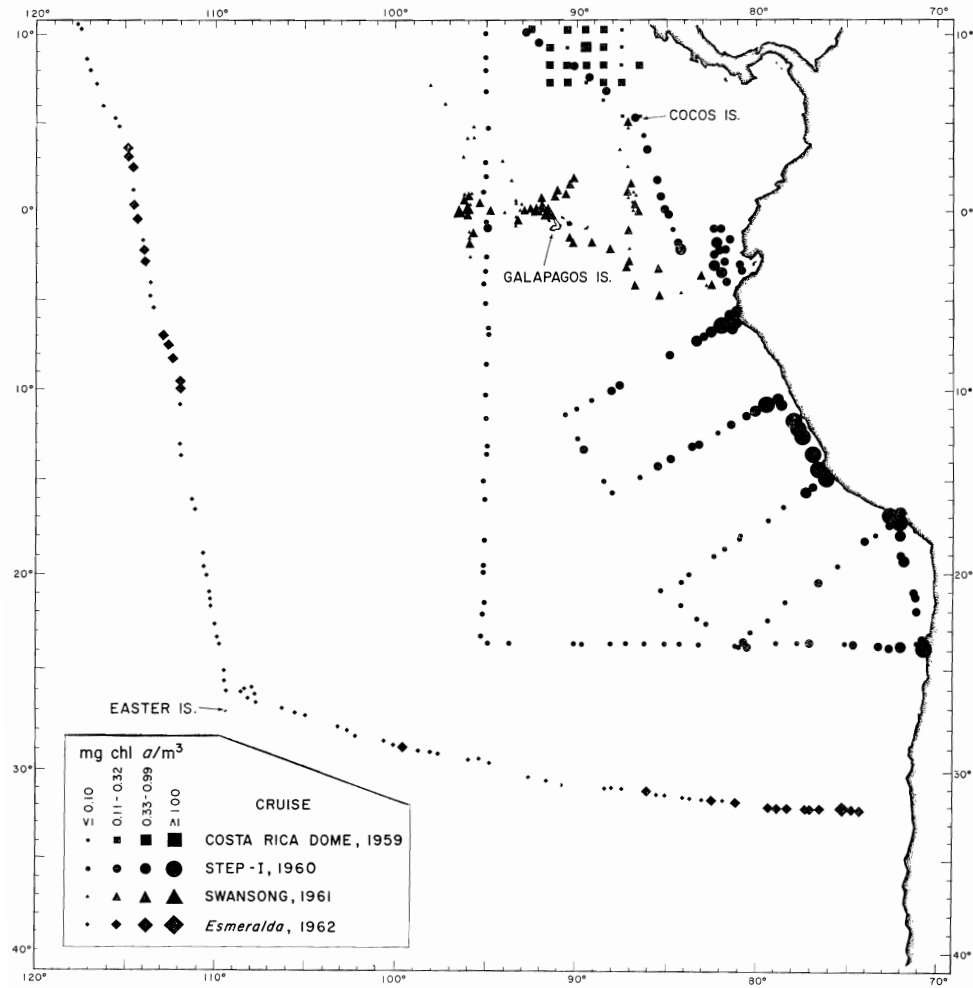


FIGURE 3. Surface values of chlorophyll *a* from four cruises to the eastern Pacific.
FIGURA 3. Los valores de superficie de la clorofila *a*, de cuatro cruceros en el Pacífico Oriental.

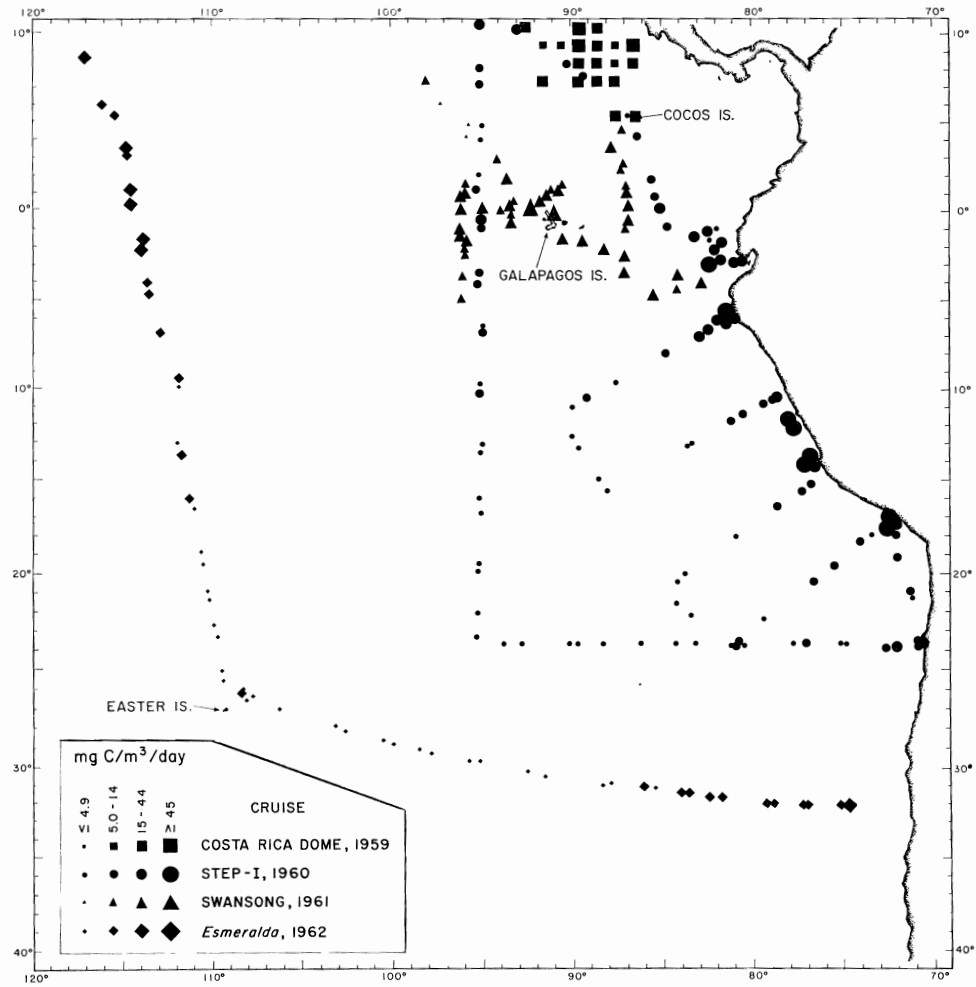


FIGURE 4. Surface values of the rate of carbon fixation of phytoplankton measured during four cruises to the eastern Pacific.

FIGURA 4. Valores de superficie de la tasa de la fijación de carbono por el fitoplancton, medidos durante cuatro cruceros en el Pacífico Oriental.

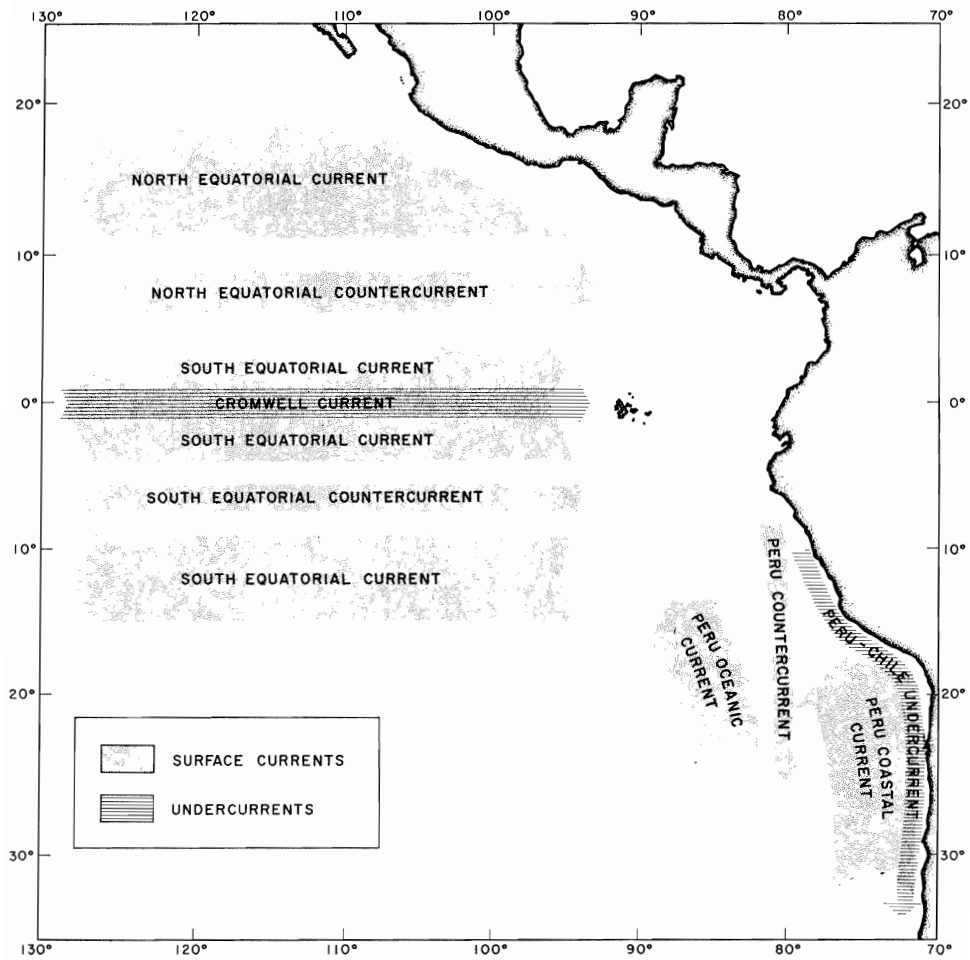


FIGURE 5. Diagrams of the Equatorial and the Peru Current Systems.

FIGURA 5. Diagrama de los sistemas de las corrientes ecuatoriales y del Perú.

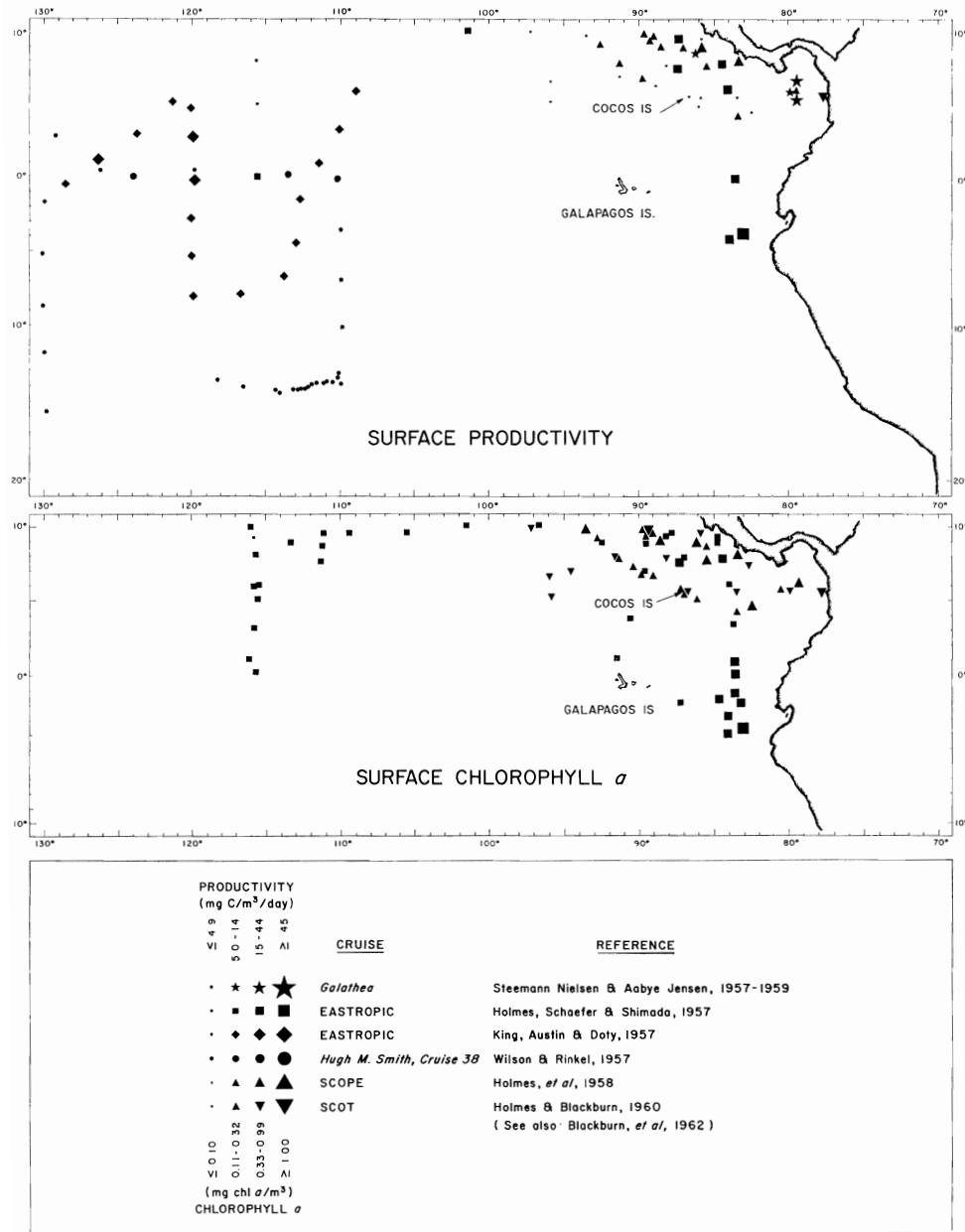


FIGURE 6. Distribution of surface values of chlorophyll *a* and primary production from previously published data.

FIGURA 6. Distribución de los valores de superficie de la clorofila *a* y de la producción primaria, según datos publicados anteriormente.

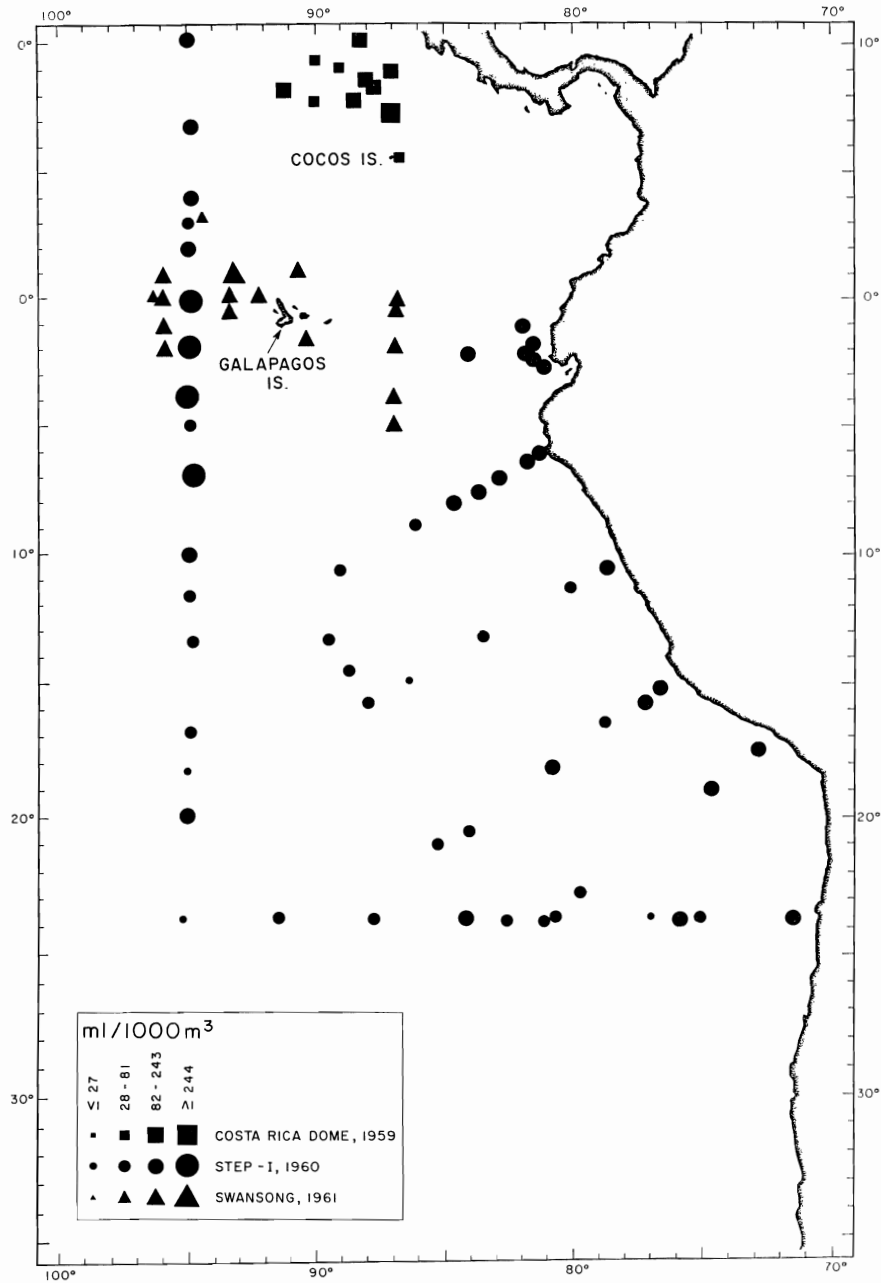


FIGURE 7. Distribution of zooplankton volumes taken during three cruises to the eastern Pacific.

FIGURA 7. Distribución de los volúmenes del zooplancton, sacados durante tres cruceros en el Pacífico Oriental.

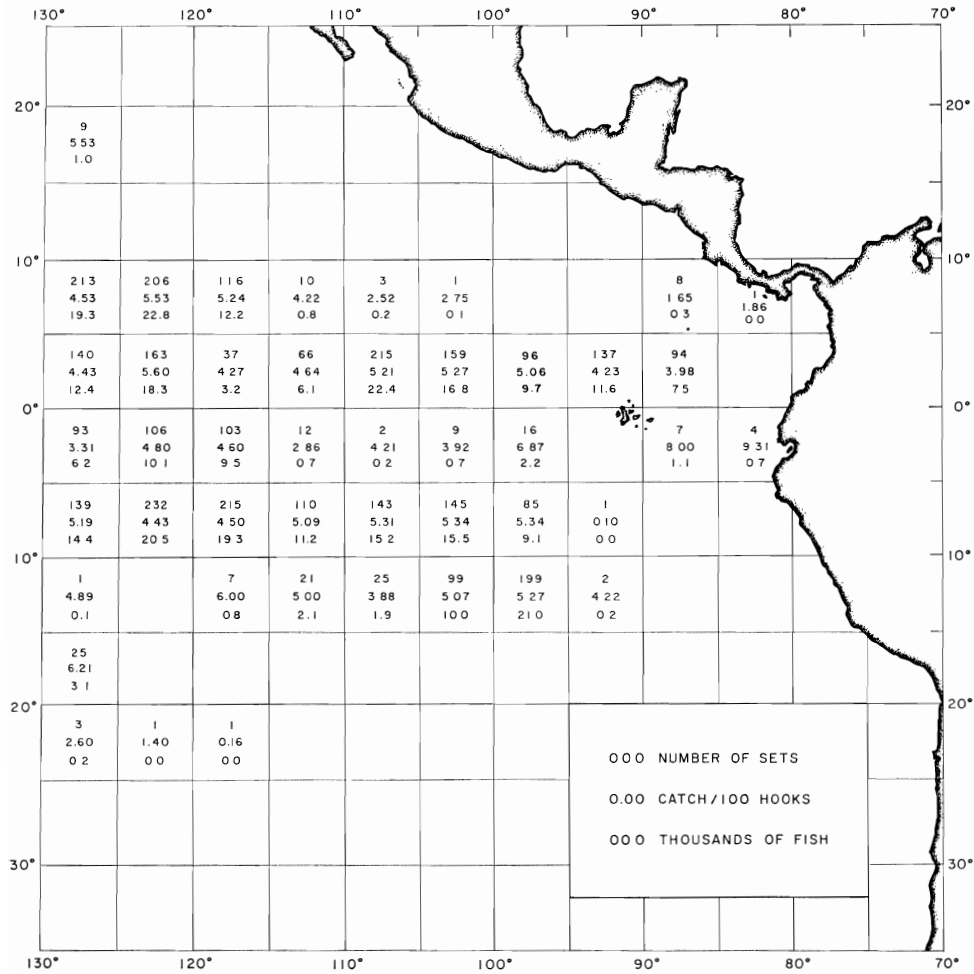


FIGURE 8. Distribution of the effort, hook-rate, and catch of the Japanese long-line fishery for tunas and billfishes in the eastern Pacific for 1961.

FIGURA 8. Distribución por la pesquería japonesa de palangre en el Pacífico Oriental, del esfuerzo, tasa de captura y captura de atunes y peces con espada, correspondiente a 1961.

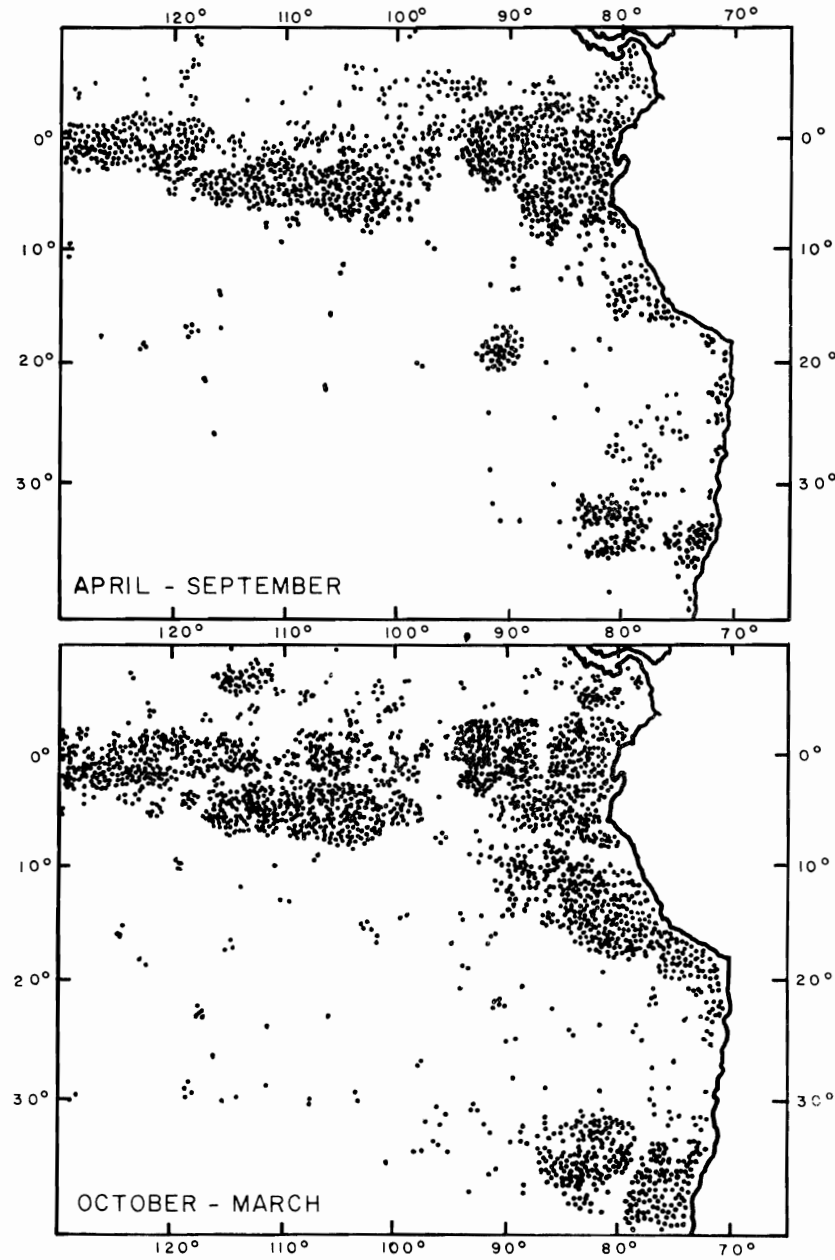


FIGURE 9. Sperm whaling grounds in the eastern Pacific, 1761-1920 (after Townsend, 1935). Each point represents the capture of one or more sperm whales.

FIGURA 9. Zonas de captura de cachalotes en el Pacífico Oriental, 1761-1920 (según Townsend, 1935). Cada punto representa la captura de uno o más cachalotes.

TABLE 4. PO_rP concentrations from COSTA RICA DOME and STEP-I.**TABLA 4.** Concentraciones de PO_rP tomadas durante los cruceros COSTA RICA DOME y STEP-I.

COSTA RICA DOME Cruise				
Date 1959	Collection time (GCT)	Position		PO _r P ($\mu\text{g-at./L}$)
		Lat.	W. Long.	
Nov. 15	0131	10° 24'N	90° 29'	0.69
15	0553	10° 10'N	90° 05'	0.95
15	1104	9° 54'N	89° 39'	0.49
15	1541	9° 28'N	89° 23'	0.73
15	2009	9° 00'N	89° 03'	0.77
16	0354	8° 39'N	88° 39'	0.72
16	0815	8° 17'N	88° 16'	0.73
16	1258	7° 55'N	87° 53'	0.93
16	1707	7° 35'N	87° 29'	0.60
16	2142	7° 13'N	87° 11'	0.56
17	0037	6° 45'N	86° 44'	0.37
18	0043	10° 29'N	87° 10'	0.62
18	0510	10° 03'N	87° 24'	0.88
18	0939	9° 36'N	87° 37'	0.89
18	1539	9° 03'N	87° 50'	0.85
18	1737	8° 35'N	88° 00'	0.72
19	0513	8° 28'N	88° 59'	0.71
19	0927	8° 10'N	89° 29'	0.70
19	1315	7° 50'N	89° 57'	1.08
19	1620	7° 39'N	90° 12'	0.89
19	2359	7° 18'N	90° 30'	0.97
20	0409	6° 56'N	90° 51'	0.92
20	0806	6° 38'N	91° 09'	0.52
20	1739	8° 09'N	91° 17'	0.94
21	0506	8° 10'N	90° 29'	1.25
21	1011	8° 11'N	89° 48'	0.68
21	1517	8° 50'N	89° 35'	0.72
21	2103	8° 10'N	89° 05'	0.62
22	0432	8° 10'N	88° 27'	0.79
22	1056	7° 25'N	88° 07'	0.89
22	1619	8° 13'N	87° 52'	0.87
23	0452	8° 10'N	87° 10'	0.93
23	0946	8° 12'N	86° 22'	0.81
23	1557	8° 52'N	87° 01'	0.99
24	0044	9° 21'N	86° 20'	0.36
27	1042	8° 42'N	87° 27'	1.06
27	1730	9° 20'N	88° 20'	0.92
28	0328	10° 00'N	88° 20'	0.78
28	1759	10° 41'N	88° 20'	0.82
28	2350	10° 06'N	89° 01'	0.76
29	1229	9° 13'N	90° 09'	0.49
29	1952	8° 46'N	90° 34'	0.75
30	1004	8° 44'N	88° 34'	0.99
30	2105	7° 46'N	88° 26'	0.92
Dec. 1	0944	7° 24'N	89° 25'	1.07
1	1500	6° 57'N	88° 49'	0.79
2	0159	6° 25'N	88° 15'	0.44
3	0013	5° 22'N	87° 05'	0.50
3	0044	5° 23'N	87° 08'	0.43
3	0105	5° 24'N	87° 12'	0.46
3	0128	5° 27'N	87° 13'	0.41
3	0152	5° 31'N	87° 14'	0.41
3	0218	5° 33'N	87° 12'	0.42
3	0239	5° 35'N	87° 10'	0.45
3	0511	5° 37'N	87° 07'	0.39
3	0533	5° 39'N	87° 05'	0.43
3	0554	5° 42'N	87° 03'	0.40
3	0615	5° 41'N	86° 60'	0.46

TABLE 4. (Continued)

Date 1959	Collection time (GCT)	Position		PO-P ($\mu\text{g-at./L}$)
		Lat.	W. Long.	
3	0630	5° 40'N	86° 56'	0.42
3	0652	5° 36'N	86° 55'	0.44
3	0712	5° 33'N	86° 54'	0.41
3	0733	5° 31'N	86° 56'	0.41
3	0754	5° 28'N	86° 58'	0.39
3	1210	5° 26'N	87° 01'	0.58
3	1240	5° 24'N	87° 03'	0.40
3	1257	5° 24'N	87° 05'	0.39
3	1319	5° 27'N	87° 05'	0.36
3	1329	5° 28'N	87° 05'	0.39
3	1340	5° 29'N	87° 05'	0.41
3	1357	5° 30'N	87° 05'	0.39
3	1429	5° 31'N	87° 03'	0.44
3	1600	5° 27'N	86° 59'	0.42
3	1650	5° 32'N	86° 57'	0.45
3	1712	5° 32'N	86° 59'	0.41
3	1727	5° 32'N	86° 59'	0.50
3	1738	5° 32'N	87° 00'	0.42
3	1800	5° 32'N	87° 01'	0.46
3	1821	5° 34'N	87° 03'	0.45
3	1840	5° 35'N	87° 02'	0.38
3	1924	5° 35'N	87° 01'	0.45
3	1904	5° 36'N	87° 00'	0.44
3	1952	5° 38'N	86° 59'	0.40
3	2100	5° 37'N	87° 08'	0.37
3	2125	5° 35'N	86° 06'	0.40
3	2135	5° 34'N	87° 06'	0.43
3	2205	5° 34'N	87° 05'	0.38
3	2218	5° 33'N	87° 04'	0.38
3	2241	5° 31'N	87° 06'	0.38
3	2252	5° 31'N	87° 07'	0.38
3	2305	5° 31'N	87° 08'	0.38
3	2315	5° 30'N	87° 09'	0.34
3	2335	5° 30'N	87° 11'	0.38
Date 1960		STEP-I Expedition		
Sep.	29	2° 06'S	84° 14'	1.22
	30	1° 01'S	82° 02'	0.23
Oct.	1	1° 50'S	81° 41'	0.29
	2	2° 13'S	82° 00'	0.65
	3	2° 28'S	81° 37'	0.61
	3	2° 41'S	81° 17'	0.57
	3	2° 57'S	80° 55'	0.41
	3	3° 02'S	80° 47'	0.54
	3	3° 11'S	80° 33'	0.38
	8	6° 02'S	81° 18'	2.05
	8	6° 23'S	81° 54'	1.38
	9	6° 43'S	82° 27'	1.43
	9	7° 02'S	82° 56'	1.26
	10	7° 32'S	83° 43'	1.32
	10	8° 02'S	84° 45'	1.42
	11	8° 55'S	86° 12'	1.19
	11	9° 47'S	87° 39'	1.70
	12	10° 35'S	89° 06'	1.45
	13	11° 26'S	90° 34'	1.12
	13	13° 18'S	89° 35'	0.87
	14	15° 40'S	87° 58'	0.62
	15	14° 49'S	86° 26'	0.54
	15	14° 03'S	85° 03'	0.90
	16	13° 11'S	83° 22'	1.14

TABLE 4. (Continued)

Date 1959	Collection time (GCT)	Position		PO ₄ -P ($\mu\text{g-at./L}$)	
		Lat.	W. Long.		
	17	0136	12° 25'S	82° 08'	1.49
	17	0949	11° 51'S	81° 12'	1.08
	17	1710	11° 27'S	80° 32'	1.29
	18	0115	11° 10'S	80° 01'	1.25
	18	0853	10° 52'S	79° 29'	1.31
	18	1444	10° 32'S	78° 52'	1.53
	28	2315	14° 51'S	76° 09'	2.06
	29	0723	15° 13'S	76° 43'	1.48
	29	1344	15° 40'S	77° 20'	1.50
	29	2245	15° 56'S	77° 51'	0.96
	30	0749	16° 27'S	78° 38'	0.87
	30	1805	17° 11'S	79° 27'	0.95
	31	0800	18° 06'S	80° 56'	0.85
	31	2207	19° 04'S	82° 18'	0.68
Nov.	1	1013	20° 05'S	83° 42'	0.69
	1	2320	20° 55'S	85° 16'	0.50
	2	1904	22° 23'S	83° 16'	0.42
	3	1745	23° 45'S	81° 07'	0.49
	4	0727	22° 43'S	79° 43'	0.51
	4	1830	21° 31'S	78° 22'	0.50
	5	0621	20° 37'S	76° 51'	0.48
	5	1839	19° 36'S	75° 30'	0.54
	6	0249	18° 58'S	74° 48'	0.65
	6	1125	18° 18'S	74° 03'	0.89
	6	1837	17° 59'S	73° 22'	0.46
	7	0245	17° 34'S	72° 52'	0.63
	7	1027	17° 12'S	72° 19'	0.67
	10	1813	19° 09'S	71° 58'	0.55
	11	1320	21° 16'S	71° 09'	0.51
	17	1336	23° 41'S	70° 38'	0.58
	17	2119	23° 38'S	71° 27'	0.59
	18	0920	23° 48'S	72° 00'	0.73
	18	1557	23° 54'S	72° 37'	0.64
	19	0233	23° 41'S	73° 43'	0.62
	19	1150	23° 42'S	74° 56'	0.36
	19	2315	23° 41'S	75° 56'	0.38
	20	1107	23° 28'S	77° 06'	0.40
	20	2353	23° 39'S	78° 55'	0.40
	21	1410	23° 41'S	80° 42'	0.48
	22	0446	23° 43'S	82° 37'	0.41
	22	1750	23° 43'S	84° 14'	0.44
	23	0628	23° 41'S	86° 09'	0.45
	23	2121	23° 40'S	87° 51'	0.34
	24	1202	23° 41'S	89° 37'	0.36
	25	0218	23° 41'S	91° 28'	0.33
	25	1404	23° 41'S	93° 11'	0.33
	26	0620	23° 40'S	95° 13'	0.29
	26	2117	21° 47'S	95° 07'	0.43
	27	1237	19° 55'S	95° 05'	0.42
	28	0113	18° 16'S	95° 05'	0.45
	28	1310	16° 48'S	94° 59'	0.59
	28	2349	15° 03'S	95° 04'	0.74
	29	1309	13° 20'S	94° 57'	0.63
	30	0235	11° 35'S	94° 59'	0.78
	30	1403	9° 57'S	95° 02'	0.91
Dec.	1	0251	8° 25'S	94° 56'	0.94
	1	1241	6° 51'S	94° 52'	0.90
	2	0243	5° 00'S	95° 00'	0.92
	2	1352	3° 56'S	95° 07'	0.91
	2	2053	2° 59'S	94° 57'	0.96

TABLE 4. (Continued)

Date 1959	Collection time (GCT)	Position		PO ₄ -P ($\mu\text{g}\cdot\text{at.}/\text{L}$)
		Lat.	W. Long.	
3	0428	1° 59'S	94° 55'	0.96
3	1203	0° 58'S	94° 54'	0.76
3	2250	0° 00'S	95° 03'	0.55
4	1245	1° 08'N	95° 10'	0.31
4	1845	1° 59'N	95° 02'	0.42
5	0321	3° 00'N	95° 03'	0.25
5	1115	4° 02'N	94° 56'	0.58
5	2000	5° 00'N	95° 00'	0.22
6	1002	6° 46'N	95° 01'	0.25
6	2052	8° 18'N	95° 01'	0.34
7	0849	10° 05'N	95° 06'	0.74

TABLE 5. Chlorophyll *a* concentration and carbon fixation at the surface from COSTA RICA DOME Cruise.**TABLA 5.** Concentraciones de clorofila *a* y de fijación del carbono en la superficie, tomadas durante el crucero COSTA RICA DOME.

Date 1959	Collection time (local)	Position		Chlorophyll <i>a</i> (mg/m ³)	Carbon fixation (mg C/m ³ /day) Trailing bottles		
		Lat.	W. Long.		Duplicates	Mean	
Nov. 15	Sunrise	9° 54'N	89° 40'	1.4	190	170	180
15	Noon	9° 17'N	89° 14'	0.24	56	54	55
15	1500	9° 00'N	89° 03'	0.21	—	—	—
15	Sunset	8° 58'N	89° 07'	0.16	—	—	—
16	Sunrise	7° 59'N	87° 57'	0.17	23	21	22
16	Noon	7° 34'N	87° 28'	0.12	20	21	20
16	1630	7° 13'N	87° 11'	0.10	—	—	—
17	Sunrise	8° 12'N	87° 00'	0.13	—	—	—
17	Noon	9° 20'N	87° 24'	0.073	11	18	14
18	Noon	8° 35'N	88° 00'	—	30	42	36
18	1330	8° 35'N	88° 00'	0.053	—	—	—
18	Sunset	8° 38'N	88° 12'	0.13	—	—	—
19	Sunrise	7° 57'N	89° 48'	—	25	36	30
19	1300	7° 39'N	90° 12'	0.047	—	—	—
19	Sunset	7° 17'N	90° 29'	0.12	—	—	—
20	Sunrise	7° 17'N	91° 05'	0.17	25	23	24
20	Noon	8° 09'N	91° 17'	—	19	25	22
20	1345	8° 09'N	91° 17'	0.080	—	—	—
20	Sunset	8° 09'N	91° 17'	0.36	—	—	—
21	Sunrise	8° 25'N	89° 47'	0.20	37	39	38
21	Noon	8° 31'N	89° 29'	0.10	12	20	16
21	1600	8° 10'N	89° 05'	0.056	—	—	—
22	1130	8° 13'N	87° 52'	0.084	—	—	—
23	Sunrise	8° 24'N	86° 29'	0.061	23	26	24
23	1050	8° 52'N	87° 01'	0.049	—	—	—
27	Noon	9° 20'N	88° 20'	0.097	27	33	30
27	Sunset	9° 37'N	88° 15'	0.12	—	—	—
27	2230	10° 00'N	88° 20'	0.086	—	—	—
28	Sunrise	10° 21'N	88° 25'	0.12	20	17	18
28	Noon	10° 41'N	88° 20'	0.21	22	26	24
28	Sunset	10° 06'N	89° 01'	0.18	—	—	—
29	Sunrise	9° 13'N	90° 09'	0.10	30	36	33
29	0800	9° 13'N	90° 09'	0.099	—	—	—
29	Noon	9° 00'N	90° 29'	0.18	14	13	14
29	Sunset	8° 52'N	90° 03'	0.25	—	—	—
30	Sunrise	8° 33'N	88° 34'	0.22	6.4	22	14
30	Noon	8° 13'N	88° 24'	0.10	14	17	16
30	1600	7° 46'N	88° 26'	0.089	—	—	—
Dec. 1	Sunrise	7° 13'N	89° 12'	0.055	47	33	40
1	Noon	6° 57'N	88° 49'	0.028	—	—	—
1	2000	6° 25'N	88° 15'	0.038	—	—	—
2	2200	5° 35'N	87° 10'	0.040	—	—	—
3	0345	5° 28'N	86° 58'	0.073	—	—	—
3	Sunrise	5° 27'N	86° 57'	0.074	22	22	22
3	Noon	5° 32'N	87° 01'	0.10	22	20	21
3	Sunset	5° 20'N	87° 05'	0.029	—	—	—
4	0830	5° 29'N	87° 01'	0.042	—	—	—
4	1400	5° 35'N	87° 06'	0.026	—	—	—
6	Sunrise	7° 54'N	88° 22'	0.22	18	—	—
6	Noon	8° 19'N	88° 47'	0.14	15	26	20
6	Sunset	8° 30'N	89° 12'	0.29	—	—	—
7	Sunrise	9° 28'N	91° 25'	0.21	10	18	14
7	Noon	10° 10'N	92° 33'	0.19	28	—	—

TABLE 6. Chlorophyll *a* concentration and carbon fixation at the surface from STEP-I Expedition.

TABLA 6. Concentraciones de clorofila *a* y de fijación del carbono en la superficie, tomadas durante el crucero STEP-I.

Date 1960	Collection time (local)	Position		Chlorophyll <i>a</i> (mg/m ³)	Carbon fixation (mg C/m ³ /day)					
		Lat.	W. Long.		Trailing bottles			Deck incubator		
					Duplicates	Mean		Duplicates	Mean	
Sept. 23	Noon	10° 05'N	92° 49'	0.11	17	20	18	23	24	24
23	Sunset	9° 30'N	92° 00'	0.14	—	—	—	—	—	—
24	Sunrise	8° 12'N	90° 11'	0.15	7.3	8.7	8.0	8.8	11	9.8
24	Noon	7° 30'N	89° 19'	0.31	5.9	—	—	6.6	—	—
24	Sunset	6° 45'N	88° 22'	0.27	—	—	—	—	—	—
25	Sunrise	5° 16'N	86° 50'	0.17	2.7	1.3	2.0	4.8	—	—
25	Noon	4° 08'N	86° 20'	0.056	3.7	4.1	3.9	5.9	6.3	6.1
25	Sunset	3° 22'N	86° 06'	0.11	—	—	—	—	—	—
26	Sunrise	1° 41'N	85° 36'	0.15	9.8	11	10	13	13	13
26	Noon	0° 44'N	85° 18'	0.14	—	—	—	12	13	12
26	Sunset	0° 02'N	85° 03'	0.11	—	—	—	—	—	—
27	Sunrise	0° 10'S	84° 59'	0.21	8.4	7.7	8.0	15	—	—
27	Noon	0° 58'S	84° 40'	0.096	7.8	7.2	7.6	13	—	—
27	Sunset	1° 48'S	84° 21'	0.20	—	—	—	—	—	—
28	Sunrise	2° 06'S	84° 14'	0.33	—	—	—	—	—	—
29	Sunrise	1° 34'S	83° 10'	—	5.8	15	10	17	—	—
29	Noon	1° 08'S	82° 20'	—	—	—	—	22	—	—
29	Sunset	1° 01'S	82° 02'	0.29	—	—	—	—	—	—
30	Sunrise	1° 00'S	82° 05'	0.20	2.4	3.1	2.8	3.2	—	—
30	Noon	1° 41'S	82° 20'	0.23	2.7	12	7.3	3.7	—	—
30	Sunset	2° 28'S	82° 20'	0.22	—	—	—	—	—	—
Oct. 1	Sunrise	1° 50'S	81° 41'	0.34	—	—	—	—	—	—
1	Noon	1° 50'S	81° 41'	—	—	—	—	21	—	—
2	Sunrise	2° 13'S	82° 00'	0.17	—	—	—	—	—	—
2	Noon	2° 13'S	82° 00'	0.12	—	—	—	18	16	17
3	Sunrise	2° 57'S	80° 55'	0.29	—	—	—	18	—	—
3	Noon	3° 21'S	80° 50'	0.22	5.6	11	8.3	16	—	—
3	Sunset	3° 58'S	81° 44'	0.26	—	—	—	—	—	—
4	Sunrise	3° 06'S	82° 23'	0.64	41	—	—	45	—	—
4	Noon	2° 52'S	81° 43'	0.32	22	9.4	16	16	—	—
4	Sunset	3° 28'S	81° 54'	0.42	—	—	—	—	—	—
6	Noon	5° 42'S	81° 19'	0.88	—	—	—	110	—	—
6	Sunset	6° 02'S	81° 18'	0.68	—	—	—	—	—	—
7	Sunrise	6° 02'S	81° 18'	0.46	—	—	—	5.6	—	—
7	Noon	6° 02'S	81° 18'	0.57	—	—	—	32	32	32
8	Sunrise	6° 02'S	81° 18'	0.81	—	—	—	36	—	—
8	Noon	6° 05'S	81° 28'	0.41	—	—	—	26	—	—
8	Sunset	6° 23'S	81° 54'	1.1	—	—	—	—	—	—
9	Sunrise	6° 43'S	82° 27'	0.46	—	—	—	18	—	—
9	Noon	7° 02'S	82° 56'	0.21	19	—	—	25	15	20
9	Sunset	7° 16'S	83° 20'	0.34	—	—	—	—	—	—
10	Noon	8° 02'S	84° 45'	0.13	—	—	—	13	9.7	11
11	Sunrise	9° 09'S	86° 36'	—	1.2	0.9	1.0	11	—	—
11	Noon	9° 44'S	87° 34'	0.11	—	—	—	3.4	—	—
12	Sunrise	10° 35'S	89° 06'	0.057	—	—	—	5.7	—	—
12	Noon	11° 04'S	89° 59'	0.034	—	—	—	4.0	—	—
12	Sunset	11° 26'S	90° 34'	0.029	—	—	—	—	—	—
13	Sunrise	12° 40'S	89° 55'	0.069	—	—	—	2.9	—	—
13	Noon	13° 18'S	89° 35'	0.17	—	—	—	4.4	4.3	4.4
14	Sunrise	15° 02'S	88° 24'	0.071	—	—	—	3.1	—	—
14	Noon	15° 40'S	87° 58'	0.036	—	—	—	0.4	0.4	0.4
15	Sunrise	14° 49'S	86° 26'	0.070	—	—	—	—	—	—
15	Noon	14° 16'S	85° 28'	0.13	—	—	—	—	—	—
15	Sunset	13° 54'S	84° 45'	0.26	—	—	—	—	—	—
16	Sunrise	13° 11'S	83° 32'	0.16	—	—	—	3.7	—	—
16	Noon	13° 02'S	83° 09'	0.24	0.5	0.9	0.7	2.7	3.4	3.0
16	Sunset	12° 26'S	82° 09'	0.10	—	—	—	—	—	—

TABLE 6. (Continued)

Date 1960	Collection time (local)	Position		Chlorophyll α (mg/m ³)	Carbon fixation (mg C/m ³ /day)			
		Lat.	W. Long.		Trailing bottles		Deck incubator	
					Duplicates	Mean	Duplicates	Mean
	17 Sunrise	11° 51'S	81° 12'	0.26	—	—	9.6	—
	17 Noon	11° 27'S	80° 32'	0.12	—	—	6.5	—
	17 Sunset	11° 10'S	80° 01'	0.38	—	—	—	—
	18 Sunrise	10° 51'S	79° 27'	1.0	—	—	11	—
	18 Noon	10° 32'S	78° 52'	0.33	4.9	4.7	12	13
	19 Noon	10° 32'S	78° 52'	0.73	—	—	20	35
	20 Noon	11° 57'S	77° 44'	2.2	—	—	200	—
	26 Noon	11° 57'S	77° 44'	1.2	—	—	85	—
	26 Sunset	12° 20'S	77° 31'	2.6	—	—	—	—
	27 Sunrise	13° 45'S	76° 42'	1.0	—	—	53	—
	27 Noon	13° 45'S	76° 42'	1.7	—	—	83	95
	28 Noon	14° 22'S	76° 24'	1.1	—	—	33	—
	28 Sunset	14° 51'S	76° 09'	2.2	—	—	—	—
	29 Sunrise	15° 23'S	76° 55'	0.31	—	—	11	—
	29 Noon	15° 40'S	77° 20'	0.59	—	—	6.7	21
	30 Sunrise	16° 27'S	78° 38'	0.084	—	—	10	—
	30 Noon	17° 06'S	79° 20'	0.054	—	—	—	—
	30 Sunset	18° 06'S	80° 56'	0.067	—	—	—	—
	31 Sunrise	18° 06'S	80° 56'	0.079	—	—	2.9	—
	31 Noon	18° 41'S	81° 43'	0.077	—	—	—	—
	31 Sunset	19° 04'S	82° 18'	0.070	—	—	—	—
Nov.	1 Sunrise	20° 05'S	83° 42'	0.062	—	—	0.2	—
	1 Noon	20° 05'S	83° 42'	0.054	—	—	0.4	2.1
	1 Sunset	20° 55'S	85° 16'	0.027	—	—	—	—
	2 Sunrise	21° 38'S	84° 08'	0.047	1.6	1.7	3.1	—
	2 Noon	22° 11'S	83° 18'	0.037	—	—	2.1	—
	2 Sunset	22° 37'S	82° 47'	0.016	—	—	—	—
	3 Sunrise	23° 41'S	81° 13'	0.048	—	—	3.7	—
	3 Noon	23° 45'S	81° 07'	0.020	—	—	0.0	0.2
	3 Sunset	23° 16'S	80° 27'	0.077	—	—	—	—
	4 Sunrise	22° 27'S	79° 21'	0.056	2.9	2.3	4.8	—
	4 Noon	21° 37'S	78° 28'	0.064	—	—	—	—
	5 Sunrise	20° 27'S	76° 38'	0.11	4.0	4.2	4.1	5.0
	5 Noon	19° 38'S	75° 32'	0.072	—	—	5.7	—
	6 Sunrise	18° 18'S	74° 03'	0.16	—	—	10	—
	6 Noon	17° 53'S	73° 31'	0.10	—	—	4.2	—
	7 Sunrise	17° 12'S	72° 19'	0.21	—	—	28	—
	7 Noon	17° 03'S	72° 15'	0.50	—	—	84	84
	8 Noon	17° 03'S	72° 15'	1.8	—	—	200	—
	8 Sunset	17° 03'S	72° 15'	3.6	—	—	—	—
	10 Sunrise	17° 59'S	72° 02'	0.36	8.2	8.9	8.6	11
	10 Noon	19° 03'S	71° 58'	0.17	—	—	6.7	—
	10 Sunset	19° 09'S	71° 58'	0.33	—	—	—	—
	11 Sunrise	21° 00'S	71° 16'	0.19	—	—	12	—
	11 Noon	21° 16'S	71° 09'	0.26	—	—	2.0	—
	11 Sunset	21° 57'S	71° 08'	0.17	—	—	—	—
	12 Noon	23° 31'S	70° 53'	0.067	—	—	4.6	9.5
	13 Sunrise	23° 31'S	70° 53'	0.13	—	—	12	—
	13 Noon	23° 31'S	70° 53'	0.073	—	—	—	—
	17 Noon	23° 40'S	70° 38'	1.4	—	—	21	67
	18 Sunrise	23° 48'S	72° 00'	0.35	—	—	16	—
	18 Noon	23° 54'S	72° 37'	0.30	—	—	10	—
	18 Sunset	23° 46'S	73° 18'	0.21	—	—	—	—
	19 Sunrise	23° 41'S	74° 44'	0.13	—	—	4.5	—
	19 Noon	23° 42'S	75° 03'	0.088	—	—	5.2	2.2
	20 Sunrise	23° 38'S	77° 06'	0.18	—	—	5.0	—
	20 Noon	23° 38'S	77° 49'	0.080	—	—	2.1	—
	20 Sunset	23° 39'S	78° 55'	0.10	—	—	—	—
	21 Sunrise	23° 41'S	80° 29'	0.13	—	—	5.2	—
	21 Noon	23° 41'S	80° 42'	0.11	—	—	11	2.4
	22 Sunrise	23° 43'S	83° 12'	0.081	0.3	0.7	0.5	0.8

TABLE 6. (Continued)

Date 1960	Collection time (local)	Position		Chlorophyll α (mg/m ³)	Carbon fixation (mg C/m ³ /day)						
		Lat.	W. Long.		Trailing bottles Duplicates	Mean	Deck incubator Duplicates	Mean			
22	Noon	23° 43'S	84° 14'	0.066	—	—	—	0.6	—	—	
22	Sunset	23° 42'S	85° 04'	0.029	—	—	—	—	—	—	
23	Sunrise	23° 41'S	86° 09'	0.020	—	—	—	1.7	—	—	
23	Noon	23° 40'S	87° 13'	0.028	—	—	—	0.2	—	—	
23	Sunset	23° 41'S	88° 01'	0.016	—	—	—	—	—	—	
24	Sunrise	23° 41'S	89° 37'	0.027	—	—	—	0.1	—	—	
24	Noon	23° 41'S	90° 06'	0.041	0.0	1.0	0.5	1.0	0.3	0.6	
25	Sunrise	23° 41'S	92° 44'	—	—	—	—	0.7	—	—	
25	Noon	23° 41'S	93° 41'	0.018	0.0	0.0	0.0	0.1	—	—	
25	Sunset	23° 40'S	94° 50'	0.008	—	—	—	—	—	—	
26	Sunrise	23° 18'S	95° 14'	0.014	0.1	0.0	0.1	0.0	—	—	
26	Noon	22° 10'S	95° 09'	0.000	—	—	—	0.7	—	—	
26	Sunset	21° 30'S	95° 07'	0.048	—	—	—	—	—	—	
27	Sunrise	19° 55'S	95° 05'	0.036	—	—	—	1.1	—	—	
27	Noon	19° 32'S	95° 05'	0.022	0.0	0.3	0.2	0.4	0.8	0.6	
27	Sunset	18° 16'S	95° 05'	0.024	—	—	—	—	—	—	
28	Sunrise	16° 50'S	94° 59'	—	—	—	—	3.0	—	—	
28	Noon	16° 02'S	94° 56'	0.040	—	—	—	4.6	—	—	
28	Sunset	15° 03'S	95° 04'	0.043	—	—	—	—	—	—	
29	Sunrise	13° 33'S	94° 58'	0.034	—	—	—	4.5	—	—	
29	Noon	13° 04'S	94° 56'	0.033	0.5	0.4	0.4	2.9	2.4	2.6	
29	Sunset	11° 41'S	94° 59'	0.020	—	—	—	—	—	—	
30	Sunrise	10° 18'S	95° 01'	0.045	—	—	—	5.3	—	—	
30	Noon	9° 44'S	94° 59'	0.034	0.0	0.5	0.2	3.6	—	—	
30	Sunset	8° 34'S	94° 56'	0.038	—	—	—	—	—	—	
Dec.	1	Sunrise	6° 55'S	94° 52'	0.033	—	—	7.3	—	—	
	1	Noon	6° 34'S	94° 52'	0.031	0.9	1.2	1.0	4.8	3.6	4.2
	1	Sunset	5° 13'S	94° 59'	0.061	—	—	—	—	—	—
	2	Sunrise	4° 10'S	95° 05'	0.027	—	—	—	12	—	—
	2	Noon	3° 25'S	95° 02'	0.029	—	—	—	6.5	—	—
	2	Sunset	2° 35'S	94° 56'	0.041	—	—	—	—	—	—
	3	Sunrise	0° 58'S	94° 54'	0.12	—	—	—	7.5	—	—
	3	Noon	0° 39'S	94° 54'	0.068	—	—	—	16	15	16
	4	Sunrise	1° 08'N	95° 10'	0.020	—	—	—	6.3	—	—
	4	Noon	1° 59'N	95° 02'	0.043	—	—	—	3.1	—	—
	4	Sunset	2° 43'N	95° 02'	0.042	—	—	—	—	—	—
	5	Sunrise	4° 02'N	94° 56'	0.063	—	—	—	0.8	—	—
	5	Noon	4° 45'N	94° 51'	0.022	—	—	—	3.6	3.0	3.3
	6	Sunrise	6° 56'N	95° 01'	0.019	1.2	3.8	2.5	6.6	—	—
	6	Noon	7° 56'N	95° 01'	0.010	—	—	—	9.4	—	—
	6	Sunset	8° 41'N	95° 01'	0.084	—	—	—	—	—	—
	7	Sunrise	10° 05'N	95° 06'	0.058	19	25	22	—	—	—

TABLE 7. Chlorophyll *a* concentration and carbon fixation at the surface from SWANSONG Expedition.**TABLA 7.** Concentraciones de clorofila *a* y de fijación del carbono en la superficie tomadas durante el crucero SWANSONG.

Date 1961	Collection time (local)	Position		Chlorophyll <i>a</i> (mg/m ³)	Carbon fixation (mg C/m ³ /day)		
		Lat.	W. Long.		Deck incubator Duplicates		Mean
Oct.	18 Sunrise	4° 53'N	95° 49'	0.048	2.0	1.9	2.0
	18 Noon	4° 08'N	95° 52'	0.029	1.1	2.4	1.8
	18 Sunset	3° 02'N	96° 03'	0.087	—	—	—
	19 Sunrise	1° 29'N	95° 58'	0.090	12	8.0	10
	19 Noon	0° 52'N	95° 55'	0.16	15	20	18
	19 Sunset	0° 52'N	95° 59'	0.24	—	—	—
	20 Sunrise	0° 52'N	95° 59'	0.20	26	24	25
	20 Noon	0° 32'N	96° 05'	0.27	—	—	—
	20 Sunset	0° 02'S	96° 02'	0.24	—	—	—
	21 Sunrise	0° 02'S	96° 02'	0.43	31	30	30
	21 Noon	0° 02'S	96° 02'	0.25	29	35	32
	21 Sunset	0° 02'S	96° 02'	0.22	—	—	—
	22 Sunrise	1° 09'S	95° 59'	0.098	22	19	20
	22 Noon	1° 13'S	95° 59'	0.10	19	21	20
	22 Sunset	1° 09'S	95° 59'	0.11	—	—	—
	23 Sunrise	1° 40'S	95° 57'	0.12	18	16	17
	23 Noon	2° 38'S	96° 00'	0.094	7.8	8.3	8.0
	24 Sunrise	5° 01'S	96° 06'	—	7.2	8.2	7.7
	24 Noon	3° 43'S	96° 02'	—	13	8.7	11
	25 Sunrise	2° 00'S	95° 56'	—	15	12	14
	25 Noon	1° 08'S	95° 58'	—	20	17	18
	26 Sunrise	0° 02'S	96° 01'	0.34	50	47	48
	26 Noon	0° 45'N	96° 01'	0.12	12	7.8	10
	26 Sunset	0° 08'N	96° 03'	0.099	—	—	—
	27 Sunrise	0° 01'S	94° 55'	0.17	37	30	34
	27 Noon	0° 00'	94° 02'	0.066	6.3	12	9.2
	27 Sunset	0° 02'N	92° 50'	0.22	—	—	—
	28 Sunrise	0° 04'N	92° 16'	0.98	110	76	93
	28 Noon	0° 02'N	92° 09'	0.40	—	—	—
	29 Sunrise	0° 02'S	91° 41'	1.8	—	—	—
	30 Sunrise	0° 26'N	91° 51'	0.26	28	28	28
30 Noon	1° 05'N	91° 09'	0.18	9.6	11	10	
30 Sunset	1° 58'N	90° 12'	0.049	—	—	—	
31 Sunrise	3° 25'N	87° 49'	0.050	24	36	30	
31 Noon	4° 32'N	87° 15'	0.13	12	13	12	
31 Sunset	4° 38'N	87° 02'	0.055	—	—	—	
Nov.	1 Sunrise	2° 26'N	87° 12'	0.043	10	6.4	8.2
	1 Noon	2° 10'N	87° 16'	0.096	5.2	5.9	5.6
	1 Sunset	1° 01'N	86° 55'	0.047	—	—	—
	2 Sunrise	0° 07'S	86° 55'	0.044	22	26	24
	2 Sunset	0° 07'S	86° 55'	0.15	—	—	—
	3 Sunrise	0° 07'S	86° 55'	0.091	15	—	—
	3 Noon	0° 07'S	86° 55'	—	23	21	22
	3 Sunset	0° 07'S	86° 55'	0.13	—	—	—
	4 Sunrise	0° 58'N	87° 00'	0.074	16	18	17
	4 Noon	1° 05'N	87° 00'	0.070	7.6	7.0	7.3
	4 Sunset	1° 05'N	87° 00'	0.11	—	—	—
	5 Sunrise	1° 05'N	87° 00'	0.067	17	15	16
	5 Noon	1° 05'N	87° 00'	0.078	13	13	13
	5 Sunset	0° 13'N	86° 56'	0.10	—	—	—
	6 Sunrise	0° 37'S	86° 59'	0.077	20	18	19
	6 Noon	1° 03'S	87° 03'	0.14	10	12	11
	6 Sunset	1° 03'S	87° 03'	0.15	—	—	—
7 Sunrise	1° 03'S	87° 03'	0.18	15	13	14	
7 Noon	1° 03'S	87° 03'	0.21	27	28	28	
7 Sunset	1° 32'S	87° 00'	0.14	—	—	—	
8 Sunrise	2° 46'S	87° 03'	0.18	22	24	23	

TABLE 7. (Continued)

Date 1961	Collection time (local)	Position		Chlorophyll <i>a</i> (mg/m ³)	Carbon fixation (mg C/m ³ /day) Deck incubator		
		Lat.	W. Long.		Duplicates	Mean	
8	Noon	3° 33'S	87° 06'	0.10	14	—	—
8	Sunset	4° 28'S	86° 57'	0.14	—	—	—
9	Sunrise	4° 47'S	85° 32'	0.13	14	16	15
9	Noon	4° 34'S	84° 13'	0.086	13	13	13
9	Sunset	4° 07'S	82° 44'	0.072	—	—	—
14	Sunrise	4° 03'S	82° 54'	0.15	32	28	30
14	Noon	3° 38'S	84° 08'	0.13	25	22	24
14	Sunset	3° 10'S	85° 29'	0.17	—	—	—
15	Sunrise	2° 17'S	88° 11'	0.17	21	18	20
15	Noon	1° 54'S	89° 25'	0.15	24	19	22
15	Sunset	1° 43'S	90° 29'	0.18	—	—	—
16	Sunrise	1° 43'S	90° 29'	0.19	24	26	25
16	Noon	1° 43'S	90° 29'	0.16	15	15	15
16	Sunset	1° 43'S	90° 29'	0.15	—	—	—
17	Sunrise	1° 24'S	90° 36'	0.14	24	24	24
17	Noon	0° 17'S	90° 54'	0.18	60	42	51
17	Sunset	1° 00'N	90° 45'	0.15	—	—	—
18	Sunrise	1° 00'N	90° 45'	0.17	25	21	23
18	Noon	1° 00'N	90° 45'	0.12	14	—	—
18	Sunset	1° 00'N	90° 45'	0.22	—	—	—
19	Sunrise	1° 00'N	90° 45'	0.19	26	22	24
19	Noon	0° 45'N	91° 17'	0.15	25	24	24
19	Sunset	0° 11'N	92° 43'	0.16	—	—	—
20	Sunrise	0° 04'N	93° 25'	0.17	20	20	20
20	Noon	0° 20'S	93° 24'	0.090	13	11	12
20	Sunset	0° 40'S	93° 24'	0.040	—	—	—
21	Sunrise	0° 04'N	93° 24'	0.16	24	23	24
21	Noon	0° 32'N	93° 20'	0.077	9.3	9.3	9.3
21	Sunset	0° 44'N	93° 20'	0.077	—	—	—
22	Sunrise	0° 44'N	93° 24'	0.093	20	21	20
22	Noon	0° 40'S	93° 24'	0.16	21	27	24
23	Sunrise	0° 04'N	93° 24'	0.12	16	16	16
23	Noon	0° 04'N	93° 24'	0.070	2.4	7.4	4.9
24	Sunrise	1° 40'N	93° 41'	0.078	26	22	24
24	Noon	2° 52'N	94° 09'	0.057	6.4	6.8	6.6
24	Sunset	4° 02'N	96° 00'	0.071	—	—	—
25	Sunrise	6° 02'N	97° 21'	0.043	3.6	—	—
25	Noon	7° 08'N	98° 06'	0.094	8.3	13	11

TABLE 8. Chlorophyll *a* concentration and carbon fixation at the surface from *Esmeralda* Cruise.**TABLA 8.** Concentraciones de clorofila *a* y de fijación del carbono en la superficie, tomadas durante el crucero *Esmeralda*.

Date 1962	Collection time (local)	Position		Chlorophyll <i>a</i> (mg/m ³)	Carbon fixation (mg C/m ³ /day) Trailing bottles	
		Lat.	W. Long.			
July	18	Sunset	10° 07'N	117° 39'	0.056	
	19	Sunrise	8° 32'N	117° 05'	0.067	20
	19	Noon	7° 51'N	116° 50'	0.10	
	19	Sunset	7° 07'N	116° 34'	0.090	
	20	Sunrise	5° 56'N	116° 09'	0.072	12
	20	Noon	5° 19'N	115° 32'	0.029	10
	20	Sunset	4° 45'N	115° 20'	0.10	
	21	Sunrise	3° 28'N	114° 52'	0.13	18
	21	Noon	3° 04'N	114° 49'	0.13	14
	21	Sunset	2° 32'N	114° 36'	0.11	
	22	Sunrise	1° 06'N	114° 30'	0.090	17
	22	Noon	0° 19'N	114° 35'	0.18	43
	22	Sunset	0° 28'S	114° 20'	0.15	
	23	Sunrise	1° 48'S	113° 49'	0.10	24
	23	Noon	2° 22'S	113° 58'	0.13	31
	23	Sunset	2° 52'S	113° 55'	0.11	
	24	Sunrise	4° 08'S	113° 28'	0.089	13
	24	Noon	4° 50'S	113° 31'	0.072	11
	24	Sunset	5° 31'S	113° 18'	0.093	
	25	Sunrise	6° 56'S	112° 47'	0.29	14
	25	Noon	7° 36'S	112° 28'	0.13	
	25	Sunset	8° 23'S	112° 12'	0.14	
	26	Sunrise	9° 31'S	111° 47'	0.14	12
	26	Noon	10° 01'S	111° 54'	0.12	0.6
	26	Sunset	10° 55'S	111° 54'	0.080	
	27	Sunrise	13° 13'S	111° 54'	0.089	3.4
	27	Noon	13° 44'S	111° 37'	0.050	6.1
	28	Sunrise	16° 07'S	111° 10'	0.059	6.2
	28	Noon	16° 45'S	110° 57'	0.022	1.1
	28	Sunset	16° 32'S	110° 50'	0.023	
	29	Sunrise	19° 03'S	110° 34'	0.040	0.0
	29	Noon	19° 44'S	110° 28'	0.042	0.8
	29	Sunset	20° 15'S	110° 22'	0.029	
	30	Sunrise	21° 11'S	110° 12'	0.046	0.4
	30	Noon	21° 27'S	110° 08'	0.026	1.0
	30	Sunset	21° 52'S	110° 07'	0.044	
	31	Sunrise	22° 52'S	109° 54'	0.045	1.0
	31	Noon	23° 27'S	109° 47'	0.059	1.6
	31	Sunset	23° 57'S	109° 41'	0.047	
Aug.	1	Sunrise	25° 20'S	109° 30'	0.025	1.6
	1	Noon	25° 45'S	109° 25'	0.026	2.3
	1	Sunset	26° 15'S	109° 20'	0.015	
	2	Sunrise	27° 10'S	109° 19'	0.062	0.5
	5	Sunrise	26° 20'S	108° 25'	0.023	9.8
	5	Noon	26° 08'S	108° 13'	0.037	0.0
	5	Sunset	26° 00'S	107° 55'	0.037	
	6	Sunrise	26° 30'S	107° 48'	0.061	1.3
	6	Noon	26° 38'S	108° 08'	0.054	3.0
	6	Sunset	26° 51'S	107° 41'	0.073	
	7	Sunrise	27° 11'S	106° 11'	0.068	2.0
	7	Noon	27° 20'S	105° 25'	0.030	
	7	Sunset	27° 28'S	104° 50'	0.041	
	8	Sunrise	28° 03'S	103° 04'	0.088	2.7
	8	Noon	28° 18'S	102° 33'	0.098	1.7
	8	Sunset	28° 29'S	102° 01'	0.089	
	9	Sunrise	28° 51'S	100° 25'	0.080	1.7
	9	Noon	28° 57'S	99° 58'	0.060	4.3

TABLE 8. (Continued)

Date 1962	Collection time (local)	Position		Chlorophyll <i>a</i> (mg/m ³)	Carbon fixation (mg C/m ³ /day) Trailing bottles
		Lat.	W. Long.		
9	Sunset	29° 02'S	99° 31'	0.11	
10	Sunrise	29° 14'S	98° 30'	0.047	1.5
10	Noon	29° 18'S	97° 55'	0.065	2.3
10	Sunset	29° 23'S	97° 29'	0.052	
11	Sunrise	29° 45'S	95° 43'	0.047	0.0
11	Noon	29° 46'S	95° 12'	0.055	1.6
11	Sunset	29° 54'S	94° 35'	0.053	
12	Sunrise	30° 17'S	92° 33'	0.068	4.0
12	Noon	30° 29'S	91° 32'	0.062	1.1
12	Sunset	30° 38'S	90° 42'	0.073	
13	Sunrise	31° 01'S	88° 15'	0.093	4.3
13	Noon	30° 52'S	87° 56'	0.085	2.9
13	Sunset	30° 57'S	87° 28'	0.089	
14	Sunrise	31° 06'S	86° 02'	0.11	7.7
14	Noon	31° 13'S	85° 25'	0.099	3.7
14	Sunset	31° 17'S	85° 05'	0.064	
15	Sunrise	31° 26'S	84° 06'	0.088	5.8
15	Noon	31° 27'S	83° 40'	0.073	5.9
15	Sunset	31° 30'S	83° 00'	0.054	
16	Sunrise	31° 38'S	82° 26'	0.11	10
16	Noon	31° 39'S	81° 47'	0.098	12
16	Sunset	31° 44'S	81° 03'	0.12	
17	Sunrise	32° 00'S	79° 19'	0.15	13
17	Noon	31° 57'S	78° 51'	0.11	7.9
17	Sunset	32° 02'S	78° 17'	0.13	
18	Sunrise	32° 06'S	77° 19'	0.18	12
18	Noon	32° 04'S	77° 07'	0.16	7.1
18	Sunset	32° 04'S	76° 45'	0.21	
19	Sunrise	32° 08'S	75° 10'	0.33	10
19	Noon	32° 17'S	74° 46'	0.24	15
19	Sunset	32° 16'S	74° 16'	0.18	

TABLE 9. Zooplankton volumes from COSTA RICA DOME, STEP-I and SWANSONG.**TABLA 9.** Volúmenes de zooplancton tomados durante los cruceros COSTA RICA DOME, STEP-I y SWANSONG.**COSTA RICA DOME Cruise**

Date 1959	Collection Time (local)	Position		Volume (ml/1000m ³)
		Lat.	W. Long.	
Nov. 15	1500 d	9° 00'N	89° 03'	84
16	1630 d	7° 13'N	87° 11'	250
17	1800 d	10° 29'N	87° 10'	130
18	1330 d	8° 35'N	88° 00'	120
19	1300 d	7° 39'N	90° 12'	43
20	1345 d	8° 09'N	91° 17'	100
22	1130 d	8° 13'N	87° 52'	190
23	1050 d	8° 51'N	87° 01'	140
28	2230 n	10° 00'N	88° 20'	170
29	0800 d	9° 13'N	90° 09'	70
30	1600 d	7° 46'N	88° 26'	320
Dec. 2	2200 n	5° 35'N	87° 10'	54
3	0345 n	5° 28'N	86° 58'	56
4	1400 d	5° 35'N	87° 06'	59

Date 1960**STEP-I Expedition**

Sept. 28	0110 n	2° 06'S	84° 14'	150
29	2335 n	1° 01'S	82° 02'	90
Oct. 1	0035 n	1° 50'S	81° 41'	170
1	2307 n	2° 13'S	82° 00'	160
2	2135 n	2° 28'S	81° 37'	110
3	0100 n	2° 41'S	81° 17'	170
3	0626 c	3° 02'S	80° 47'	180
3	0849 d	3° 11'S	80° 33'	110
8	1024 d	6° 02'S	81° 18'	110
8	2057 n	6° 23'S	81° 54'	240
9	1454 d	7° 02'S	82° 56'	140
10	0243 n	7° 32'S	83° 48'	120
10	1337 d	8° 02'S	84° 45'	80
11	0052 n	8° 55'S	86° 12'	80
12	0520 n	10° 35'S	89° 06'	40
13	1335 d	13° 18'S	89° 35'	30
14	0016 n	14° 28'S	88° 48'	50
14	1145 d	15° 40'S	87° 58'	30
15	0330 n	14° 49'S	86° 26'	20
16	0400 n	14° 03'S	85° 03'	60
17	2210 n	11° 10'S	80° 01'	80
18	1013 d	10° 32'S	78° 52'	110
29	0108 n	15° 13'S	76° 43'	200
29	0955 d	15° 40'S	77° 20'	130
30	0443 n	16° 27'S	78° 38'	80
31	0135 n	18° 06'S	80° 56'	80
Nov. 1	1040 d	20° 26'S	84° 11'	40
1	1948 c	20° 55'S	85° 16'	50
3	1045 d	23° 45'S	81° 07'	60
4	0023 n	22° 43'S	79° 43'	50
5	0008 n	18° 58'S	74° 48'	90
6	2323 n	17° 54'S	72° 52'	160
11	0915 d	21° 16'S	71° 09'	90
17	2315 n	23° 38'S	71° 27'	100
19	1101 d	23° 42'S	74° 56'	50
19	2210 n	23° 41'S	75° 56'	140
20	0631 d	23° 38'S	77° 06'	18

TABLE 9. (Continued)

Date 1959	Collection Time (local)	Position		Volume (ml/1000m ³)
		Lat.	W. Long.	
21	0750 d	23° 41'S	80° 42'	80
22	0015 n	23° 43'S	82° 37'	40
22	1256 d	23° 43'S	84° 14'	100
23	1614 d	23° 40'S	87° 51'	60
24	2051 n	23° 41'S	91° 28'	40
26	0119 n	23° 40'S	95° 13'	10
27	0455 c	19° 55'S	95° 05'	130
27	2040 n	18° 16'S	95° 05'	10
28	0741 d	16° 48'S	94° 49'	70
29	0814 d	13° 20'S	94° 57'	30
29	2110 n	11° 35'S	94° 59'	30
30	0915 d	9° 57'S	95° 02'	150
Dec. 1	0710 d	6° 51'S	94° 52'	390
2	0020 n	5° 00'S	95° 00'	50
2	0833 d	3° 56'S	95° 07'	260
2	2300 n	1° 59'S	94° 55'	300
3	1759 c	0° 00'	95° 03'	2040
4	1316 d	1° 59'N	95° 02'	140
4	2158 n	3° 00'N	95° 03'	80
5	0546 c	4° 02'N	94° 56'	90
6	0430 n	6° 46'N	95° 01'	140
7	0406 n	10° 05'N	95° 06'	190
<hr/>				
Date 1961		SWANSONG Expedition		
Oct. 20	0449 n	00° 52'N	95° 59'	120
21	0432 n	00° 02'S	96° 02'	150
22	0905 d	01° 09'S	95° 59'	140
24	2109 n	02° 00'S	95° 56'	150
26	0611 c	00° 02'S	96° 01'	55
28	0455 c	00° 04'N	92° 16'	120
Nov. 2	0550 c	00° 08'S	86° 55'	110
3	1250 d	00° 08'S	86° 55'	120
6	0346 n	00° 30'S	86° 58'	160
7	2322 n	02° 01'S	87° 02'	140
8	1454 d	04° 00'S	87° 00'	150
8	2124 n	05° 01'S	86° 59'	120
16	0748 d	01° 43'S	90° 29'	190
18	1659 c	01° 00'N	90° 45'	130
20	0331 n	00° 04'N	93° 24'	140
20	1935 n	00° 40'S	93° 24'	82
21	1854 c	00° 44'N	93° 20'	330
24	1232 d	03° 13'N	94° 23'	58

n = night haul

d = daylight haul

c = haul taken within one hour of sunrise or sunset

PRODUCCION BIOLOGICA EN EL OCEANO PACIFICO ORIENTAL

por

Eric D. Forsbergh y James Joseph**INTRODUCCION**

El reconocimiento sistemático y cuantitativo de los océanos mundiales es necesario, en orden de descubrir la distribución geográfica de la producción biológica a varios niveles en la cadena alimenticia (Schaefer, 1962). También se necesita investigar las relaciones de esta producción con las variables hidrográficas y meteorológicas.

La Comisión Interamericana del Atún Tropical se interesa principalmente en esa parte del Océano Pacífico Oriental habitada por los stocks del atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) y barrilete (*Katsuwonus pelamis*). Cromwell (1958) describió la topografía de la termoclina en parte de esta área. Bjerknes (1961) analizó algunas de las relaciones entre la meteorología y la hidrografía. Wooster y Cromwell (1958) ilustraron la distribución vertical de la temperatura, del oxígeno disuelto, fosfato inorgánico y silicato en el Pacífico Oriental, por secciones verticales a través de sus características más importantes. Durante la expedición danesa Galathea, Steemann Nielsen y Aabye Jensen (1957-1959), midieron por primera vez la tasa de producción autotrófica en el mar, usando el método sensitivo del radiocarbono desarrollado por Steemann Nielsen (1952). Hicieron algunas determinaciones en el Pacífico Oriental Tropical. El primer examen extensivo de la producción primaria y de la cosecha estable tanto del fitoplancton como del zooplancton en el Pacífico Oriental Tropical fue hecho durante la expedición EASTROPIC en 1955 (King, Austin y Doty, 1957; Holmes, Schaefer y Shimada, 1957; Brandhorst, 1958; Holmes, 1958; Austin, 1960), pero se tomaron pocas medidas al sur de los 10°S. Se tomaron otras medidas de la producción primaria y de las cosechas estables del fitoplancton y zooplancton en varias expediciones subsiguientes, en su mayoría al norte del ecuador.

Reid (1962), describió la distribución geográfica del fosfato-fósforo ($PO_4\text{-P}$) y del volumen de zooplancton en las capas superiores del Pacífico, basado sobre los datos disponibles hasta 1958, pero de nuevo se muestran pocos datos al sur de los 10°S. Un examen comprensivo de la física, química y biología de las aguas frente al Perú y al norte de Chile se hizo durante la expedición STEP-I en 1960. Algunos resultados fueron presentados por Wooster (1961a), Wooster y Gilmartin (1961), Sund (1963), Wyrčki (1963), Chow y Barrett (M.S.).

En años recientes el mecanismo de la producción biológica en el Pacífico Oriental, ha venido a ser de un interés creciente, debido al desarrollo y expansión de las grandes pesquerías cuya importancia puede juzgarse

por el tamaño de las capturas: frente a la costa peruana, alrededor de 4,300,000 toneladas métricas de anchovetas (*Engraulis ringens*) son cogidas anualmente por pájaros acuáticos (Wooster y Reid, 1963) y cerca de 6,000,000 de toneladas métricas fueron tomadas por los pescadores peruanos durante 1962; en la pesquería de California a Chile de atún aleta amarilla y barrilete, los barcos rederos y de carnada capturaron durante 1961, principalmente por pescadores americanos, 191,000 toneladas cortas; durante 1961, la pesquería japonesa de palangre al este de los 130°W, cogió cerca de 36,000 toneladas cortas de atunes (Scombridae) y peces con espada (Istiophoridae y Xiphiidae). Las estadísticas de captura por especies, área y estación, de la pesquería de los barcos rederos y de carnada han sido presentadas por Shimada (1958) y Alverson (1959, 1960, 1963). Estadísticas parciales de las capturas japonesas por palangre, en el Pacífico Oriental, han sido publicadas por una cantidad de agencias japonesas, pero las estadísticas más completas han sido recopiladas por Akira Suda (datos no publicados). Sette (1955), hizo el primer ensayo principal, basado en datos reales, de relacionar la producción de peces de alta mar, con la circulación oceánica y la fuerza del viento. Robert H. Holmes está terminando una descripción de las características físicas, químicas y biológicas y sus interrelaciones en el Pacífico noreste (al este de los 120°W, y al norte del ecuador).

Como lo reflejan los datos recientemente recolectados, el presente trabajo está dedicado principalmente a la distribución geográfica de las cosechas estables y a la producción del fitoplancton en la superficie del Pacífico Oriental, al este de los 130°W y entre los 10°N y 33°S. Además discutimos algunas de las relaciones generales más obvias entre la topografía de la termoclina, la concentración de los nutrientes, y los varios niveles tróficos, desde la producción primaria hasta la producción de los peces. Los datos limitados no permiten un estudio estacional. Por lo tanto, hemos combinado todos los datos no tomando en cuenta el tiempo de la recolección, pero no queremos implicar que no existen cambios estacionales o periódicos en el sistema físico, químico y biológico.

Los autores quieren expresar su agradecimiento a las siguientes personas por su ayuda y consejo: Franklin G. Alverson, Edward B. Bennett, Maurice Blackburn, Wilbert M. Chapman, Milner B. Schaefer, Paul N. Sund, y particularmente a O. Elton Sette. También hacemos extensivo nuestro agradecimiento a Akira Suda por su asistencia en el cómputo de la captura total de la pesquería japonesa de palangre.

METODOS Y FUENTES

Los datos

Los datos en los que se basa este estudio se resumen en la Tabla 1,

estando completamente enumerados en las Tablas 4-9 y han sido o serán distribuidos, como informes de datos no publicados.

TABLA 1. Origen de los datos principales usados en este informe.

Crucero	Tiempo	Fuente	PO ₄ -P	Chl. <i>a</i>	C ¹⁴	Zoo-plancton
COSTA RICA DOME	nov.-dic., 1959	Anon. (1960)	X	X	X	X
STEP-I	sept.-dic., 1960	Wooster (1961a)	X			
STEP-I	sept.-dic., 1960	Forsbergh (1961)		X	X	X
SWANSONG	oct.-dic., 1961	Datos sin publicar		X	X	X
<i>Esmeralda</i>	jul.-agos., 1962	Forsbergh (1963)		X	X	

Las rutas de los cruceros arriba indicados se muestran en la Figura 1.

Fosfato-fósforo

La cantidad de PO₄-P superficial fue determinada por el método descrito por Strickland y Parsons (1960) y se hace el informe de las concentraciones como átomos microgramos por litro ($\mu\text{g.-at./L}$) (Figura 2 y Tabla 4). La precisión del método se da para el COSTA RICA DOME como $\pm 0.13 \mu\text{g.-at./L}$ al nivel de $3.30 \mu\text{g.-at./L}$ y como $\pm 0.06 \mu\text{g.-at./L}$ al nivel de $0.65 \mu\text{g.-at./L}$ (Anon., 1960) y para el STEP-I como $\pm 0.11 \mu\text{g.-at./L}$ al nivel de $3 \mu\text{g.-at./L}$ y como $\pm 0.055 \mu\text{g.-at./L}$ al nivel de $0.3 \mu\text{g.-at./L}$ (Strickland y Parsons, 1960 y Wooster, 1961a).

Clorofila *a*

Las muestras de la superficie del agua se recolectaron con un balde plástico al orto, al medio día y al ocaso. El fitoplancton se removió inmediatamente, filtrando las muestras por filtros HA Millipore (diámetro del poro: 0.45μ). El extracto del fitoplancton se preparó por el método de Creitz y Richards (1955) y la concentración de clorofila *a* fue determinada por el método de Richards con Thompson (1952). Se dan los valores a dos cifras significativas como miligramos por metro cúbico de agua (mg/m^3).

La densidad de las localidades de muestreo en el COSTA RICA DOME requirieron que se asignara un símbolo en el mapa (Figura 3) para cada área de un grado, y así evitar un traslapo. El tamaño del símbolo usado corresponde a la media de las medidas por las categorías indicadas en el "inserto" de la Figura 3, hechas en cada cuadrado de un grado.

Producción primaria

Se midió la tasa de la fijación de carbono por el fitoplancton, usando el método C¹⁴ de Steemann Nielsen (1952). Se obtuvieron muestras de la superficie del agua, con un balde plástico al orto y al medio día, se colocaron en botellas de reactivo Pyrex con tapa de vidrio, inoculadas con 1 ml de

solución C^{14} y se expusieron a la luz natural entre el orto y el medio día o entre el medio día y el ocaso. Las botellas conteniendo las muestras fueron remolcadas detrás del barco o se expusieron sobre cubierta manteniéndolas aproximadamente a la temperatura de la superficie del mar, ésto se hizo dejando circular el agua del mar (Robert W. Holmes [comunicación personal] no ha encontrado ninguna diferencia significativa entre estos dos métodos). Se usaron botellas obscuras similarmente expuestas, como control en todos los experimentos. Al final de cada experimento se recolectó el fitoplancton, filtrando la muestra de agua a través de filtros HA Millipore (diámetro del poro: 0.45μ) con una succión de menos de 20 pulgadas de mercurio. Se lavaron los filtros varias veces con agua de mar, y después se desecaron al vacío.

Las muestras del SWANSONG fueron filtradas primero a través de mallas con aperturas de 0.5×0.5 mm en orden de remover la mayor parte del zooplancton. En los cruceros del COSTA RICA DOME y STEP-I se usaron botellas de 125-ml; en los cruceros del SWANSONG y de la *Esmeralda*, fueron usadas botellas de 250-ml.

Se usó un contador Nuclear Chicago D-47 de flujo de gas, para medir la actividad de la solución del radiocarbono y del fitoplancton. Las muestras del COSTA RICA DOME se contaron hasta la numeración 1280, todas las otras hasta la numeración 2560. Las muestras de fitoplancton del STEP-I y del SWANSONG se expusieron al vapor de ácido hidroclicórico antes de hacer el cálculo y así, remover cualquier radioactividad contaminada por los carbonatos inorgánicos. Las muestras del COSTA RICA DOME y del crucero *Esmeralda* no se expusieron. Hemos encontrado que las actividades antes y después de la exposición a los vapores ácidos no son significativamente diferentes, así que esta práctica se discontinuó después del crucero SWANSONG.

Todas las soluciones de radiocarbono fueron preparadas y estandarizadas de la misma manera. Se hizo una determinación del estándar para la solución del COSTA RICA DOME, tres para el STEP-I y cuatro para el crucero *Esmeralda*. Las curvas de la autoabsorción de la radioactividad versus densidad del precipitado, no fueron extrapoladas a la densidad de cero, debido a la disminución en la actividad a una densidad muy pequeña (< 0.03 mg/cm²) tal vez causada por una desigualdad en la disposición del precipitado a concentraciones bajas. No consideramos que esa disminución de actividad sea verdadera. Debido a la dispersión de los puntos, particularmente entre las determinaciones del estándar, el gráfico de la curva a través de los puntos restantes (a la densidad ≥ 0.03 mg/cm²) no se consideró realístico. Por lo tanto, la actividad media de todos los puntos en las cimas de las curvas fue el valor asignado a cada solución. Los valores derivados de esta manera fueron usados para las tres soluciones.

La corrección para la absorción no fotosintética del carbono se hizo

substrayendo la actividad de las botellas oscuras de la de las botellas claras. La fijación del carbono se calculó hasta dos cifras significativas excepto en los casos de una fijación muy baja, cuando se calculó hasta una cifra solamente. Los valores de la fijación diaria fueron calculados doblando los valores obtenidos durante una exposición de medio día y por lo tanto no se corrigieron para la respiración nocturna. Se asumió que el contenido carbonato-carbono del agua del mar fuera constante a los 24 mg por litro. Se usó un factor de corrección de 1.05 para compensar el efecto del isótopo (excepto en el COSTA RICA DOME). Las diferencias de los métodos entre los cruceros principales se muestran en la Tabla 2.

TABLA 2. Método usados en los cruceros principales.

Métodos	COSTA RICA			
	DOME 1959	STEP-I 1960	SWANSONG 1961	Esmeralda 1962
Botellas remolcadas	X	X		X
Incubador de cubierta		X	X	
Tamaño de las botellas	125 ml	125 ml	250 ml	250 ml
Remoción de zooplancton			X	
Muestras de los filtros expuestas al vapor HCl		X	X	
Corrección para el efecto del isótopo		X	X	X
Cómputo por muestra	1280	2560	2560	2560
No. de determinaciones/estándar (3 replicas/determinación)	1	3	4	4
Coefficiente de variación	±12%	±5%	±17%	±17%

Debido a la densidad de las localidades de muestreo, los mismos procedimientos empleados para graficar en la Figura 3 los valores de la clorofila *a* del COSTA RICA DOME, fueron usados para graficar las tasas de producción en la Figura 4.

Valores del zooplancton

El zooplancton fue recogido con redes de un metro de diámetro en la boca, hechas de tejido de gasa nylon (Nitex No. 452 en el cuerpo, tamaño de apertura 0.452 mm; Nitex No. 295 en la sección posterior y en el extremo, tamaño de apertura 0.295 mm). Los arrastres oblicuos estándar se hicieron desde una profundidad de cerca de 300 m. El alambre se soltó a 50 m por minuto y se recogió a 20 m por minuto, manteniéndose el ángulo tan cerca a los 45° como era posible, variando la velocidad del barco. Se usó un medidor de flujo Tsurumi para estimar el flujo del agua, y el volumen total de agua filtrada se calculó por el método del South Pacific Fishery Investigations (1953). Se filtró un promedio de 760 m³ de agua¹ por arrastre, con un alcance de 120 m³. El zooplancton fue preservado en una solución buffer de formol al 4% y el volumen húmedo se midió por el

¹. En el informe de los datos del STEP-I, SIO Ref. 61-18, se da la cantidad de agua filtrada en la estación 88, como de 30 m³, esto es un error; el valor correcto es de 300 m³. Sin embargo, el valor que se da para el volumen del zooplancton, es correcto.

desplazamiento después de remover los organismos más largos que los de 5 cm. Las concentraciones de zooplancton se dan en mililitros por 1000 metros cúbicos de agua (ml/1000 m³) y se calcularon hasta dos cifras significativas. Griffiths (1963), usando la variancia total, mostró que los límites de confianza del 95% de un solo arrastre son de 1/3 y tres veces el valor del arrastre. No fue posible hacer arrastres de zooplancton en el crucero *Esmeralda*.

Diagramas y mapas

El diagrama esquemático del sistema de las corrientes (Figura 5) se derivó de las siguientes fuentes: 1) Para el sistema de las corrientes ecuatoriales: Sverdrup, Johnson y Fleming (1942), Cromwell y Bennett (1959), Reid (1961, 1962), Wooster (1961), Wyrтки (1963), Knauss (1960 y comunicación personal. 2) Para el sistema peruano: Günther (1936), Wooster y Gilmartin (1961), Wooster y Reid (1963) y Wyrтки (1963).

El mapa de la cantidad de PO₄-P superficial (Figura 2) para STEP-I fue suministrado por Tsaihwa J. Chow. Los datos sobre PO₄-P del COSTA RICA DOME se agregaron a los del STEP-I.

Los mapas de la clorofila *a* en la superficie y de la productividad en la superficie (Figuras 3 y 4) se basan en los datos indicados en las Tablas 5-8. Además, se hicieron mapas similares basados en todos los datos publicados disponibles, al sur de los 10°N y al este de los 130°W (Tabla 3 y Figura 6).

TABLA 3. Origen de los datos usados en la Figura 6.

Crucero	Fecha	Referencia	Fijación de carbono		
			Chl. <i>a</i>	<i>In situ</i>	Incubador de luz artificial
GALATHEA	mayo, 1952 (en el Pac. Orient.)	Steemann Nielsen y Aabye Jensen 1957-1959			X
EASTROPIC	oct.-dic., 1955	Holmes, Schaefer y Shimada, 1957	X	X	X
EASTROPIC	oct.-dic., 1955	King, Austin y Doty, 1957			X
<i>Hugh M. Smith</i>	en.-mar., 1957	Wilson y Rinkel, 1957			X
SCOPE	nov.-dic., 1956	Holmes, <i>et al.</i> , 1958	X	X	X
SCOT	abr.-jun., 1958	Holmes y Blackburn, 1960	X		
SCOT	abr.-jun., 1958	Blackburn, <i>et al.</i> , 1962		X	X

El mapa de la distribución del zooplancton (Figura 7) se basa en los datos dados en la Tabla 9.

El mapa de la distribución de la captura, tasa de captura (captura por 100 anzuelos) y el esfuerzo de la pesquería japonesa de palangre de atunes y peces con espada en 1961 (Figura 8), se obtuvieron de las estadísticas publicadas por el Japanese Fishermen's Cooperative Association (1962-1963). Estas estadísticas no son completas pero las consideramos adecua-

das para reflejar la distribución de los atunes y peces con espada en alta mar en el Pacífico Oriental. El número de los peces capturados se calculó del número de caladas y de la tasa de captura, asumiendo que se pescaron 2000 anzuelos en cada calada.

La Figura 9, que demuestra la distribución de las capturas de cachalotes (*Physeter catodon*) por balleneros americanos en el Pacífico Oriental, entre los años 1761 y 1920, fue basada en las placas 1 y 2 de Townsend (1935). La distribución se muestra por estación, como lo presentó Townsend originalmente.

RESULTADOS Y DISCUSION

Sales nutritivas

Los principales factores implicados en la producción del fitoplancton son la iluminación, tasa de reabastecimientos de las sales nutritivas, proporción de pastoreo por el zooplancton, remoción de las plantas de la zona eufótica por turbulencia, y los efectos de la temperatura sobre el metabolismo (Harvey, 1957). Se cree que en los mares tropicales y subtropicales, la disponibilidad de las sales nutritivas es el factor predominante (Steeermann Nielsen 1955). El transporte hacia arriba de las sales nutritivas dentro de la zona eufótica depende de la gradiente de concentración, el grado de difusión vertical por remolino (depende, a su turno, de la turbulencia y gradiente de la densidad) y del afloramiento (Harvey, 1957). Brandhorst (1958) indicó que en las aguas mar afuera las cosechas estables del zooplancton en sí, un indicador aproximado de la producción del fitoplancton, está relacionado inversamente tanto con la profundidad como con la estabilidad de la termoclina. Se encontró que existía una situación similar en el Golfo de Tehuantepec (Blackburn, 1962).

De las plantas nutrientes, $PO_4\text{-P}$ es la que se mide más comunmente, aunque las otras pueden ser más importantes. Reid (1962) dice:

“Las variaciones del $PO_4\text{-P}$ pueden o no pueden ser importantes en sí mismas. Pueden ser importantes como indicadores de las variaciones de otras sales nutritivas, como el nitrato, que es afectado por los mismos procedimientos, pero no existen en exceso.”

Los mapas de la superficie $PO_4\text{-P}$ (Figura 2; Reid, 1962, Figura 2) demuestran concentraciones altas en el Domo Termal de Costa Rica, cerca del Ecuador, a lo largo de las costas del Perú y Chile, y en una faja ancha en un eje noroeste entre el Perú y el Ecuador. Estas regiones corresponden a las de una termoclina somera o de una estratificación débil. Una excepción a esto, es la región a lo largo de la convexidad termal en el límite norte de la Contracorriente Ecuatorial del Norte (Cromwell, 1958) donde

la cantidad de $\text{PO}_4\text{-P}$ superficial está bajo, al oeste de los 100°W . Esto sugiere que, aunque las aguas a los 100 m son muy altas en el $\text{PO}_4\text{-P}$ superficial a lo largo de esta latitud (Reid, 1962, Figura 3) la divergencia horizontal, la mezcla vertical y la difusión por remolino no son lo suficientemente grandes como para permitir ahí el enriquecimiento de la superficie del agua. El viento sobre la superficie también es más débil allá, y por lo tanto existe poca agitación.

Desde los 120°W hasta los 95°W , la mayor cantidad de $\text{PO}_4\text{-P}$ superficial se halla a lo largo de los 3°S (Reid, 1962, Figura 2), que coincide con la parte más somera de la convexidad termal ecuatorial que corre entre los paralelos 3°N y 5°S . El enriquecimiento de la superficie en el ecuador no es aparentemente tan grande como podía esperarse por el afloramiento, debido a la celda meridional (Charney, 1960; Knauss, 1960) en la Corriente Cromwell, toma lugar desde cerca del centro de la piconclina en estas longitudes. Las observaciones muestran que las concentraciones de nutrientes son relativamente bajas en la piconclina a lo largo del ecuador (Wooster y Cromwell, 1958; Knauss, 1960; y Bennett, 1963). Consecuentemente, cualquier proceso de mezcla vertical a lo largo del ecuador no puede ser tan efectivo en el enriquecimiento de las aguas superficiales como sería el caso en algunos grados más al sur.

A lo largo de la costa peruana los valores de $\text{PO}_4\text{-P}$ extremadamente altos en los 6°S y 15°S (Figura 2), pueden considerarse como evidencia de un fuerte afloramiento. Las temperaturas del mar en la superficie también indican un fuerte afloramiento en estos puntos. Sund (*en prensa*), ha demostrado una distribución similar de afloramiento usando los quegnatos como indicadores de las masas de agua.

Mar afuera de la parte central y sur del Perú, los vientos prevalecientes del sureste durante noviembre (el mes central del Crucero STEP-I), aumentan de la fuerza Beaufort 2, hasta más de 4 a lo largo de la costa cerca de los 20°S y los 90°W (Meteorological Office, 1956). Si estos vientos del sureste producen un transporte hacia el suroeste de las aguas superficiales (transporte Ekman), que aumenta en cuanto uno se dirige de la costa a la posición de los vientos más fuertes (20°S y 90°W), entonces la diferencia relativa en el transporte de las aguas de la superficie causaría una divergencia que resultaría en afloramiento. Los valores de $\text{PO}_4\text{-P}$ de $1 \mu\text{g-at./L}$ que se encuentran a más de 300 millas de la costa podrían atribuirse a tal divergencia. Esta agua de la superficie enriquecida, aparentemente es transportada hacia el noroeste por la Corriente Oceánica del Perú.

Fitoplancton

Los datos sobre el fitoplancton previamente publicados (Figura 6) muestran una cosecha estable alta, medida por las concentraciones de la clorofila a , entre las Islas Galápagos y la tierra firme y una producción

relativamente alta cerca del ecuador entre los 130°W y 110°W. Austin (1960, Figura 24), ha perfilado los datos de King, Austin y Doty (1957) mostrando una producción máxima en la región a lo largo del ecuador.

Datos recientes y extensivos obtenidos por métodos estandarizados (Figuras 3 y 4 y Tablas 5-8) muestran las distribuciones de las cosechas estables y la productividad del fitoplancton en la superficie, como correspondientes aproximadamente a la distribución del PO₄-P superficial. La clorofila *a* es alta en el Domo Termal de Costa Rica (0.33-0.99 mg chl. *a*/m³), muy alta en la costa peruana (≥ 1.00), alta a los 115°W entre los 4°N y 10°S; pero en los 95°W es más bien alta en el ecuador, que en los 3°S, donde el PO₄-P es máximo. La tasa de producción es alta en el Domo Termal de Costa Rica (15-44 mgC/m³/día), muy alta cerca de la costa peruana (≥ 45), alta entre las Islas Galápagos y la tierra firme, alta entre los 10°N y los 10°S en los 115°W y entre los 2°N y 10°S a los 95°W, con sus máximos en el ecuador más bien que en los 3°S. No tenemos explicación por las diferencias en las latitudes de la concentración máxima de PO₄-P y de la productividad máxima, si las diferencias son verdaderas.

La alta producción y la cosecha estable a varios cientos de millas mar afuera de la costa peruana, reflejan una alta concentración de sales nutritivas, indicada por concentraciones de PO₄-P mayores de 1.0 $\mu\text{g-at./L}$. No existen datos de PO₄-P en los 32°S, pero los valores altos de la producción y de la cosecha estable en esta latitud, hacia el occidente hasta los 83°W, sugieren que el PO₄-P puede ser alto allá también, tal vez causado por el afloramiento del agua de la costa dirigida hacia el mar por los vientos del este y por la divergencia entre la Contracorriente del Perú y la Corriente Oceánica del Perú.

Zooplancton

Las relaciones del zooplancton con la hidrografía y las sales nutritivas en el sistema de la corriente ecuatorial del Pacífico se han examinado frecuentemente. Sverdrup, Johnson y Fleming (1942), indican que a los 140°W el máximo del zooplancton aparece en los 13°N y los 3°S coincidiendo con las cimas de las convexidades termales en el sistema de la corriente ecuatorial. King y Demond (1953), encontraron un máximo en o dentro de unos pocos grados del ecuador entre los 155° y los 175°W. Sette (1955) también mostró un máximo cerca del ecuador a los 150°W. King y Hida (1957) en sus análisis del zooplancton y del sistema de la corriente ecuatorial entre los 120° y 180°W, encontraron que el zooplancton era máximo a lo largo del ecuador excepto entre los 120° y 140°W, en donde fue igualmente alto en el ecuador y en la contracorriente ecuatorial del norte; observaron volúmenes de zooplancton más grandes en la convergencia al norte del ecuador que al sur del ecuador. Estos pueden haber sido causados por vientos alisios del sureste, conduciendo las aguas de la superficie hacia el norte. En una serie de secciones a través del sistema

de las corrientes ecuatoriales, King y Hida (*op. cit.*) encontraron una correlación alta y positiva entre el zooplancton y el $\text{PO}_4\text{-P}$ superficial. Holmes, Schaefer y Shimada (1957) encontraron una relación positiva entre el zooplancton y la clorofila *a* superficial al este de los 130°W . Brandhorst (1958) mostró una relación inversa entre el zooplancton y la profundidad de la termoclina. Reid (1962, Figura 4) muestra que el zooplancton es relativamente alto a lo largo de la convexidad termal, en el límite norte de la Contracorriente Ecuatorial del Norte, y a lo largo de la convexidad termal ecuatorial desde los 5°N hasta los 4°S en los 130°W , y desde los 5°N hasta los 10°S a los 90°W , que corresponde aproximadamente con la distribución del $\text{PO}_4\text{-P}$ (Reid, 1962 Figuras 2 y 3). La Figura 7 muestra el zooplancton alto ($> 82 \text{ ml}/1000 \text{ m}^3$) a lo largo de los 95°W entre los 10°N y los 10°S con el máximo (> 244) desde los 0° hasta los 8°S que coincide con la alta producción a la superficie (Figura 4) y con una concentración alta del $\text{PO}_4\text{-P}$ (Figura 2). En la región ecuatorial la zona del zooplancton máximo parece que se cambia ligeramente hacia el norte de la zona del $\text{PO}_4\text{-P}$ máximo, tal vez como resultado de los vientos del sureste, que conducen las aguas de la superficie hacia el norte, como lo sugirieron King y Hida (*op. cit.*).

Necton

Los volúmenes del micronecton recolectados durante el STEP-I, fueron superiores cerca de la costa peruana (Maurice Blackburn, comunicación personal) reflejando la distribución del zooplancton demostrada por Reid (1962, Figura 4), pero no la del STEP-I (Figura 7).

King e Iversen (1962), analizaron un gran número de capturas tomadas por arrastres de profundidad media, sobre un período de 6 años en el sistema de la corriente ecuatorial entre los 108° y 165°W . Los organismos capturados eran principalmente carnívoros primarios y secundarios. Las capturas mayores se hicieron entre los 5°N y los 5°S en la región de afloramiento y enriquecimiento. Se hicieron capturas pobres al sur de los 5°S y entre los 10° y 18°N . La correlación entre el necton y el zooplancton fue altamente significativa; hubo una correlación significativa entre la producción del fitoplancton y el $\text{PO}_4\text{-P}$.

Atunes y Peces con espada

La medida más práctica, de la que se dispone ahora en la distribución de la abundancia aparente de los atunes y peces con espada, se obtiene de las capturas de los pescadores en su mayor parte americanos y japoneses quienes están ahora pescando en todo el Pacífico Oriental Tropical. Los pescadores americanos de atún, dependen para sus capturas de cardúmenes densos de atún aleta amarilla y barrilete en la superficie, cerca a tierra firme, extendiéndose por ahí unas 200 millas fuera de la costa desde cerca

de los 30°N hasta por ahí los 20°S y alrededor de las islas mar afuera. Las estadísticas de esta pesquería han sido presentadas por Shimada (1958) y Alverson (1959, 1960, 1963). No podemos encontrar ninguna relación obvia, entre la relativa abundancia aparente de los stocks de atún que mantienen esta pesquería y los datos que hemos presentado. Los japoneses, por otra parte, pescan en la subsuperficie en aguas mar afuera por todas las especies grandes (principalmente atunes y peces con espada) donde no están congregados en cardúmenes densos. La Figura 8 demuestra las estadísticas de esta pesquería en 1961. Las áreas que poseen una tasa alta de captura (que refleja la relativa abundancia aparente) se distribuyen principalmente en una banda ancha que, dirigiéndose hacia el este, se desvía ligeramente hacia el sur, corriendo entre los 10°N y los 10°S en los 130°W y los 5°N y 15°S en los 95°W. Esta distribución al oeste de las Galápagos, coincide aproximadamente con la del zooplancton, del fitoplancton y del PO₄-P superficial.

Cachalotes

Aunque prevalece la opinión de que los cachalotes se alimentan principalmente de cefalópodos grandes, lo que quiere decir que están alejados del fitoplancton por muchos niveles tróficos, su distribución (Figura 9) parece que corresponde aproximadamente con las áreas de afloramiento y divergencia, el fosfato alto de la superficie y la alta producción de fitoplancton, especialmente, a lo largo y cerca del ecuador, desde el Ecuador y norte del Perú hasta las Islas Galápagos, fuera de la costa del Perú centralizándose en los 15°S, y a lo largo de la costa central de Chile. Las excepciones son el Domo de Costa Rica en donde casi nunca se cogieron cachalotes y a lo largo del ecuador entre los 115°W y las Islas Galápagos, en donde hubo buenas capturas de cachalotes únicamente en octubre-marzo entre los 102°W y los 108°W.

Con excepción de esta región entre los 115°W y las Islas Galápagos tanto las capturas de cachalotes como las capturas japonesas de atunes y peces con espada han sido todas buenas a lo largo del ecuador a través de todo el Pacífico. "La zona ballenera" situada a lo largo de los 5°S entre los 115°W y los 100°W coincide con una región de buenas capturas de peces, por los japoneses.

REFERENCES

- Alverson, F. G. 1959. Geographical distribution of yellowfin tuna and skipjack catches from the eastern tropical Pacific, by quarters of the year, 1952-1955. *Bull. Inter-Amer. Tropical Tuna Comm.*, 3:165-214.
- 1960. Distribution of fishing effort and resulting tuna catches from the eastern tropical Pacific by quarters of the year, 1951-1958. *Ibid.*, 4:321-446.
- 1963. Distribution of fishing effort and resulting tuna catches from the eastern tropical Pacific Ocean, by quarters of the year, 1959-1962. *Ibid.*, 8:317-379.
- Anon. 1960. Physical, chemical and biological data. Costa Rica Dome Cruise. SIO Ref. 60-20:1-33.
- Austin, T. S. 1960. Oceanography of the east central equatorial Pacific as observed during Expedition EASTROPIC. U. S. Fish Wildl. Serv., *Fish. Bull.*, 168:257-282.
- Bennett, E. B. 1963. An oceanographic atlas of the eastern tropical Pacific Ocean, based on data from EASTROPIC Expedition, October-December 1955. *Bull. Inter-Amer. Tropical Tuna Comm.*, 8:33-113.
- Bjerknes, J. 1961. "El Niño" study based on analysis of ocean surface temperatures 1935-1957. *Bull. Inter-Amer. Tropical Tuna Comm.*, 5:219-303.
- Blackburn, M. 1962. An oceanographic study of the Gulf of Tehuantepec. U. S. Fish Wildl. Serv., *Spec. Sci. Rep.-Fish.*, 404:1-28.
- Blackburn, M., R. C. Griffiths, R. W. Holmes, and W. H. Thomas. 1962. Physical, chemical, and biological observations in the eastern tropical Pacific Ocean: three cruises to the Gulf of Tehuantepec 1958-59. *Ibid.*, 420:1-170.
- Brandhorst, W. 1958. Thermocline topography, zooplankton standing crop, and mechanisms of fertilization in the eastern tropical Pacific. *J. Cons. Intern. Explor. Mer.*, 24:16-31.

- Charney, J. G. 1960. Non-linear theory of a wind-driven homogeneous layer near the equator. *Deep-Sea Res.*, 6:303-310.
- Chow, T. J. and I. Barrett. M. S. Distribution of nitrite and nitrate in the waters of Peru Currents.
- Creitz, G. I. and F. A. Richards. 1955. The estimation and characterization of plankton populations by pigment analysis. III. A note on the use of "Millipore" membrane filters in the estimation of plankton pigments. *J. Mar. Res.*, 14:211-216.
- Cromwell, T. 1958. Thermocline topography, horizontal currents and "ridging" in the eastern tropical Pacific. *Bull. Inter-Amer. Tropical Tuna Comm.*, 3:135-164.
-, and E. B. Bennett. 1959. Surface drift charts for the eastern tropical Pacific Ocean. *Ibid.*, 3:217-237.
- Forsbergh, E. D., editor. 1961. STEP-I Expedition, 15 September-14 December 1960. Preliminary report. Part II. Biological, photometric and chemical data. SIO Ref. 61-18:1-66.
-, editor. 1963. Cruise of the *Esmeralda*, 6 July-20 August 1962. Preliminary report: Temperature, salinity and primary production. *Ibid.*, 63-16:1-44.
- Griffiths, R. C. 1963. Analysis of variance of zooplankton catches from expedition TEMPO. *In*: SIO Ref. 63-22:12-13.
- Günther, E. R. 1936. A report on oceanographical investigations in the Peru Coastal Current. *Discovery Rep.*, 13:107-276.
- Harvey, H. W. 1957. The chemistry and fertility of sea waters. Cambridge University Press. 224 pp.
- Holmes, R. W. 1958. Surface chlorophyll "A," surface primary production, and zooplankton volumes in the eastern Pacific Ocean. *Rapp. et Proc.-Verb., Cons. Internat. Explor. de la Mer*, 144:109-116.

- Holmes, R. W., and M. Blackburn, 1960. Physical, chemical, and biological observations in the eastern tropical Pacific Ocean, SCOT expedition, April-June 1958. U. S. Fish Wildl. Serv., Spec. Sci. Rep.-Fish., 345:1-106.
-, *et al.* 1958. Physical, chemical, and biological oceanographic observations obtained on expedition SCOPE in the eastern tropical Pacific, November-December 1956. *Ibid.*, 279:1-117.
-, M. B. Schaefer, and B. M. Shimada. 1957. Primary production, chlorophyll, and zooplankton volumes in the tropical eastern Pacific Ocean. Bull. Inter-Amer. Tropical Tuna Comm., 2:129-169.
- Japanese Tuna Fishermen's Cooperative Association. 1962. Tuna fishing. Konagawa Prefectural Fishery Experimental Station, 1, July; (In Japanese and English); 1-47.
- 1962a. Tuna fishing, *Ibid.*, 2, July.
- 1962b. Tuna fishing, *Ibid.*, 3, November: 1-38.
- 1962c. Tuna fishing, *Ibid.*, 4, November: 1-28.
- 1962d. Tuna fishing, *Ibid.*, 5, December: 1-47.
- 1963. Tuna fishing, *Ibid.*, 6, January: 1-14.
- King, J. E., T. S. Austin and M. S. Doty. 1957. Preliminary report on expedition EASTROPIC. U. S. Fish Wildl. Serv., Spec. Sci. Rep.-Fish., 201:1-155.
-, and J. Demond. 1953. Zooplankton abundance in the central Pacific. U. S. Fish Wildl. Serv., Fish. Bull. 82:111-144.
-, and T. S. Hida. 1957. Zooplankton abundance in the central Pacific. Part II. *Ibid.*, 118:365-395.
-, and R. T. B. Iversen. 1962. Midwater trawling for forage organisms in the central Pacific, 1951-1956. *Ibid.*, 210:271-321.
- Knauss, J. A. 1960. Measurements of the Cromwell Current. Deep-Sea Res., 6:265-286.

- Meteorological Office. 1956. Monthly meteorological charts of the eastern Pacific Ocean. Marine Div. of the Meteorological Office, Air Ministry, London, H.M.S.O. H.O. 518:1-122.
- Reid, J. L., Jr. 1961. On the geostrophic flow at the surface of the Pacific Ocean with respect to the 1,000-decibar surface. *Tellus*, 13:489-502.
- 1962. On circulation, phosphate-phosphorus content, and zooplankton volumes in the upper part of the Pacific Ocean. *Limnol. Oceanogr.*, 7:287-306.
- Richards, F. A. with T. G. Thompson. 1952. The estimation and characterization of plankton populations by pigment analysis. II. A spectrophotometric method for the estimation of plankton pigments. *J. Mar. Res.*, 11:156-172.
- Schaefer, M. B. 1962. Industrial oceanography. *J. of the Inst. of Navigation*, 9:195-200.
- Sette, O. E. 1955. Consideration of midocean fish production as related to oceanic circulatory systems. *J. Mar. Res.*, 14:398-414.
- Shimada, B. M. 1958. Geographical distribution of the annual catches of yellowfin and skipjack tuna from the eastern tropical Pacific Ocean from vessel logbook records, 1952-1955. *Bull., Inter-Amer. Tropical Tuna Comm.*, 2:287-363.
- South Pacific Fishery Investigations. 1953. Zooplankton volumes off the Pacific coast, 1952. *U. S. Fish Wildl. Serv., Spec. Sci. Rep.-Fish.*, 100:1-41.
- Steemann Nielsen, E. 1952. The use of radio-active carbon (C^{14}) for measuring organic production in the sea. *J. Cons. Intern. Explor. Mer*, 18:117-140.
- 1955. Production of organic matter in the oceans. *J. Mar. Res.*, 14:374-386.
-, and E. Aabye Jensen. 1957-1959. Primary oceanic production. The autotrophic production of organic matter in the oceans. Scientific results of the Danish deep-sea expedition round the world 1950-52. *Galathea Report. Vol.* 1:49-136.

- Strickland, J. D. H., and T. R. Parsons. 1960. A manual of seawater analysis. Bull. Fish. Res. Bd. Canada, 125:1-185.
- Sund, P. N. *In press*. The Chaetognatha of the waters off Peru. Bull. Inter-Amer. Tropical Tuna Comm.
- Sverdrup, H. U., M. W. Johnson, and R. H. Fleming. 1942. The oceans: their physics, chemistry, and general biology. Prentice Hall, New York, 1,087 pp.
- Townsend, C. H. 1935. The distribution of certain whales as shown by logbook records of American whaleships. Zoologica. Scientific contributions of the New York Zoological Society. 19:1-52.
- Wilson, R. C. and M. O. Rinkel. 1957. Marquesas area oceanographic and fishery data, January-March 1957. U. S. Fish Wildl. Serv., Spec. Sci. Rep.-Fish., 238:1-136.
- Wooster, W. S. 1961. Further evidence of a Pacific south equatorial countercurrent. Deep-Sea Res., 8:294-297.
-, editor. 1961a. STEP-I Expedition, 15 September-14 December 1960. Preliminary Report. Part I. Physical and chemical data. SIO Ref. 61-9:1-48.
-, and T. Cromwell. 1958. An oceanographic description of the eastern tropical Pacific. Bull. of the Scripps Inst. of Oceanogr., 7:169-281.
-, and M. Gilmartin. 1961. The Peru-Chile Undercurrent. J. Mar. Res., 19:97-122.
-, and J. L. Reid, Jr. 1963. Eastern boundary currents. *In: The Sea. Ideas and observations on progress in the study of the seas.* Interscience Publishers, London & New York. John Wiley & Sons: 253-280.
- Wyrtki, K. 1963. The horizontal and vertical field of motion in the Peru Current. Bull. of the Scripps Inst. of Oceanogr. 8:313-346.

