

INTER-AMERICAN TROPICAL TUNA COMMISSION
COMISION INTERAMERICANA DEL ATUN TROPICAL

Bulletin — Boletín

Vol. 12, No. 1

**INFLUENCE OF THE AZORES HIGH ON SEA LEVEL PRESSURE
AND WIND, AND ON PRECIPITATION, IN THE
EASTERN TROPICAL PACIFIC OCEAN**

**INFLUENCIA DE LA CELULA DE ALTA PRESION DE LAS
AZORES SOBRE LA PRESION AL NIVEL DEL MAR Y
EL VIENTO, Y SOBRE LA PRECIPITACION, EN EL
OCEANO PACIFICO ORIENTAL TROPICAL**

by — por
Edward B. Bennett

La Jolla, California

1966

CONTENTS — INDICE
ENGLISH VERSION — VERSION EN INGLES

	Page
INTRODUCTION.....	3
EL VERANITO DE SAN JUAN.....	4
PROXIMITY OF INTER-TROPICAL CONVERGENCE.....	4
PERTINENT PERMANENT CENTERS OF HIGH ATMOSPHERIC PRESSURE	6
EXTENT OF INFLUENCE OF AZORES HIGH IN THE EASTERN TROPICAL PACIFIC OCEAN	7
CONCLUDING REMARKS	9
—————	
FIGURES—FIGURAS.....	10
—————	
TABLE—TABLA.....	14
—————	

VERSION EN ESPAÑOL — SPANISH VERSION

	Página
INTRODUCCION.....	15
EL VERANITO DE SAN JUAN.....	16
PROXIMIDAD DE LA CONVERGENCIA INTERTROPICAL.....	17
CENTROS PERTINENTES DE CARACTER PERMANENTE DE LA ALTA PRESION ATMOSFERICA	18
GRADO DE INFLUENCIA DE LA CELULA DE ALTA DE LAS AZORES EN EL OCEANO PACIFICO ORIENTAL TROPICAL	20
OBSERVACIONES FINALES	21
—————	
LITERATURE CITED—BIBLIOGRAFIA CITADA	23

**INFLUENCE OF THE AZORES HIGH ON SEA LEVEL PRESSURE
AND WIND, AND ON PRECIPITATION, IN THE
EASTERN TROPICAL PACIFIC OCEAN**

by

Edward B. Bennett¹

ABSTRACT

Intensification of the Azores high pressure cell in mid-year, with concomitant air flow from the Caribbean into the Pacific, is shown to be responsible for a secondary minimum of precipitation observed along the tropical Pacific coast of the Americas, and to have a measurable effect on wind and precipitation several hundred kilometers offshore.

INTRODUCTION

In summarizing the results of studies of the environment of tunas aimed at description, understanding, and prediction of changes in their distribution and abundance, Blackburn (1965) notes that at various times tunas have extended more or less poleward than usual as a result of abnormally high or low sea temperatures in the eastern Pacific. He points out that these changes have been related to differences in sea level atmospheric pressure gradients and simultaneous changes in the wind field which are considered to affect sea temperatures through their effects on horizontal circulation and upwelling. It is clear, therefore, that investigation of the environment of tunas in the eastern Pacific must include the study of the meteorology of the region. In turn, description of the normal or usual meteorological conditions and seasonal cycles is a prerequisite for understanding and forecasting.

The climatology of the American tropics, where the year is divided into wet and dry periods, is such that little is spoken of seasons except in a rainfall relationship. The rainy season is the longer, lasting usually from mid-April through mid-December. Along the Pacific coast, however, there is a pronounced secondary minimum of precipitation in July or August observed at every locale from the equator northward to Acapulco, Mexico (U. S. Department of Commerce 1945, 1948, 1949). This period of less intense rainfall is due to a brief strengthening of the Azores high pressure cell in the Atlantic, and concomitant invasion of the entire Central American region by northeast trade winds; the moisture in these winds, however, is largely shut out from the Pacific coast by the high cordilleras of the area (U. S. Department of Commerce 1948). Peterson (1960) noted this effect in discussing the climatology of the Gulf of Nicoya, Costa Rica.

¹ Present address: University of Hawaii, Honolulu, Hawaii

The purpose of this report is threefold: 1) to document the influence of the Azores HIGH in the area of the Republic of Panama; 2) to demonstrate relationships existing between local observations in Central America and meteorological features of an essentially global scale; and 3) to delimit the extent to which influence of the Azores HIGH can be traced offshore in the eastern tropical Pacific.

EL VERANITO DE SAN JUAN

In Figure 1 are plotted monthly mean distributions of several oceanographic and meteorological variables observed at or near the Isthmus of Panama. Salinity at Naos Island, Canal Zone, is maximum in March-April when it is more than 34 ‰, and minimum in October-November when it is less than 28 ‰. The rate of decrease of salinity between April and October is not constant, however, for in July and August the monthly average values are the same. This annual distribution of salinity is typical of those of every coastal locality from Tumaco, Colombia (1°50'N, 78°44'W) to Acapulco, Mexico (16°51'N, 99°55'W). At some places the salinity decreases through the July-August period, but less quickly than in May-June or September-October. At others, salinity in August is a secondary maximum.

That salinity at Balboa is strongly influenced by precipitation in the area is shown by comparison with the rainfall record from Taboga, Panama (Figure 1b). The two peaks of rainfall in June and September account for the observed reductions in salinity during those months. The interruption of the decline of salinity in July and August corresponds with the secondary minimum of precipitation which occurs at that time.

In Central America the wet or rainy season is called winter while the dry season is called summer. It is logical, therefore, that the mid-year break in the rainy season should be termed a "little summer" and in fact in Panama this phenomenon is called El Veranito de San Juan (St. John's little summer) (Mrs. Fulvia Barrett, personal communication). In the villages surrounding David in western Panama, the Fiesta del Veranito de San Juan is celebrated in July (E. L. Diaz, personal communication). Because the seasonal distribution of precipitation at Taboga Island is similar to that over 3000 km of the Pacific coast of South, Central and North America (U. S. Department of Commerce 1945, 1948, 1949), it is clear that El Veranito de San Juan is a local observation of a wide-spread event.

PROXIMITY OF INTER-TROPICAL CONVERGENCE

Equatorial ocean climates are dominated by convective rainfall from dense cumuliform cloud masses associated with the convergence of the trade winds of the two hemispheres (e.g. Von Arx 1962), that is, with the Inter-Tropical Convergence Zone (ITCZ). In the area of the Panama

Bight and contiguous ocean region the occurrence of northerly winds at the beginning and end of a year, and of variable or southwesterly winds during the rest of the year (e.g. Schaefer, Bishop and Howard 1958) demonstrates that the ITCZ is displaced southward at the beginning of a year and northward in mid-year. The ITCZ is associated with, but usually lies north of, the essentially zonal axis of the low pressure trough which extends across the Pacific Ocean. Thus at any point within the ITCZ sea level air pressure is higher to the north and lower to the south.

Comparison of the annual variation of sea level air pressure at Balboa (Figure 1c) with that of precipitation at Taboga, Panama (Figure 1b), shows that in general high pressure corresponds with low precipitation, and low pressure with high precipitation. By no means, however, is there an exact inverse relationship. A better tool for predicting rainfall in the area is the *difference* in sea level pressure between Cristobal, Canal Zone, and Balboa (Figure 1d). This difference can be considered to be a measure of the meridional gradient of atmospheric pressure in the area. When the difference is largest (March) the region is invaded by driest winds from the north and precipitation is least; and when the difference is nearly zero but still positive (September) the ITCZ is in the area and precipitation is maximal. In view of the remarks in the preceding paragraph, the small negative difference in October is interpreted as due to the movement of the ITCZ slightly north of the area.

It should be noted that the monthly-mean data for rainfall, pressure gradient and wind velocity (Figures 1b, d and e, respectively) form a consistent set. When the pressure difference is large, rainfall is low and the north-northwest winds are strong; the two maxima of precipitation in June and September occur when the pressure difference is near zero but still positive and the wind is weak and variable, indicating presence of the ITCZ. The only month in which wind blows usually from any but the northwest quarter is October, when the occurrence of west-southwest wind indicates that the ITCZ is north of the region.

With regard to El Veranito de San Juan, the marked relative minimum of precipitation in July is associated with corresponding relative maxima in sea level pressure and pressure gradient, and with a return of the north-northwest wind condition (Figure 1). It is clear that the first maximum of precipitation in May-June is due to an advancement from the south of the ITCZ up to about the latitude of the Isthmus of Panama, that El Veranito de San Juan is due to a rapid southward retreat of the ITCZ during July, and that the larger maximum of precipitation in September-October is due to another advancement of the convergence up to and past the Isthmus. These advances and retreats of the ITCZ vary considerably from the seasonal movement described by Crowe (1951), but can be fully explained when larger-scale processes are considered.

PERTINENT PERMANENT CENTERS OF HIGH ATMOSPHERIC PRESSURE

In the Pacific Ocean two permanent anticyclones influence conditions in the eastern tropical Pacific. One is the North Pacific HIGH, centered on the average at 35°N , 140°W , and the other is the South Pacific HIGH, the mean position of which is 30°S , 90°W (Figure 2). During the course of a year, the center of each shifts in a determinable manner, while the maximum pressure waxes and wanes. Data from two marine climatic atlases (Air Ministry 1956, and U. S. Navy 1959) were used to deduce the positions and intensities of the two highs which are plotted in Figure 2. The North Pacific HIGH is closest to North America in December, most southerly in February, farthest west in July, and farthest north in September. Thus the center of the anticyclone moves essentially on an ellipse with major axis aligned west-northwest, of maximum dimension about 1700 km. From the single minimum in October the pressure at the center increases slowly through June, increases rapidly to the July maximum, and falls again to complete the cycle. The South Pacific HIGH is relatively invariant in position. It is farthest north in July, closest to the coast in September, and farthest south and offshore in February and March. The distance between the extremes of position in July and February-March, measured along a line directed north-northeast, is about 800 km, or about half of that of the North Pacific HIGH. In the annual cycle of monthly mean pressure at the center of the South Pacific HIGH the minimum occurs in April-May, the maximum in August.

The distribution of pressure along line A in Figure 2 was plotted as a function of time (Figure 3). The combination of intensification and weakening, and shifting of the centers, of the high results in a smooth annual oscillation of the low pressure trough between them. The axis of the trough, and therefore by implication the ITCZ, is southernmost in March and northernmost in September. Because of the apparent regularity of the annual oscillation of the ITCZ as determined from these data, the little dry season of the Pacific coast of the Americas cannot be attributed to interaction between the two permanent highs of the Pacific. Therefore one is led naturally to a consideration of the next closest permanent anticyclone which is the Azores HIGH of the North Atlantic.

Shown in Figure 2 are the position of and the pressure at the center of the Azores HIGH, as determined from the excellent atlases published by Koninklijk Nederlandsch Meteorologisch Instituut (1918, 1922, 1926, 1931). The mean position of the center of this feature is about 30°N , 45°W , a point approximately mid-way along but somewhat south of an imaginary line between the Azores and Bermuda. In December the center of the Azores HIGH is northernmost and near its mean longitude. In the early part of the year the center moves southwesterly to the farthest southwest position in February, and withdraws slightly eastward during March and April. Then it shifts northward to the May position and southwestward

and westward to the westernmost position in July. After that the center moves rapidly eastward about 2000 km to the easternmost position in October, from which it returns to the northernmost December position. The annual distribution of pressure at the center of the anticyclone shows two maxima and minima, rather than the single maximum and minimum of its counterparts in the Pacific. The lesser maximum occurs in January-February while the greater one is in June-July. The two minima are in March-April (lesser) and October-November (greater). Therefore at the times of maximum pressure the center of the Azores HIGH is relatively close to the Caribbean, while the greater minimum occurs when the high is farthest east. The position of the center during the lesser minimum of March-April, although west of the annual mean longitude of the feature, is in fact a lesser extreme eastward position.

A plot of the latitudinal distribution of isobars along line B of Figure 2 shows clearly the effect of the biannual extremes in intensity and westward position of the Azores HIGH and indications of interaction between that and the South Pacific HIGH (Figure 4). At 10°N , pressure is highest in February-March when the Azores HIGH and the South Pacific HIGH are southernmost, and when the former is at its lesser maximum in intensity. (It should be noted here that in addition to the nearness of the Azores HIGH, the continental high pressure area which lies over the southeastern part of the United States during northern winter also accounts for high pressure at 10°N at that time.) At the same latitude, pressure is a relative minimum in May-June, at a time just following the occurrence of the lesser minimum of the Azores HIGH, and when the South Pacific HIGH is advancing northward. The rapid intensification of the Azores HIGH to the June-July maximum is responsible for the secondary maximum of pressure at 30°N which occurs in early July, and for the lesser maximum at 10°N in late July. Perhaps the southward advance of the isobars would be more if the South Pacific HIGH were not in its most northerly position at that time. The rapid weakening and eastward movement of the Azores HIGH between July and October accounts for the pronounced minimum pressure in October at 10°N .

Since the ITCZ lies north of the low pressure trough between the regions of high pressure, its position varies in accordance with that of the upper 1012.5-mb isobar in Figure 4. Therefore the ITCZ is southernmost in February, is close to 10°N during May-June, is pushed southward during July and attains its most northerly position in October. This is entirely consistent with the data presented in Figure 1, and leads, therefore, to the conclusion that El Veranito de San Juan, a local name for a locally observed phenomenon, is due to interaction between or among features of an essentially global scale.

EXTENT OF INFLUENCE OF AZORES HIGH IN THE EASTERN TROPICAL PACIFIC OCEAN

That the little dry season is not limited to the region of the Pacific

side of the Isthmus of Panama has been discussed above. On the basis of the discussion thus far, this might now be expected, for when the Azores HIGH is westernmost in July so is the North Pacific HIGH, and *a priori* some effect of this extreme condition throughout the area between them could be expected. What remains to be determined now is how far west from the Americas this effect can be traced.

This can be determined in part by considering Figure 5, which is a plot by month of the most commonly observed wind direction in each five-degree square of the zonal strip 10° - 15° N, 85° - 120° W. Circles were drawn instead of arrows in those cases in which there were two or more directional modes. The hatched area includes all of the data in which southwesterly wind, which is found south of the ITCZ, was dominant or at least a secondary maximum. Thus the hatching indicates that the ITCZ is at or north of about 12.5° N, the mean latitude of the zonal strip. For the six-month period November through April wind is northerly across the entire strip. Variable winds first appear in May between 90° and 100° W, and progressively westward through June, occurring at 120° W about the end of June. After the period of variable winds, southwest winds predominate west of 115° W, but east-northeast winds occur east of 110° W. The maximum development of the latter occurs in July, indicating that they are part of the flow associated with the Azores HIGH, that is, that they are part of the North Atlantic trade winds which have spilled over into the Pacific. These are replaced partially by southwest winds in August and completely so in September-October. Following that there is uniform return to the northerly wind condition in November.

In terms of presence or absence of the ITCZ, Figure 5 suggests that it first moves northward into the area as early as the beginning of June near 100° W, and the end of June at 120° W; that east of about 110° W it is moved southward by northeasterly flow from the Azores HIGH in July and August; and that it returns to occupy the entire area in September-October. Correspondingly, the annual cycle of precipitation should show a double maximum out to about 110° W and a single maximum west of that longitude. That this is indeed the case can be seen in Table 1 wherein are listed the percentages of observations in each square reporting precipitation (the secondary maximum which occurs during February, west of 110° W, is not related to presence of the ITCZ and should not be considered in this discussion).

The influence of the Azores HIGH in offshore data in the five-degree strip 15° - 20° N is intermediate. Southward, however, its influence can be traced as far as the 5° - 10° S strip where, between the coast and 90° W, the always southeasterly winds have a double maximum in speed. The first and lesser occurs in May-June, when the ITCZ has made its first northward advance, and the second and greater in September, when the ITCZ is nearly at its most northerly position (U. S. Department of Commerce 1945).

CONCLUDING REMARKS

The development of the picture of interaction among the North and South Pacific HIGHS and the Azores HIGH, and of the consequences in the eastern tropical Pacific has been accomplished through use of only sea surface salinity, precipitation, atmospheric pressure at sea level, and surface wind data, and some of these were in the form of averages over rather large areas. Thus the analysis could be improved in at least three ways:

a) A detailed analysis of the windfield in the eastern tropical Pacific, based on a data summary by months and by one- or two-degree squares of latitude and longitude would better elucidate the advances and retreats of the ITCZ at sea level, and the mid-year development of northeasterly air flow offshore from Central America. Such a data summary does not exist at present.

b) That distributions of sea level pressure in the tropics can be useful in a description of seasonal change is one of the main points of this paper. At present there is no sea level pressure summary by months and by areas as small as two-degree squares for the eastern tropical Pacific. From such a summary it would be possible to determine seasonal changes in more detail than has been described here, and, together with a), lead to greater knowledge of the relationship of surface winds to pressure gradients in the tropics.

c) Changes in atmospheric circulation, humidity, etc., occur well up in an air column as well as at sea level, although not necessarily simultaneously. Therefore study of all available upper air data from the general area of the eastern tropical Pacific would provide more information on the annual cycle of meteorological events that influence the oceanography of the region.

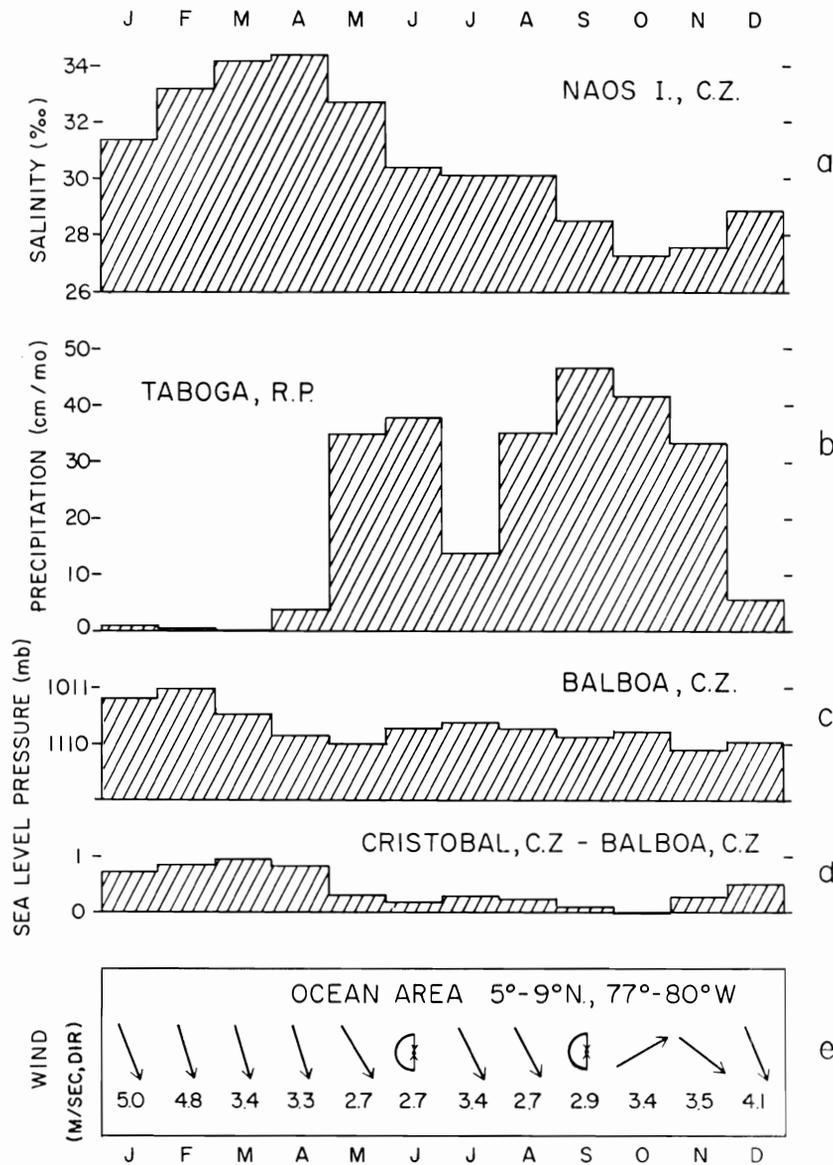


FIGURE 1. Monthly-mean values of meteorological and oceanographic variables at or near the Isthmus of Panama; a) surface salinity (‰) at Naos Island, Canal Zone, 1949-60 (U. S. Dept. of Commerce 1962); b) precipitation (cm/mo) at Taboga, Panama, 13-year record (U. S. Dept. of Commerce 1948); c) sea level air pressure (mb) at Balboa, Canal Zone, 1931-62 (*en* Roden 1963); d) sea level air pressure difference (mb) between Cristobal and Balboa, Canal Zone, 1931-62 (*en* Roden 1963); and e) mean surface wind speed (number, knots) and most commonly observed wind direction (arrows, °T) in ocean area 5°-10°N, 75°-80°W, Pacific Ocean data only, 1881-1933 (U. S. Dept. of Commerce 1948).

FIGURA 1. Valores medios mensuales de las variables meteorológicas y oceanográficas en el Istmo de Panamá o en sus cercanías; a) salinidad superficial (‰) en la Isla Naos, Zona del Canal, 1949-60 (U. S. Department of Commerce 1962); b) precipitación (cm/mes) en Taboga, Panamá, récords de 13 años (U. S. Department of Commerce 1948); c) presión del aire al nivel del mar (mb) en Balboa, Zona del Canal, 1931-1962 (*en* Roden 1963); d) diferencia de la presión del aire al nivel del mar (mb) entre Cristóbal y Balboa, Zona del Canal, 1931-62 (*en* Roden 1963); y e) velocidad media del viento de superficie (los números indican los nudos) y la dirección de los vientos observada mas corrientemente (flechas °C) en el área oceánica 5°-10°N, 75°-80°W, datos del Océano Pacifico solamente, 1881-1933 (U. S. Department of Commerce 1948).

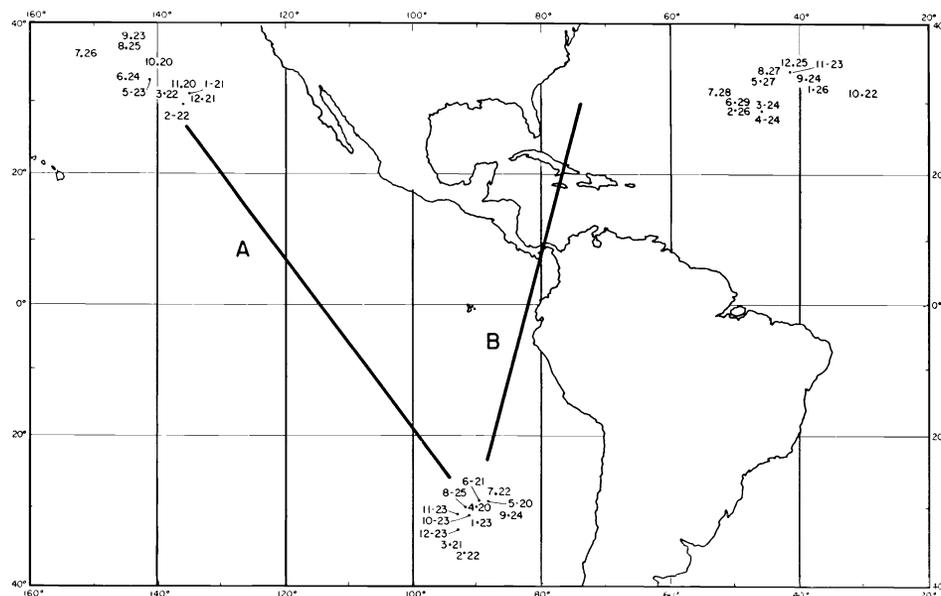


FIGURE 2. Monthly-mean position of, and pressure at, the center of three permanent anticyclones. Each dot is the position of the center; the number to the left is the month, and that to the right is the sea level pressure minus 1000 millibars. Along lines A and B the pressure distributions of Figures 3 and 4 were determined.

FIGURA 2. Posición media mensual de, y presión en el centro de tres anticiclones permanentes. Cada punto es la posición del centro; el número a la izquierda es el mes y el de la derecha es la presión al nivel del mar menos 1000 milibares. A lo largo de las líneas A y B fueron determinadas las distribuciones de la presión de las Figuras 3 y 4.

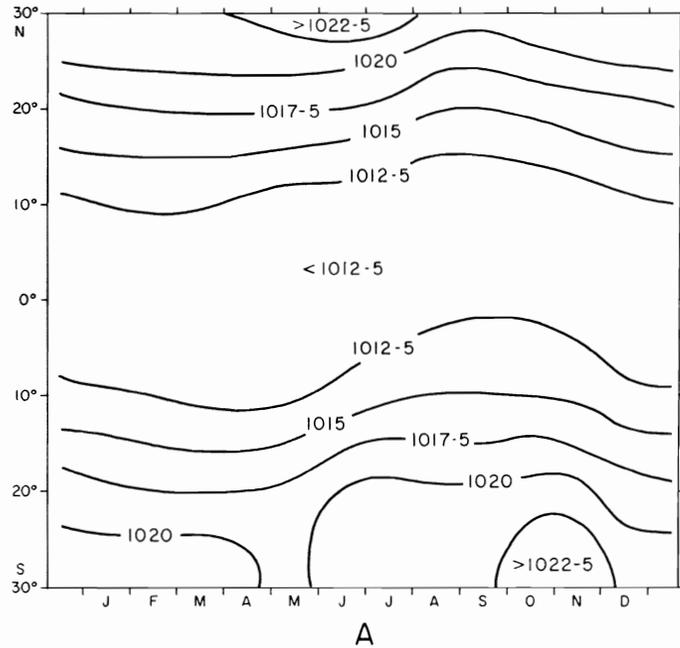


FIGURE 3. Time-latitude plot of sea level pressure (mb) between the North and South Pacific HIGHS (Line A of Figure 2).

FIGURA 3. Gráfica de la relación tiempo-latitud de la presión al nivel del mar (mb) entre las Células de Alta Presión del Pacífico Norte y del Pacífico Sur (Línea A de la Figura 2).

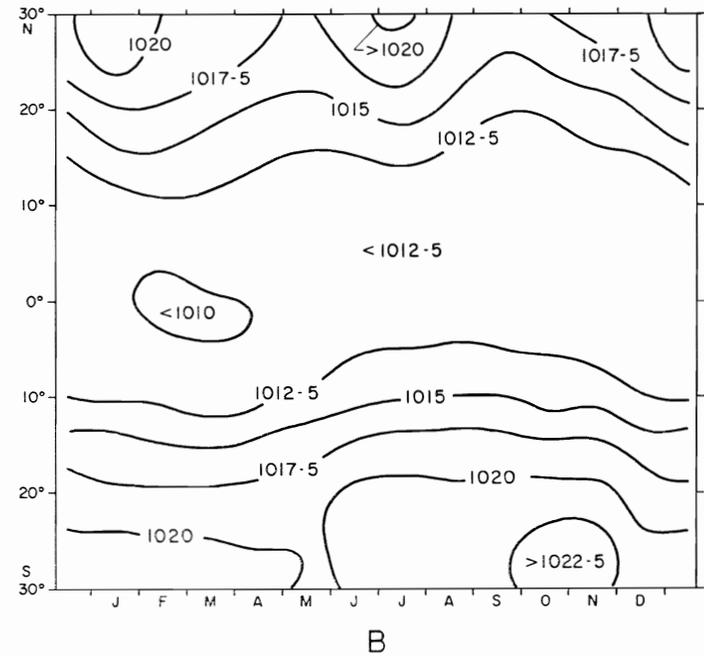


FIGURE 4. Time-latitude plot of sea level pressure (mb) between the South Pacific HIGH and a position north of Cuba (Line B of Figure 2).

FIGURA 4. Gráfica de la relación tiempo-latitud de la presión al nivel del mar (mb) entre la Célula de Alta Presión del Pacífico Sur y una posición al norte de Cuba (Línea B de la Figura 2).

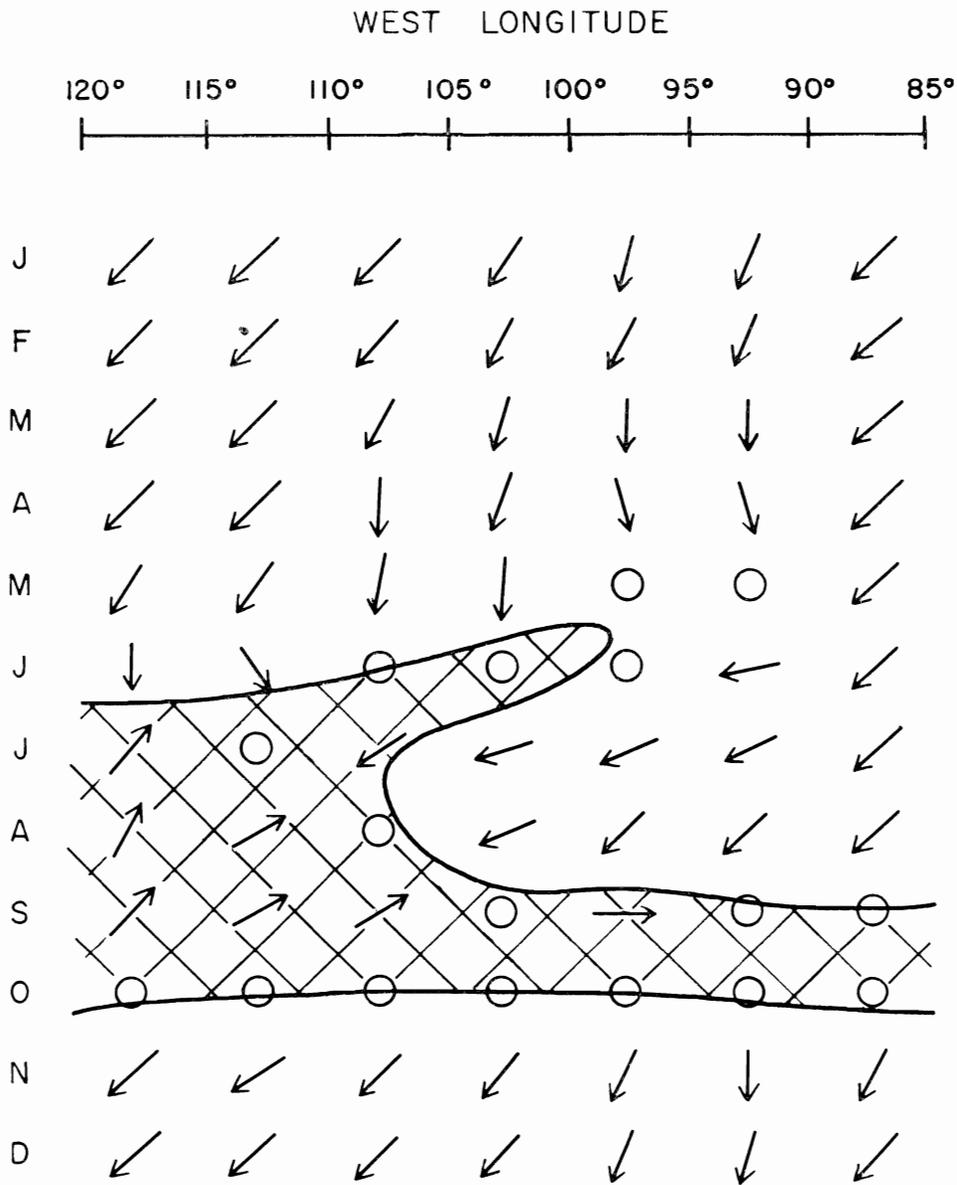


FIGURE 5. Most commonly observed wind direction in five-degree squares by month for the area 10°-15°, 85°-120°W. Circles denote two or more directional modes. The hatched area includes all data showing a well-defined southwesterly mode.

FIGURA 5. La dirección de los vientos observada más corrientemente, en cuadrados de cinco grados, por meses, correspondiente al área de 10°-15°, 85°-120°W. Los círculos indican dos o más modos direccionales. El área de emisión incluye todos los datos que muestran un modo bien definido del sudoeste.

TABLE 1. Percentages of observations, reporting precipitation in five-degree squares at 10°-15°N

TABLA 1. Porcentajes de las observaciones, que reportan la precipitación por cuadrados de cinco grados en los 10°-15°N

	WEST LONGITUDE — LONGITUD OESTE						
	115-120	110-115	105-110	100-105	095-100	090-095	085-090
January	30	14	10	2	1	0	1
February	31	35	13	0	4	1	1
March	23	8	1	1	0	0	0
April	16	14	5	4	2	2	4
May	20	19	12	6	10	13	20
June	27	25	22	30	24	22	21
July	39	31	34	26	23	18	14
August	42	35	28	26	22	18	17
September	43	28	35	37	26	23	25
October	40	23	21	18	19	22	25
November	41	28	14	8	3	4	6
December	27	28	11	4	2	0	2

Source—Fuente: H. O. 531 (1948) and/y H. O. 532 (1949)

**INFLUENCIA DE LA CELULA DE ALTA PRESION DE LAS AZORES
SOBRE LA PRESION AL NIVEL DEL MAR Y EL VIENTO,
Y SOBRE LA PRECIPITACION, EN EL OCEANO
PACIFICO ORIENTAL TROPICAL**

por

Edward B. Bennett¹

EXTRACTO

La intensificación de la célula de alta presión de las Azores a mediados del año, y la corriente de aire concomitante que entra al Pacífico procedente del Caribe, se demuestra que es la causante de un mínimo secundario de precipitación observado a lo largo de la costa tropical de las Américas en el Pacífico y que tiene un efecto mensurable sobre el viento y la precipitación varios cientos de kilómetros mar afuera.

INTRODUCCION

Al resumir los resultados de los estudios ambientales del atún, dirigidos a la descripción, conocimiento y predicción de los cambios en su distribución y abundancia, Blackburn (1965) anota que en varias épocas los atunes se han extendido más o menos que lo usual hacia los polos, como resultado de temperaturas marinas anormalmente altas o bajas en el Pacífico oriental. Señala que estos cambios han estado relacionados con las diferencias en los gradientes de la presión atmosférica en el nivel del mar y con cambios simultáneos en la zona del viento, que se considera afectan las temperaturas del mar por sus efectos en la circulación horizontal y en el afloramiento. Resulta claro, en consecuencia, que la investigación del ambiente del atún en el Pacífico oriental debe incluir el estudio de la meteorología de la región. A su vez, la descripción de las condiciones meteorológicas normales o corrientes y de los ciclos estacionales es un prerrequisito para el conocimiento y la predicción.

La climatología de los trópicos americanos, en los que el año está dividido en períodos húmedos y secos, es de tal naturaleza, que poco se habla de estaciones excepto con relación a la lluvia. La estación lluviosa es la más larga; dura generalmente de mediados de abril a mediados de diciembre. Sin embargo, a lo largo de la costa del Pacífico, hay un mínimo secundario pronunciado, de precipitación en julio o agosto, observado en todas las localidades, del ecuador hacia el norte, hasta Acapulco, México (U. S. Department of Commerce, 1945, 1948, 1949). Este período lluvioso menos intenso es debido a un breve fortalecimiento de la célula de alta presión de las Azores en el Atlántico, y a una invasión concomitante de la región centroamericana entera por los vientos alisios del noreste; la humedad en estos vientos, sin embargo, es eliminada en gran escala, de la

¹ Dirección actual: University of Hawaii, Honolulu, Hawaii

costa del Pacífico, por las altas cordilleras del área (U. S. Department of Commerce 1948). Peterson (1960) notó este efecto al examinar la climatología del Golfo de Nicoya, Costa Rica.

El propósito de este informe es triple: 1) documentar la influencia de la Célula de Alta Presión de las Azores en el área de la República de Panamá; 2) demostrar las relaciones existentes entre las observaciones locales en Centroamérica y las características meteorológicas en una escala esencialmente global; y 3) delimitar la extensión en que la influencia de la Célula de Alta Presión de las Azores puede determinarse cerca a la costa en el Pacífico oriental tropical.

EL VERANITO DE SAN JUAN

En la Figura 1 han sido graficadas las distribuciones medias mensuales de diversas variables oceanográficas y meteorológicas observadas en el Istmo de Panamá o en sus cercanías. La salinidad en la Isla Naos, Zona del Canal, es máxima en el periodo marzo-abril cuando es superior a 34 ‰, y mínima en octubre-noviembre cuando es inferior a 28 ‰. La tasa de disminución de la salinidad entre abril y octubre no es, sin embargo, constante, porque en julio y agosto los valores mensuales promedio son los mismos. Esta distribución anual de la salinidad es típica de todas las localidades costeras desde Tumaco, Colombia (1°50'N, 78°44'W) hasta Acapulco, México (16°51'N, 99°55'W). En algunos lugares la salinidad disminuye durante el período julio-agosto, pero menos rápidamente que en el de mayo-junio o en el de septiembre-octubre. En otros lugares, la salinidad en agosto alcanza un máximo secundario.

Que la salinidad en Balboa está fuertemente influenciada por la precipitación en el área, lo demuestra la comparación con el récord de las lluvias en Taboga, Panamá (Figura 1b). Los dos máximos de lluvia en junio y septiembre cuentan en las reducciones observadas en la salinidad durante esos meses. La interrupción de la disminución de la salinidad en julio y agosto corresponde al mínimo secundario de precipitación que ocurre en ese período.

En la América Central la estación húmeda o lluviosa es llamada invierno mientras que la estación seca es llamada verano. Es lógico, entonces, que la interrupción de medio año en la época lluviosa sea llamada "pequeño verano" y, realmente, en Panamá este fenómeno es llamado El Veranito de San Juan (comunicación personal de la Sra. Fulvia Barrett). En las poblaciones que rodean la ciudad de David, en el oeste de Panamá, la Fiesta del Veranito de San Juan se celebra en julio (comunicación personal de E. L. Díaz). Como la distribución estacional de la precipitación en la Isla Taboga es similar a la de 3000 km de la costa del Pacífico de la América del Sur, Central y del Norte (U. S. Department of Commerce 1945, 1948, 1949) queda claro que El Veranito de San Juan es una observación local de un fenómeno ampliamente extendido.

PROXIMIDAD DE LA CONVERGENCIA INTERTROPICAL

Los climas del océano ecuatorial están dominados por lluvias conductivas desprendidas de densas masas de nubes cumuliformes asociadas con la convergencia de los vientos alisios de los dos hemisferios (e.d. von Arx 1962), o sea, con la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). En el área del Panamá *Bight* y en la región oceánica contigua, la presencia de los vientos del norte al principio y al final del año, y de vientos variables o del sudoeste durante el resto del año (e.d. Schaefer, Bishop y Howard, 1958) demuestra que la ZCIT se desplaza hacia el sur al comienzo del año y hacia el norte a mediados del año. La ZCIT está asociada con el eje esencialmente característico de la zona de baja presión a través de la cual se extiende por todo el Océano Pacífico, aunque generalmente queda al norte de dicho eje. Así, en cualquier punto dentro de la ZCIT, la presión del aire al nivel del mar es más alta hacia el norte y más baja hacia el sur.

La comparación de la variación anual de la presión del aire al nivel del mar en Balboa (Figura 1c) con la de la precipitación en Taboga, Panamá (Figura 1b), demuestra que, en general, la presión alta corresponde a la baja precipitación, y la baja presión a la precipitación alta. Sin embargo, no hay una exacta relación inversa. Un medio mejor para pronosticar las lluvias en el área, es la diferencia en la presión al nivel del mar entre Cristobal, Zona del Canal, y Balboa (Figura 1d). Esta diferencia puede ser considerada como una medida del gradiente meridional de la presión atmosférica en el área. Cuando la diferencia es máxima (marzo) la región es invadida por los vientos más secos procedentes del norte y la precipitación llega al mínimo; y cuando la diferencia es de casi cero, pero todavía positiva (septiembre) la ZCIT está en el área y la precipitación llega a su máximo. En vista de las observaciones del párrafo anterior, la pequeña diferencia negativa en octubre se interpreta como debida al movimiento de la ZCIT ligeramente al norte del área.

Debe notarse que los datos medios mensuales correspondientes a las lluvias, al gradiente de la presión y a la velocidad de los vientos (Figura 1b, d y e, respectivamente) forman una serie consistente. Cuando la diferencia de la presión es grande, la precipitación (lluvias) es baja y los vientos de norte a noroeste son fuertes; los dos máximos de la precipitación, en junio y septiembre, se registran cuando la diferencia de la presión está cerca a cero, pero todavía positiva, y el viento es débil y variable, lo que indica la presencia de la ZCIT. El único mes en que el viento sopla generalmente en cualquier dirección menos del noroeste, es octubre, cuando la presencia del viento oestesudoeste indica que la ZCIT está al norte de la región.

Con respecto al Veranito de San Juan, el mínimo relativo de precipitación marcado en julio, está asociado con los correspondientes máximos relativos a la presión al nivel del mar y el gradiente de la presión, y con el retorno de las condiciones de los vientos del norte al noroeste (Figura 1). Es claro que el primer máximo de precipitación en el período mayo-junio se debe a un avance, desde el sur de la ZCIT, hasta aproximadamente la

latitud del Istmo de Panamá; que el Veranito de San Juan es debido a un rápido retiro hacia el sur, de la ZCIT durante julio; y que el máximo mayor de precipitación en el período septiembre-octubre es debido a otro avance de la convergencia hasta el Istmo y pasado éste. Estos avances y retiros de la ZCIT divergen considerablemente del movimiento estacional descrito por Crowe (1951), pero pueden ser plenamente explicados cuando se consideran procesos de mayor escala.

CENTROS PERTINENTES DE CARACTER PERMANENTE DE LA ALTA PRESION ATMOSFERICA

En el Océano Pacífico, dos anticiclones permanentes influyen en las condiciones en el Pacífico oriental tropical. Una es la Célula de Alta Presión del Pacífico Norte centrada, en promedio, a los 35°N, 140°W, y la otra es la Célula de Alta Presión del Pacífico Sur, cuya posición media está a los 30°S, 90°W (Figura 2). Durante el curso de un año, el centro de cada una cambia de una manera determinable, mientras que la presión máxima aumenta y disminuye. Fueron usados los datos de dos atlas climáticos marinos (Air Ministry 1956 y U. S. Navy, 1959) para deducir las posiciones e intensidades de las dos células de alta presión que han sido graficadas en la Figura 2. La Célula de Alta Presión del Pacífico Norte es la más cercana a Norteamérica en diciembre, la más al sur en febrero, la más lejana al oeste en julio y la más lejana al norte en septiembre. Así, el centro anticiclónico se mueve esencialmente en una elipse con su eje mayor alineado de oeste a noroeste, de una dimensión máxima aproximadamente de 1700 km. De su único mínimo en octubre, la presión en el centro aumenta lentamente durante junio, crece rápidamente hasta el máximo de julio y decae otra vez hasta completar el ciclo. La Célula de Alta Presión del Pacífico Sur es relativamente invariable en posición. Está en el punto más septentrional en julio, más cercano a la costa en septiembre, y en el punto más meridional y a corta distancia de la costa en febrero y marzo. La distancia entre los extremos de su posición en julio y en el período febrero-marzo, medida a lo largo de una línea de norte a nordeste, es de unos 800 km, o más o menos la mitad de la distancia de la Célula de Alta Presión del Pacífico Norte. En el ciclo anual de la presión media mensual, en el centro de la Célula de Alta Presión del Pacífico Sur, el mínimo ocurre en abril-mayo, el máximo en agosto.

La distribución de la presión a lo largo de la línea A en la Figura 2 fue graficada como función del tiempo (Figura 3). La combinación de la intensificación y el debilitamiento y el cambio de los centros de la célula de alta presión, da como resultado una suave oscilación anual de la concavidad de la presión baja entre ellos. El eje de la concavidad y consecuentemente por implicación de la ZCIT está en el punto más meridional en marzo y en el punto más septentrional en septiembre. A causa de la aparente regularidad de la oscilación anual de la ZCIT, según se determina por estos datos, la corta estación seca de la costa del pacífico de las

Américas no puede ser atribuida a una interacción entre las dos células permanentes de alta presión del Pacífico. En consecuencia, una es llevada naturalmente a una consideración del siguiente anticiclón permanente más cercano, que es la Célula de Alta Presión de las Azores del Atlántico Norte.

En la Figura 2 se presentan la posición y la presión en el centro de la Célula de Alta Presión de las Azores, según ha sido determinada por los excelentes atlas publicados por el Koninklijk Nederlandsch Meteorologisch Instituut (1918, 1922, 1926, 1931). La posición media del centro de esta característica está más o menos a los 30°N y 45°W, un punto aproximadamente en la mitad, pero algo al sur, de una línea imaginaria entre las Azores y Bermuda. En diciembre, el centro de la Célula de Alta Presión de las Azores está en el punto más septentrional y cerca de su longitud media. En la primera parte del año, el centro se mueve hacia el sudoeste hasta la posición sudoeste más avanzada en febrero, y se retira ligeramente hacia el este durante marzo y abril. Entonces cambia hacia el norte hasta alcanzar la posición de mayo y hacia el sudoeste y el oeste, hasta la posición occidental más avanzada en julio. Después de esto, el centro se mueve rápidamente hacia el este unos 2000 km hasta la posición más oriental en octubre, de la cual retorna a la posición septentrional más avanzada de diciembre. La distribución anual de la presión en el centro anticiclónico registra dos máximos y dos mínimos, en vez de un solo máximo y mínimo de sus contrapartes en el Pacífico. El máximo inferior ocurre en el período enero-febrero, mientras que el máximo superior se registra en junio-julio. Los dos mínimos son en el periodo marzo-abril (inferiores) y en octubre-noviembre (superiores). En consecuencia, en las épocas de máxima presión, el centro de la Célula de Alta Presión de las Azores está relativamente cerca del Caribe, mientras que el mínimo superior aparece cuando la célula de alta presión está más alejada hacia el oriente. La posición del centro durante el mínimo inferior del periodo marzo-abril, es en realidad una posición menos extrema hacia el este, aun cuando al oeste de la longitud media anual de la característica.

La gráfica de la distribución latitudinal de las isobaras a lo largo de la línea B de la Figura 2 muestra claramente el efecto de los extremos biannuales en la intensidad y posición hacia el oeste de la Célula de Alta Presión de las Azores y las indicaciones de la interacción entre ésta y la Célula de Alta Presión del Pacífico Sur (Figura 4). A los 10°N, la presión alcanza su punto más alto en el período febrero-marzo, cuando la Célula de Alta Presión de las Azores y la del Pacífico Sur están en su posición más meridional, y cuando la primera alcanza su máximo inferior en intensidad. (Debe observarse aquí que, además de la proximidad de la Célula de Alta Presión de las Azores, el área continental de alta presión, que se extiende sobre la parte sudoriental de los Estados Unidos durante el invierno del norte, también influye en la alta presión a los 10°N en esa época). En la misma latitud la presión es relativamente mínima en el período mayo-junio, en una época que justamente sigue a la aparición del

mínimo inferior de la Célula de Alta Presión de las Azores, y cuando la Célula de Alta Presión del Pacífico Sur está avanzando hacia el norte. La rápida intensificación de la Célula de Alta Presión de las Azores hacia el máximo del período junio-julio es la causante del máximo secundario de la presión a los 30°N, que ocurre a principios de julio, y del máximo inferior a los 10°N, a fines de julio. Tal vez el avance hacia el sur de las isobaras sería mayor si la Célula de Alta Presión del Pacífico Sur no estuviera en su posición más septentrional en aquella época. El rápido debilitamiento y el movimiento hacia el este de la Célula de Alta Presión de las Azores, entre julio y octubre, influye en la presión mínima pronunciada a los 10°N, en octubre.

Como la ZCIT queda al norte de la concavidad de la baja presión, su posición varía de acuerdo con la de la isobara superior de 1012.5 mb en la Figura 4. En consecuencia, la ZCIT está en el punto más meridional en febrero, está cerca de los 10°N durante el período mayo-junio, es empujada hacia el sur durante julio, y alcanza su posición más septentrional en octubre. Esto coincide enteramente con los datos presentados en la Figura 1 y conduce por lo tanto, a la conclusión de que El Veranito de San Juan, un nombre local para un fenómeno observado localmente, es debido a la interacción entre o en medio de características de una escala esencialmente global.

GRADO DE INFLUENCIA DE LA CELULA DE ALTA PRESION DE LAS AZORES EN EL OCEANO PACIFICO ORIENTAL TROPICAL

Que la época corta de sequía no está limitada a la región del lado del Pacífico del Istmo de Panamá es asunto que ha sido considerado antes en este trabajo. Sobre la base del análisis hecho hasta ahora, esto podría esperarse actualmente, porque cuando la Célula de Alta Presión de las Azores está en el punto más occidental, en julio, igualmente está la Célula de Alta Presión del Pacífico Norte, y puede esperarse, *a priori*, algún efecto de esta condición extrema en toda el área entre ambas. Lo que ahora falta por determinar es hasta dónde puede seguirse este efecto hacia el oeste de las Américas.

Este puede determinarse, en parte, al examinar la Figura 5, que es una gráfica de la dirección de los vientos observada más corrientemente, por meses, en cada cuadrado de cinco grados de la franja zonal de 10°-15°N, 85°-120°W. Se dibujaron círculos en vez de flechas en aquellos casos en que habían dos o más modos direccionales. El área de emisión incluye todos los datos en los que el viento del sudoeste, que se encuentra al sur de la ZCIT, era dominante o por lo menos alcanzaba un máximo secundario. Así que dicha área indica que la ZCIT está en o al norte de aproximadamente los 12.5°N de esa latitud, que es la latitud media de la franja zonal. Durante el período de seis meses, comprendido de noviembre a abril, el viento corre desde el norte a través de toda la franja. Los vientos variables

aparecen primero en mayo, entre los 90° y los 100°W, y progresivamente corren hacia el oeste durante junio, llegando a los 120°W más o menos a fines de este mes. Después del período de vientos variables, predominan los vientos del sudoeste, al oeste de los 115°W, pero corren vientos del este y del noroeste al este de los 110°W. El desarrollo máximo de estos últimos ocurre en julio, lo que indica que son parte de la corriente asociada a la Célula de Alta Presión de las Azores, o sea, que son parte de los vientos alisios del Atlántico Norte que se han esparcido dentro del Pacífico. Estos son reemplazados parcialmente por vientos del sudoeste en agosto y por completo en el período septiembre-octubre. A esto sigue el retorno uniforme a las condiciones del viento septentrional en noviembre.

Con respecto a la presencia o ausencia de la ZCIT, la Figura 5 sugiere: que dicha zona se mueve primero hacia el norte, dentro del área, en época tan temprana como el comienzo de junio, cerca de los 100°W, y a fines de este mes a los 120°W; que al este de los 110°W (más o menos) es movida hacia el sur por la corriente noreste de la Célula de Alta Presión de las Azores en julio y en agosto; y que vuelve a ocupar el área entera en el período septiembre-octubre. En correspondencia, el ciclo anual de la precipitación debe registrar un máximo doble alrededor de los 110°W y un solo máximo al oeste de esa longitud. Que éste es realmente el caso, puede verse en la Tabla 1 en la que aparecen los porcentajes de las observaciones, en cada cuadrado, que dan cuenta de la precipitación. (El máximo secundario que se registra durante febrero, al oeste de los 110°W, no está relacionado con la presencia de la ZCIT y no debe ser considerado en este análisis).

La influencia de la Célula de Alta Presión de las Azores en los datos cercanos a la costa, en la franja de cinco grados de los 15° a los 20°N, es intermedia. Hacia el sur, sin embargo, su influencia puede ser seguida hasta la franja de los 5° a los 10°S en la que, entre la costa y los 90°W, los vientos constantes del sureste tienen un máximo doble en velocidad. El primero y menor ocurre en el período mayo-junio, cuando la ZCIT ha hecho su primer avance hacia el norte, y el segundo y superior en septiembre, cuando la ZCIT está casi en su posición más septentrional (U. S. Department of Commerce 1945).

OBSERVACIONES FINALES

El desarrollo del cuadro de la interacción entre las Células de Alta Presión del Pacífico Norte y del Pacífico Sur y la Célula de Alta Presión de las Azores, y de las consecuencias en el Pacífico oriental tropical ha sido determinado solamente mediante el uso de los datos de la salinidad de la superficie del mar, de la precipitación, de la presión atmosférica al nivel del mar y de los vientos de superficie, y algunos de estos datos eran solo promedios en áreas bastante grandes, por lo que el análisis podría mejorarse por lo menos de tres modos:

a) Un análisis detallado de la zona del viento en el Pacífico oriental tropical, basado en un resumen de los datos por meses y por cuadrados de uno o de dos grados de latitud y de longitud, explicaría mejor los avances y retrocesos de la ZCIT al nivel del mar y el desarrollo de medio año de la corriente de aire del noreste cerca a la costa, de Centroamérica. No existe por el momento tal resumen de datos.

b) Que las distribuciones de la presión al nivel del mar en los trópicos puede ser de utilidad en la descripción del cambio estacional, es uno de los puntos principales del presente estudio. Hasta ahora no hay un resumen de la presión al nivel del mar, por meses y por áreas tan pequeñas como los cuadrados de dos grados, para el Pacífico oriental tropical. Un resumen como el indicado de los cambios estacionales con mayor detalle que el expuesto aquí, y junto con lo establecido en el punto a), conduciría a un mejor conocimiento de la relación de los vientos de superficie con los gradientes de presión en los trópicos.

c) Los cambios en la circulación atmosférica, en la humedad etc., ocurren a buena altura en una columna de aire, tanto como al nivel del mar, aunque no necesariamente de modo simultáneo. En consecuencia, el estudio de todos los datos de la atmósfera superior en el área general del Pacífico oriental tropical, proporcionaría más información sobre el ciclo anual de los fenómenos meteorológicos que tienen influencia en la oceanografía de la región.

LITERATURE CITED — BIBLIOGRAFIA CITADA

- Air Ministry. 1956. M. O. 518. Monthly meteorological charts of the Eastern Pacific Ocean, London, 122 p.
- Blackburn, M. 1965. Oceanography and the ecology of tunas. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, (3): 299-322.
- Crowe, P. R. 1951. Wind and weather in the equatorial zone. *Inst. of Brit. Geographers, Trans. and Papers*, No. 17, London, 76 p.
- Koninklijk Nederlandsch Meteorologisch Instituut. 1918. Oceanografische en Meteorologische Waarnemingen in den Atlantischen Ocean [in Dutch and French]. Kaarten. December, Januari, Februari. 1870-1914.
- _____. 1922. *Ibid.*, Maart, April, Mei, 1856-1920.
- _____. 1926. *Ibid.*, Juni, Juli, Augustus, 1870-1922.
- _____. 1931. *Ibid.*, September, October, November, 1870-1925.
- Peterson, C. L. 1960. The physical oceanography of the Gulf of Nicoya, Costa Rica, a tropical estuary [in English and Spanish]. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.* 4(4): 137-216.
- Roden, G. I. 1963. Sea level variations at Panama. *J. Geophys. Res.*, 68(20): 5701-5710.
- Schaefer, M. B., Y. M. M. Bishop and G. V. Howard. 1958. Some aspects of upwelling in the Gulf of Panama [in English and Spanish]. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 3(2): 77-132.
- U. S. Department of Commerce, Weather Bureau. 1945. Weather summary, South America, northern and northwestern part. H. O. Publ. No. 528, Washington, 166 p.
- _____. 1948. Weather summary, Central America. H. O. Publ. No. 531, Washington, 166 p.
- _____. 1949. Weather summary, Mexico. H. O. Publ. No. 532, Washington, 220 p.
- _____. 1952. Normal weather charts for the northern hemisphere. Technical Paper No. 21, Washington.
- U. S. Navy. 1959. Marine climatic atlas of the world. Vol. 5. South Pacific Ocean. Washington.
- Von Arx, W. S. 1962. An introduction to physical oceanography. Addison-Wesley, Reading, Mass. 422 p.