BOLETIN

de la Compañía Administradora del Guano

olumen XXXIII Octubre, 1961 No. 10

BOLETIN

de la Compañía Administradora DEL GUANO

DIRECTOR:
Ing. Jefe General del Departamento Técnico

Comité de Redacción y Administración:
Personal del Departamento Técnico

VOL. XXXVII | OCTUBRE, 1961 | Nº 10

SUMARIO

PORTADA:

PUNTA ETEN.—(Rinconazo). Foto: Ingº E. Gaínza B.

AGRICULTURA GENERAL:

LA INFLUENCIA DE LA COLOCACION DEL FERTILIZANTE EN EL CRECIMIENTO DE LA ALFALFA, Por Loy V. Crowder, Guy B. Baird y Jaime Venegas A. (De: Agricultura Tropical, Vol. XIV, Nos. 11-12, Bogotá Nov.-Dic. 1956).

EL USO DE FERTILIZANTES EN LAS HUERTAS MANZANERAS. Por Agr. Víctor M. Mendoza. (De: El Campo, T. XXVI Nº 831, México, Mayo de 1961).

BIOLOGIA MARINA:

ESTUDIO DE "EL NIÑO" BASADO EN EL ANALISIS DE LAS TEMPERATURAS DE LA SUPERFICIE DEL OCEANO DE 1935-57. Por Jacob Bjerknes (De: Comisión Interamericana del Atún Tropical, Bol. Vol. V. Nº 3, La Jolla 1961). (Continuación).

Este BOLETIN se publica MENSUALMENTE.

Su objeto principal es DIFUNDIR Y VULGARIZAR LOS PRINCIPIOS QUE DEBEN REGIR EN EL MEJOR CONOCIMIENTO DEL SUELO así como el ABONAMIENTO REQUERIDO y todo lo que sea de interés para el agricultor del país.

Su distribución es GRATUITA entre todos los AGRICULTORES — Teléfono 72510
ZARATE 455 — CASILLA 2147, LIMA

Estudio de "El Niño" basado en el análisis de la temperatura de la superficie del océano de 1935-37

por: Jacok Bjerknes

Profesor de Meteorolgía de la U.C.L.A.

(De: Comisión Interamericana del Atun Tropical, Bol. Vol. V, Nº 3, La Jolla 1961). (Continuación).

MAPAS ESTACIONALES DE LA TEMPERATURA DE SUPERFICIE DEL PACIFIC ORIENTAL CORRESPONDIENTES AL PERIODO 1935-57

La parte del Océano Pacífico Oriental Tropical que ha sido objeto de investigación tiene un buen registro de mediciones de la temperatura de superficie a lo largo de las rutas de los barcos comerciales desde Panamá hasta Costa Rica; el registro es menos completo a lo largo de las costas de Colombia, Ecuador y Perú, y aún mucho más pobre con respecto al mar abierto, particularmente al sur del ecuador. A fin de establecer una razonable y digna de confianza distribución general por áreas de la temperatura de superficie para el período 1935-57, fué necesario agrupar los datos dentro de cada una de las cuatro estaciones. Aún así, los totales de las mediciones correspondientes a cada estación (graficadas en las Figuras 11-14) se mantienen bastante bajos en muchos de los cuadrados de dos grados sobre el mar abierto. Los años, individualmente, están también representados en forma dispareja, habiendo quedado los del período 1940-46 casi desprovistos de datos en muchos lugares. Por esta razón no se puede dar igual valor a cada año. Los promedios graficados son simplemente la media aritmética de todas las mediciones individuales durante el período 1935-57, correspondiente a cada estación dentro de cada cuadrado.

A pesar de estos defectos obvios, los mapas presentados en las Figuras 11-14 parecen dar un cuadro coherente de algunas nuevas caractesística en la distribución de la temperatura que no pueden verse en los atlases estándar de la "Hydrographic Office, Washington, D.C.", y de la "Meteorological Office, London".

Comenzando con el invierno del sur, junio-julio-agosto (Figura 11), vemos el agua fría peruana conectarse con el agua fría ecuatorial en las Islas Galápagos. Aguas ligeramente tibias son halladas al sur y al suroeste de las islas Yaguas mucho más caliente se encuentran al norte del ecuador. La primavera del sur, septiembre-octubre-noviembre (Figura 12), muestra escencialmente el mismo cuadro, pero el área de aguas frías presenta una temperatura aún más baja con diferencia de varios grados. El grupo de isotermas muy

cercanas entre sí, a lo largo del ecuador, muestra los débiles comienzos de una invasión de agua cálida en los 87º W. Esta invasión de agua cálida procedente del hemisferio norte se extiende hacia el sur, como puede apreciarse en el siguiente mapa (Figura 13) que corresponde al período diciembre-enero- febrero, separando por completo los regímenes de agua fría del Perú y de las Galápagos. La estación siguiente, marzo-abril-mayo (Figura 14), presenta lo que probablemente es una deriva con dirección oeste del agua cálida que invade la región al sur de las Galápagos. Simultáneamente gana en anchura el agua fría peruana.

La invasión de agua cálida del hemisferio norte al hemisferio sur, justamente al este de las Islas Galápagos, es la principal característica nueva de nuestros mapas, que no mostraban los mapas de los atlases anteriores. Para proporcionar un adicional registro descriptivo de ese fenómeno, se han preparado los mapas de las Figuras 15-18 con los cambios de temperatura de una estación a otra.

El cambio del período junio-julio-agosto al período septiembre-octubre-noviembre (Figura 15) es negativo en cualquier parte de la faja ecuatorial, excepto en el cuadrado de dos grados entre el 1º S. y los 87º W., en donde acaba de comenzar la invasión de agua cálida desde el norte. El cambio del período septiembre-octubre-noviembre al período diciembre-enero-febrero (Figura 16) en el hemisferio sur es positivo en todas partes, pero no tan geográficamente uniforme como habría sido por el solo proceso de calentamiento **in situ**. El alza máxima de temperatura que alcanzó 11º F. frente al norte del Perú a la altura de los 5º S. indica probablemente un efecto más de la advección de agua cálida, con procedencia presumiblemente de la invasión transecuatorial. Otro calentamiento máximo de 8º F. es observado al suroeste de las Galápagos, debido posiblemente a lo que puede ser considerado como una aparición de verano de una contracorriente surecuatorial. El lugar del alza máxima de temperatura en los 3º S. concuerda con la anchura observada, 0º -4º S., de una subcorriente geostrófica con dirección este mencionada al final del capítulo precedente. También coincide con la supuesta debilidad de los vientos alisios en el tiempo del verano, lo que permite el flujo de superficie con dirección este durante un corto período.

El calentamiento que se muestra en la Figura 16, al sur de los 10º S., debe suponerse que en gran parte ha sido producido **in situ** (a menos que en un futuro crucero de investigación aparezca datos que hagan suponer la existencia de otra rama de una contracorriente surecuatorial). El alza de temperatura en la costa peruana habría sido mucho menor de no haber sido por intercambio lateral de calor con el agua más cálida del mar. El alza poco pronunciada de la temperatura costanera, +2.7º F., en los 17º S., es probable que se deba a tal intercambio en proporción comparativamente menor y tal vez a un afloramiento más intensivo que en cualquier otra parte.

El cambio de temperatura en el hemisferio sur durante el período diciembre-enero-febrero a marzo- abril-mayo, según puede verse en el mapa de la Figura 17, es todavía predominantemente positivo, pero se observan cambios negativos en donde se ensancha la Corriente del Perú (frente al norte y sur del Perú, pero no frente a la parte central de la linea costanera). Los cambios de temperatura consistentemente positivos, al sur y al oeste de las Galápagos, podrían ser el resultado del comienzo de una deriva con dirección oeste de la masa de agua cálida del hemisferio norte que cruzó el ecuador al este de las Galápagos durante la primavera y el verano del sur. En la parte occidental también puede participar en este cuadro alguna advección de aguas cálidas provenientes del oeste, y en toda el área de las Galápagos influye también el calentamiento **in situ** en los períodos en que los vientos alisios son débiles.

Finalmente, el mapa del período marzo-abril-mayo a junio-julio-agosto (Figura 18) muestra el estado del más rápido enfriamiento en el hemisferio sur bajo la influencia de los fortalecidos vientos alisios del SE. enfriados por el invierno. El enfriamiento, desde luego, es particularmente intenso en donde ha tenido lugar el precedente calentamiento por advección.

En el anterior análisis de los patrones estacionales de la temperatura de la superficie del mar fuera de la zona de afloramiento en

el Perú, las dos posibilidades existentes del influjo de agua cálida han sido mencionadas a la par. La mejor documentada de ambas parece ser el influjo del norte que comienza en los 87° W. alrededor de agosto o septiembre y que llega a una invasión que se ensancha en las estaciones siguientes de primavera y verano del hemisferio sur. El otro influjo, producido por una hipotética contracorriente surecuatorial entre el ecuador y los 4° S., no tiene firmeza en nuestro análisis debido a la escasez de datos sobre temperaturas al sur y al suroeste de las Islas Galápagos. Los vientos alisios probablemente bloquean el movimiento de ese influjo de agua cálida durante la mayor parte del año, pero existe una posibilidad de que durante un breve período a mediados y fines del verano del hemisferio sur los vientos alisios se amortigüen lo suficiente como para dar acceso al agua cálida del oeste.

Conforme la investigación oceanográfica de la región objeto de nuestro estudio se haga más completa, será posible identificar el origen del agua cálida por su salinidad. El agua cálida procedente del norte del ecuador tiene una salinidad baja causada por la lluvia de la zona de calmas ecuatoriales durante el curso del año, mientras que el agua cálida del hemisferio sur sigue una larga trayectoria mucho menos afectada por la lluvia. Esta investigación, por medio de un computador de la salinidad, ha sido llevada a cabo por científicos del Consejo de Investigaciones Hidrobiológicas a bordo del barco de la flota peruana "Bondy", durante el período de "El Niño" del 24 de febrero al 9 de marzo de 1958 (ver Wooster, 1960). La salinidad de la superficie del océano, medida al norte de los 7° S., se encontró que era tan baja que podía inferirse una mezcla con el agua de baja salinidad procedente de la faja de lluvias de la zona de calmas ecuatoriales al norte del ecuador. Al sur de los 7° S., el origen del agua cálida que llega cerca de la costa puede haber sido en las vecindades de la lengua de aguas calientes fuera de la zona de afloramiento. También Posner (1957) encontró baja salinidad en las aguas de superficie de "El Niño" que avanzaban hacia el sur a lo largo de la costa norte del Perú en marzo y abril de 1953.

Una característica de especial interés que puede apreciarse en la parte norte de los mapas de la temperatura del mar es el enfriamiento de septiembre-octubre-noviembre a diciembre-enero-febrero (Figura 16) en el Golfo de Panamá, en donde el aumento de los vientos del norte produce afloramiento. El enfriamiento causado por los vientos del norte, al sur de la pequeña zona costanera de afloramiento, se extiende casi hasta el ecuador, mientras que, al mismo tiempo, en las mismas latitudes más al oeste, se opera un calentamiento sistemático. El enfriamiento de esta última área, entre las Galápagos y Costa Rica, tiene lugar en la estación opuesta, de marzo-abril-mayo a junio-julio-agosto (Figura 18), con el advenimiento del monzón frío desde el hemisferio sur.

COMPARACION DE LAS TEMPERATURAS DE LA SUPERFICIE DEL MAR PROMEDIADAS POR ESTACIONES, DE 1935 - 57, CON LOS CORRESPONDIENTES PROMEDIOS ESTACIONALES DEL "WORLD ATLAS OF SEA TEMPERATURES" DE LA "HYDROGRAPHIC OFFICE" *

Hablaremos sobre un aumento (o descenso) de temperaturas en la época en que las temperaturas del mar en nuestra compilación son más altas (o más bajas) que las del Atlas de la "Hydrographic Office". En parte, tal "aumento" o "descenso"puede ser debido, desde luego, a registros insuficientes en una o en las dos compilaciones, pero la coherencia de los patrones geográficos de los cambios a que nos referiremos más adelante puede indicar la exsitencia de tendencias reales de calentamiento y enfriamiento.

El invierno del sur (Figura 19) muestra un descenso de temperatura en la zona ecuatorial de las Galápagos hacia el oeste, lo mismo que en casi todas las localidades a lo largo de la costa sudamericana, desde el ecuador hasta los 18° S. La parte restante del área investigada muestra un aumento de temperatura y, en una forma más intensa, en las latitudes cerca de los 10° S.

La primavera del sur (Figura 20) muestra esencialmente las mismas zonas con tendencias a enfriamiento: la faja ecuatorial al oeste de las Galápagos y la costa peruana. El enfrimiento ha sido más general y más fuer-

* Publicación No. 225 (1944).

te que en los meses de invierno. Un aumento en la temperatura todavía prevalece fuera de la zona peruana de afloramiento al sur de los 5° S.

El verano del sur (Figura 21) muestra un enfriamiento más moderado de las aguas ecuatoriales de afloramiento. Mientras el enfriamiento en la costa se limita a una franja angosta frente al norte del Perú, se extiende dentro de un área más ancha alrededor de los 15° S., con indicación de bajas de temperatura de 4° F., cerca de la costa. El aumento de temperatura es intenso fuera del área de afloramiento del norte del Perú, indicando que la invasión estacional de agua cálida del hemisferio sur al este de las Galápagos puede haberse vuelto más pronunciada después de 1935. Ese cambio, de ser real, no ha producido sin embargo un promedio más alto de la temperatura de verano en la costa del Perú.

El otoño del sur (Figura 22) mantiene las mismas características del enfriamiento costanero en aguas ecuatoriales y peruanas, mientras que el calentamiento predomina en mar abierto a la altura del norte del Perú. En las aguas costaneras frente a Ecuador y Colombia, en las que el alza de temperatura predomina en una base anual, la mayor tendencia de calentamiento se manifiesta en la época de marzo a mayo.

Resumiendo, los mapas muestran considerable similitud de una estación a otra en las localidades en las que la temperatura puede marcar tendencias. Consecuentemente, el mapa que presenta las tendencias de la temperatura, correspondiente a la temperatura promedio anual de la superficie del mar (Figura 23), refleja lo que fué encontrado estacionalmente: un descenso de temperatura en las zonas de afloramiento al oeste de las Galápagos y a lo largo de la costa peruana, y un alza en el océano abierto al sur del ecuador. La faja al norte del ecuador, de donde parece que se desprende la contribución de agua cálida, también se calentó un poco.

COMPARACION DE LOS MAPAS DE LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DEL MAR EN UNA TEMPORADA DE "EL NIÑO" CON LOS DE AÑOS NORMALES

Dentro de nuestro período de investigación (1935-57) hubo una secuencia de veranos con las condiciones de "El Niño" a lo largo de la costa del Perú, principalmente en 1938-39, 1939-40 y 1940-41. Las dos últimas de estas tres épocas de "El Niño" presentan una distribución por áreas muy pobre de las temperaturas del mar en el océano abierto debida a las restricciones de la navegación en el tiempo de la guerra. La época 1938-39 tiene también muy pocas mediciones que permitan una segura consideración de los valores, pero no obstante se ha hecho un intento de análisis en las Figuras 24-26. Hemos acudido a los mapas de los promedios estacionales (Figuras 11-14) cuando los datos correspondientes al período 1938-39 aparecían demasiado erráticos.

La primavera del sur en 1938 (Figura 24) mostró la lengua de agua fría que se extiende en la forma usual desde la costa norte del Perú hacia las Islas Galápagos. La máxima agrupación de isotermas al norte de esa lengua de aguas frías se ve en esta ocasión en los 89° W., en donde aparentemente la invasión transecuatorial de agua cálida está lista para empezar.

El verano del sur correspondiente al período 1938-39 (Figura 25) muestra que la resultante lengua de agua cálida está en la superficie cruzando el ecuador en los 87° W., y se extiende sobre un área bastante amplia (si podemos confiar en las pocas y dispersas mediciones de temperatura de que se dispone). La temperatura máxima en los 5° S. y los 85° W., es alrededor de 2° F., más alta que la del agua que atraviesa el ecuador, lo que no es sorpresivo a causa de una capa caliente de poca profundidad que se mueve en la superficie y captura el calor radiativo sobrante sin transmitir mucho del mismo hacia abajo por flujo turbulento.

El otoño del sur en 1939 lleva la lengua de agua cálida hasta su más cercana aproximación a la línea costanera (Figura 26). Las temperaturas tomadas cerca del norte Perú, entre los 4° y 5° S. (Figura 39) dieron un promedio de 75.9° F., un valor que no ha sido igualado en ninguna época posterior, excepto en el reciente "El Niño" de 1958. Las temperaturas del agua más al sur, a lo largo de la ruta costera de los barcos, también subieron varios grados sobre su promedio a largo tiempo, pero las mediciones correspon-

dientes al otoño de 1941 demostraron ser todavía más altas.

Las temperaturas del agua de las estaciones del verano y otoño del sur correspondientes a los años 1935-36, 1936-37 y 1937-38 han sido promediadas en las Figuras 27 y 28 para establecer una comparación con los mapas de "El Niño" a que se hizo referencia anteriormente. También en estos años fríos, la lengua de aguas cálidas que atraviesa el ecuador en los 87° W., aparece en el mapa correspondiente al período diciembre-enero-febrero (Figura 27), muy similar a la que se observa en el promedio a largo tiempo de aquella estación (Figura 13), pero es algo más angosta y menos caliente. Si se establece la comparación con el mapa de "El Niño" del verano del sur (Figura 25) la diferencia es desde luego mayor, tanto en la anchura como en la temperatura máxima de la lengua de aguas cálidas.

Pero la mayor diferencia entre un año de "El Niño" y un año frío se muestra en la estación marzo-abril-mayo. En el promedio del período 1936-38 (Figura 28) la masa cálida desprendida de la lengua de aguas calientes toma la dirección oeste, mientras que en 1939 (Figura 26) llega al punto más cercano de la costa durante el otoño del sur.

CIRCULACION TERMOHALINA TRANSECUATORIAL

La descripción precedente sobre el patrón de las temperaturas de la superficie del mar de una estación a otra y entre los años fríos y los años de "El Niño" apunta la existencia de una circulación termohalina que intercambia el agua a través del ecuador. Se ha encontrado una más amplia información sobre ese fenómeno gracias al Sr. E. B. Bennett, oceanógrafo de la Comisión Interamericana del Atún Tropical, quien ha preparado amablemente la presentación descriptiva de los datos de los dos cruceros cuyos itinerarios aparecen en la Figura 29. Los dos perfiles del océano presentados en las Figuras 30 y 31 cruzan el ecuador casi en el mismo lugar, cerca de los 84° W. Los sondeos en la parte cercana al ecuador fueron hechos por el "Baird" el 15 y 16 de noviembre y por el "Horizon" el 22 del mismo mes y año, 1955.

Al momento inicial, representado por el perfil del "Baird" (Figura 30), la discontinuidad de temperatura que separa las aguas ecuatoriales y las de la Corriente del Perú se puede ver entre el ecuador y el 1° S. En esa corta distancia, la temperatura de la superficie cambia alrededor de 4.3° C. La salinidad aumenta en 0.82 0/00 del lado caliente al lado frío a través de la misma zona limítrofe, contribuyendo también así al contraste horizontal de la anomalía termostérica. Debajo de la termoclina, que está localizada a 45 m. de profundidad, las gradientes horizontales de temperatura, salinidad y anomalía termostérica están en sentido contrario, pero menos pronunciadas.

Las curvas que en la Figura 32 representan el gradiente de la presión horizontal como una función de profundidad han sido obtenidas bajo la suposición de que el gradiente de la presión es cero a 350 m. y 400 m. de profundidad, respectivamente. El gradiente de la presión promediado entre el ecuador y el 1° S., según los datos del "Baird", se mantiene cerca de cero hasta los 150 m.; luego aumenta hasta su máximo valor hacia el norte en la termoclina a 45 m. y regresa hasta el valor máximo opuesto en la superficie del océano.

También en la curva del "Baird", válida entre el ecuador y el 1° N., la dependencia del gradiente de la presión horizontal sobre la profundidad es esencialmente la misma, aunque presenta extremos menores. De todos modos, podemos asumir con seguridad que exactamente en el ecuador debe existir también en la superficie una fuerza por presión de gradiente dirigida hacia el sur,, y una fuerza opuesta, también por presión gradiente, en la termoclina, teniendo ambas fuerzas intensidades intermedias entre las computadas al norte y al sur del ecuador.

Dado tal campo de fuerza en el ecuador, tiene que desarrollarse una circulación transecuatorial. En su parte inferior izquierda, la Figura 32 contiene una escala de los componentes de la velocidad horizontal de esa circulación, alcanzada por descanso después de un período de 10^5 segundos de aceleración constante por la fuerza de presión del gradiente. El mayor valor, una velocidad de 50 cm. sec^{-1} hacia el sur en la superficie, resultaría en

el perfil del "Baird" entre el ecuador y el 1° S., mientras que en el propio ecuador podría esperarse una velocidad algo menor. En ambos lugares, un ligero arrastre del viento producido por el monzón (2-3 en la escala de Beaufort, en promedio) cortaría la velocidad hacia el sur que en el diagrama se ha computado sin relación a la fricción.

Los datos del "Horizon" (Figura 31) demuestra que el flujo de superficie hacia el sur debe de haber continuado durante la semana, desde que el perfil del "Baird" fué hecho. El conjunto de isotermas, inicialmente agrupadas entre el ecuador y el 1° S., ha sido barrido hacia el sur de esta latitud en donde desafortunadamente termina el perfil del "Horizon". Más aún, de acuerdo con la Figura 32, la circulación transecuatorial entre el 1° N. y el 1° S. opera en el mismo sentido que antes y con un aumentado flujo en su volumen. En particular, la subcorriente con dirección norte parece haber ganado en volumen.

Fuera de la franja ecuatorial, limitada aproximadamente por el 1° N. y el 1° S., un razonamiento geostrófico ordinario debe ser reasumido. Consecuentemente, la estructura baroclínica en las Figuras 30 y 31, del 1° N. a los 4° N., es una señal de la existencia de un flujo profundo con dirección oeste, y la baroclinicidad en el mismo sentido en el perfil del "Baird" entre el 1° S. y los 2° S. indica que debe de haber un flujo geostrófico con dirección este. Resumiendo, entonces, el flujo cálido de superficie de la circulación termohalina está alimentado por la Corriente Ecuatorial del este, al norte del 1° N., la que deja al sur del 1° S., dirigiéndise luego hacia la América del Sur. Esto, entre paréntesis, también concuerda con la regla de conservación de absoluta vorticidad que predice la relativa vorticidad anticlónica de los elementos del agua que han cruzado el ecuador, contando, desde luego, con que la vorticidad de la fuerza del viento no actúe con mucha intensidad en el sentido opuesto.

El verdadero movimiento del agua al sur del ecuador en el perfil del "Baird" debe de haber sido bastante complicado. Al sur del antes mencionado flujo geostrófico con dirección este, entre los 2° S. y 3° S., se encuentra un campo de fuerza del flujo geostrófico con dirección oeste y, de los 3° S. a los 4° S., nuevamente un arreglo dinámico para un flujo hacia el este. Este último movimiento hacia el este podría ser, tal vez, un efecto posterior de una anterior erupción de una circulación transecuatorial.

La Figura 33 sumariza la distribución de la temperatura, salinidad y anomalía termostérica en la superficie, con más detalle del que pueden mostrar las Figuras 30 y 31. La salinidad se indica en escala invertida, de modo que los tres elementos están representados por curvas que se levantan hacia el norte, en donde el agua es más caliente, menos salina y posee el mayor volumen específico. El perfil inicial presenta en el punto de inflex'ón cerca de los 0.5° S. un máximum del gradiente termostérico horizontal de alrededor de 250 x 10^{-5} cm^3 gr^{-1} por grado de latitud. El perfil final presenta un gradiente termostérico uniforme de cerca de 75 x 10^{-5} cm^3 gr^{-1} grado de atitud ,extendido desde los 2° N. hasta los 2°45' S. De allí que la producción inicial de energía potencial de agua ligera y pesada, a la par, ha conducido a una revolución termohalina parcial con adquisición de energía kinética (parte de la cual ha sido disipada por el arrastre del viento).

La circulación termohalina transecuatorial de esta clase, ilustrada en los perfiles del "Baird" y los del "Horizon", encuentra condiciones para su desarrollo y crecimiento en donde una zona de concentración de solenoides isobáricos-isotéricos coincide con el ecuador o lo cruza oblicuamente. Otros ejemplos del período Julio-Agosto de 1952 de concentraciones isotérmicas en la superficie del océano cerca del ecuador pueden verse en los perfiles de la expedición "Shellback" en los 85° W. y los 89° W. (Wooster y Cromwell, 1958). En los 85° W., el máximo gradiente de la temperatura horizontal está centralizado entre los grados 1 y 2 S., y en los 89° W. la característica correspondiente está más extendida entre 0° y los 3° N. La línea del frente oceánico documentada por las concentraciones de isotermas cruzaría de este modo el ecuador entre los 85° y 89° W., es decir, cerca de los 87° W., en donde nuestros mapas muestran la primera invasión de agua cálida procedente del norte en agosto o septiembre.

La mejor estación para el mecanismo termohalino en el ecuador evidentemente es la del invierno y la primavera del sur (Figuras 11 y 12), cuando la Corriente del Perú alcanza su máximo enfriamiento. El monzón del sur a través del ecuador en esa parte del año decididamente impide el crecimiento de tal circulación, pero en agosto o septiembre el campo termohalino de solenoides aparentemente ha tomado fuerza bastante para producir la primera invasión suficientemente grande como para hacerse visible en los 87° W. en el mapa que muestra las diferencias de una estación a otra (Figura 15). La "invasión" probablemente debería ser contemplada como el resultado estadístico de muchas circulaciones termohalinas individuales que se independizan al principio dentro de una estrecha sección del frente y siguen su curso dentro de un lapso limitado mientras van progresando desde el ecuador hacia el sur. Mientras tanto, la acción arrasante del monzón puede causar retiradas temporales hacia el norte de la invasora agua cálida de superficie mientras no se organiza otra circulación termohalina.

En el verano del sur (Figura 13), cuando la invasión de agua cálida de superficie ha llegado a varios grados al sur del ecuador, las circulaciones termohalinas en el ecuador probablemente permanecen aún activas en pequeña escala cerca de las Islas Galápagos, en donde las isotermas de superficie se encuentran todavía apiñadas y, además, en una forma intermitente cerca de la costa del Ecuador, en las épocas en que el gradiente transecuatorial de temperatura resulta estar apreciablemente más fuerte que el promedio estacional.

Según los perfiles del "Baird" y del "Horizon", el eje de la circulación termohalina descansa justamente encima o a la derecha de la termoclina. Consecuentemente, mientras más profunda sea la termoclina más agua será puesta en movimiento hacia el sur sobre ella y será mayor el área al sur del ecuador que puede ser inundada por el agua ecuatorial. Los mapas de Cromwell (1958) de la topografía de la termoclina muestran que la época de abril a junio se caracteriza por una ondulación de la termoclina desde el Golfo de Guayaquil hasta las Galápagos, con una profundidad de escasamente 10 m., pero la temporada de julio a septiembre trae termoclina de profundidades de 30 metros muy cerca del ecuador, desde el norte a los 87° W. En esa temporada, como hemos visto, el gradiente horizontal de la temperatura de la superficie del mar también alcanza el valor crítico en el que puede iniciarse la circulación transecuatorial.

El depósito de agua cálida del cual se alimenta el flujo hacia el sur está localizado en la concavidad de la termoclina cuasi zonal y alcanza su mayor cercanía al ecuador, 3° N., en el período de julio a septiembre a la altura de los 87° W. Esa concavidad de la termoclina coincide con el centro de fricción anticiclónica de la corriente de superficie que puede apreciarse en la Figura 9. En la estación opuesta, de enero a marzo, el punto más profundo de la termoclina está más lejos del ecuador (5° N.) y define lo que cromwell llama la "depresión de la termoclina" de más de 50 m. de profundidad central. La depresión de la termoclina coincide con el centro de la circulación superficial anticiclónica que se muestra en los 5° N., 87° W. en la Figura 10.

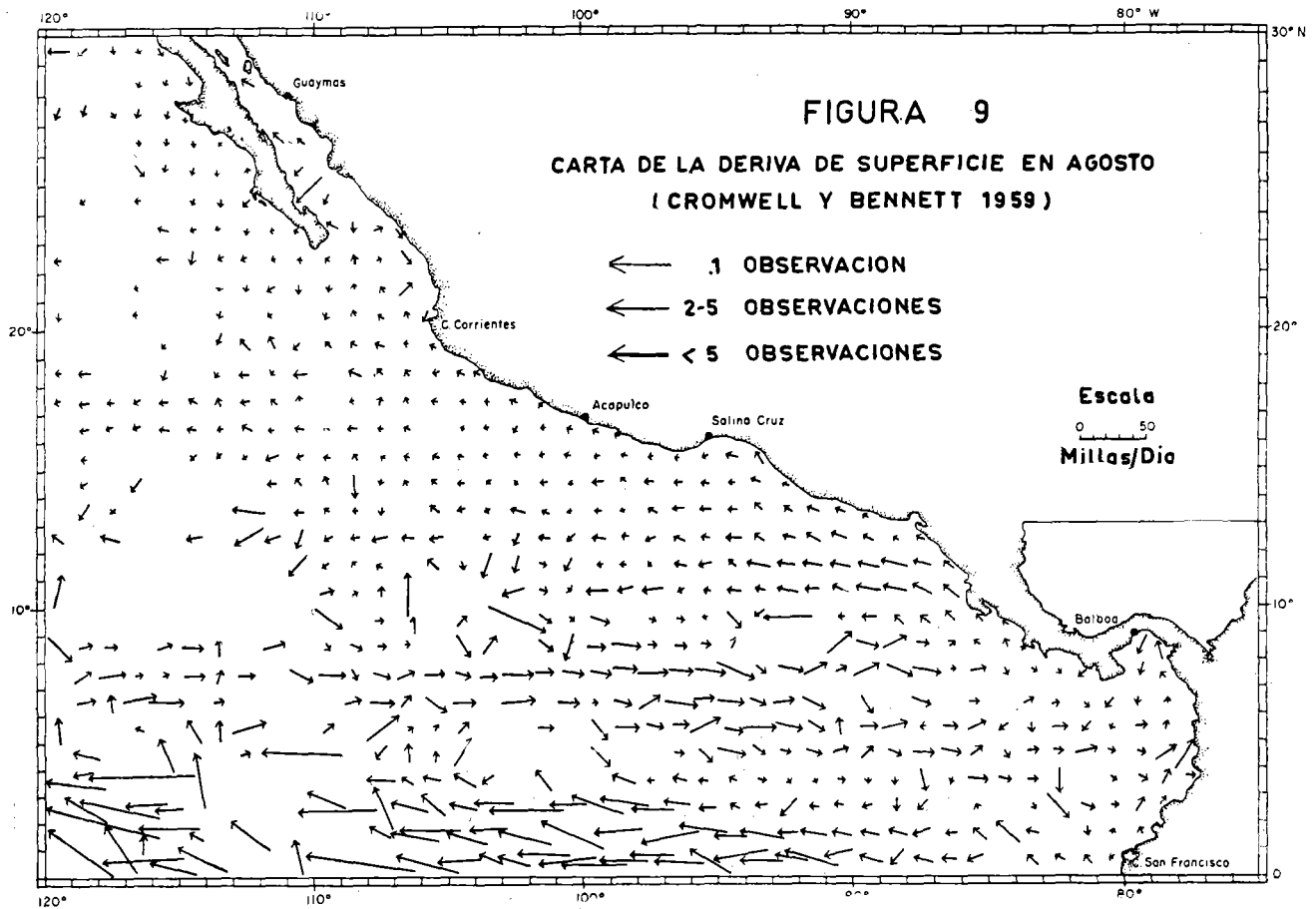
Toda el agua cálida que participa en la invasión transecuatorial debe de venir del depósito definido por la concavidad de la termoclina. El único influjo que llega a este depósito (si consideramos la termoclina como relativamente impermeable) procede de la Contracorriente Norecuatorial que corre a lo largo del gradiente norte de la concavidad de la termoclina. La salida desde el depósito es triple: 1) por la corriente hacia el oeste, entre la línea de la concavidad de la termoclina y las Islas Galápagos, 2) por diversas invasiones transecuatoriales al este de las islas, y 3) por la corriente hacia el noroeste, estrecha pero profunda, a lo largo de la costa de Costa Rica.

El influjo de agua encima de la termoclina a causa de la Contracorriente Norecuatorial registra su mínimum en marzo (Figura 10) y su máximum en agosto (Figura 9). Aparentemente bajo la influencia de ese influjo disparejo el volumen de agua sobre la termoclina al este de los 90° W. aumenta desde un mínimum en el trimestre abril-junio hasta un máximum en el trimestre octubre-diciembre, cuando la termoclina se encuentra a profundidades de más de 40 m. aún en la costa de Colombia. La incursión a través del ecuador

al este de las Islas Galápagos parece que comienza en agosto o septiembre y probablemente alcanza su más alta tasa en el trimestre octubre-diciembre, cuando el depósito de agua cálida al norte del ecuador tiene su volumen máximo. También a lo largo de la costa del Ecuador se nota alguna incursión de agua cálida procedente del hemisferio norte a fines del verano del sur. Los avances de aire cálido cubren un área mucho menor del océano, pero sin embargo son de gran importancia ya que proveen la humedad necesaria para la lluvia del tipo de "El Niño" en las localidades costaneras que son normalmente áridas.

El control meteorológico fundamental sobre el fenómeno de "El Niño" debe buscarse en la fuerza variable de los vientos alisios. A la fuerza de los vientos alisios en el océano se debe que la termoclina se encuentre profunda en el lado asiático y más cerca de la superficie en el lado americano del Océano Pacífico (Montgomery y Palmer, 1940). Con vientos alisios más débiles que los normales en una secuencia de años puede esperarse un descenso de la termoclina en el Pacífico Oriental Tropical, de modo que hay más abundancia de agua ecuatorial para que se produzca un desbordamiento sobre el agua fría de la Corriente del Perú. A este respecto, los vientos alisios del hemisferio norte presumiblemente son los más importantes por cuanto controlan el volumen de agua cálida al norte del ecuador, que es mayor que en el sur. Pero, por otra parte, los vientos alisios del hemisferio sur, con su fuerza sobre el océano, influyen en la dinámica del movimiento de toda el agua cálida de superficie al sur del ecuador en el sentido de impedir las condiciones de "El Niño" en la costa del Perú cuando los vientos alisios son fuertes.

(Continuará)


120°
110°
100°
90°
80° W
30° N
20°
10°
0
Guaymas
C. Corrientes
Acapulco
Salina Cruz
Balboa
San Francisco
FIGURA 9
CARTA DE LA DERIVA DE SUPERFICIE EN AGOSTO
(CROMWELL Y BENNETT 1959)
.1 OBSERVACION
2-5 OBSERVACIONES
< 5 OBSERVACIONES
Escala
0 50
Millas/Dia

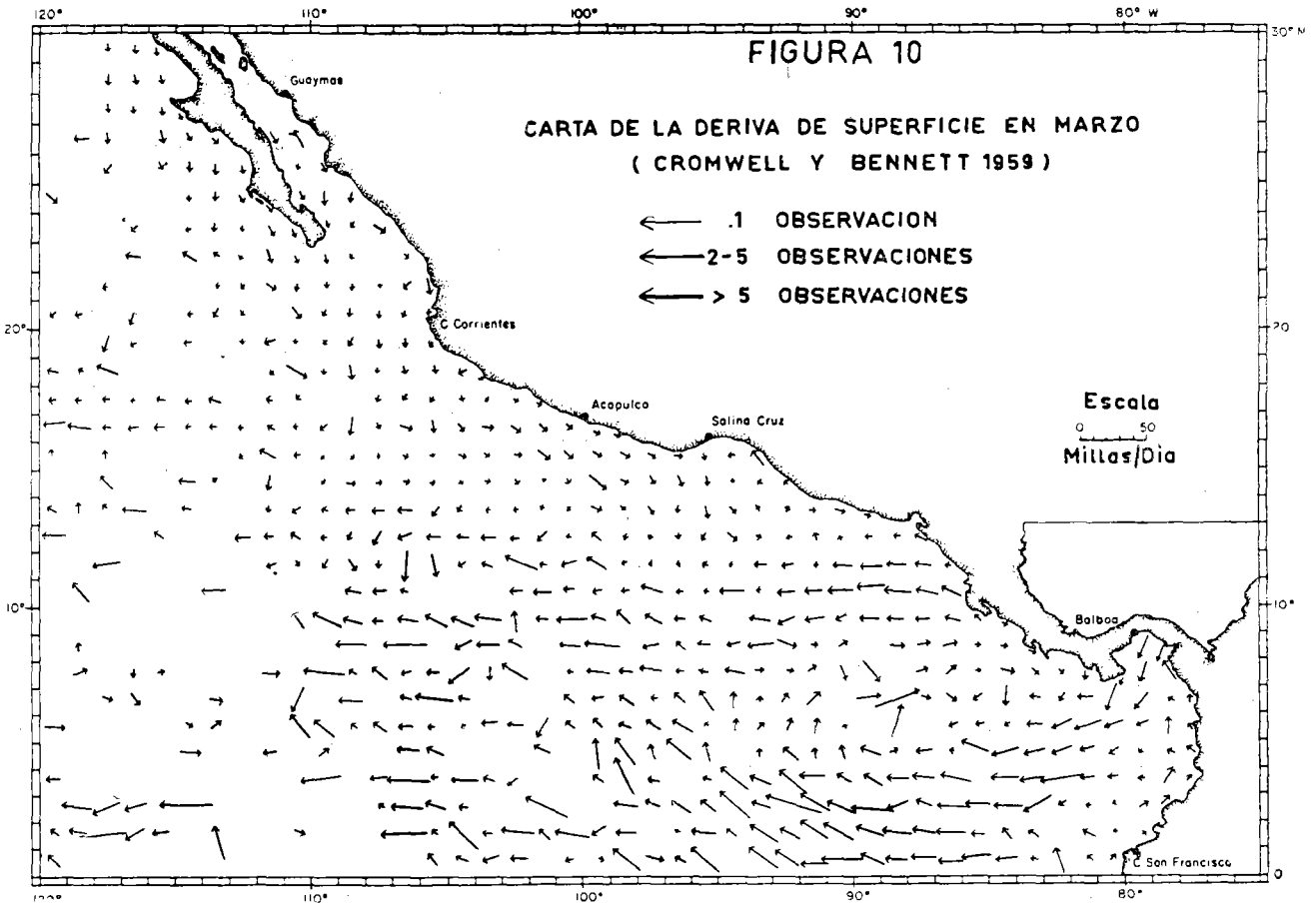


FIGURA 10

CARTA DE LA DERIVA DE SUPERFICIE EN MARZO
(CROMWELL Y BENNETT 1959)

← .1 OBSERVACION
←—2-5 OBSERVACIONES
←— > 5 OBSERVACIONES

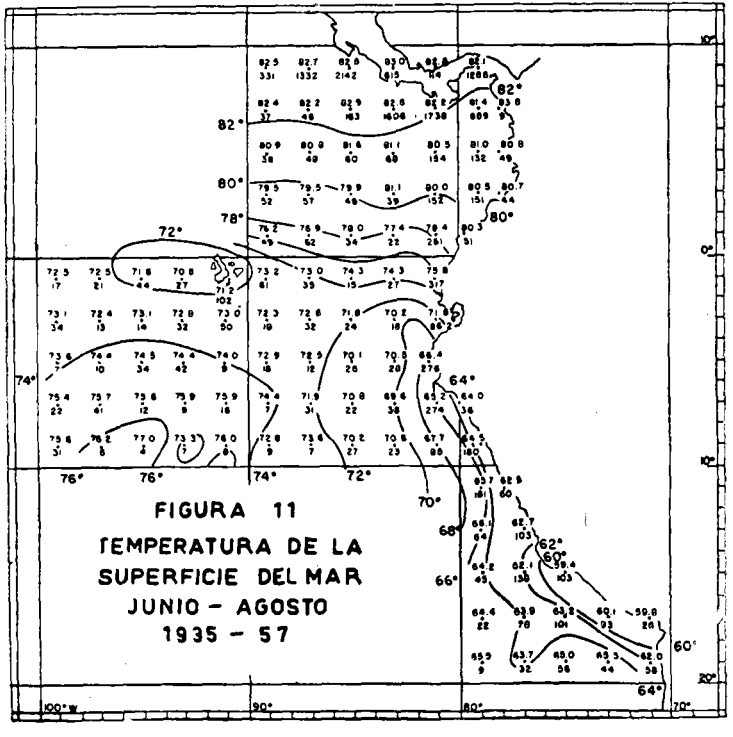


FIGURA 11
TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DEL MAR
JUNIO – AGOSTO
1935 – 57

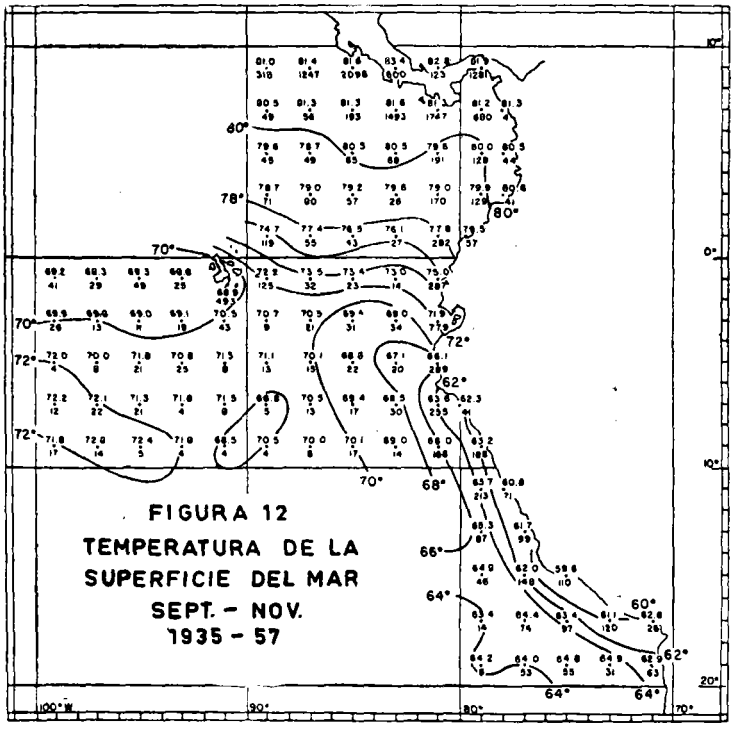


FIGURA 12
TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DEL MAR
SEPT. – NOV.
1935 – 57

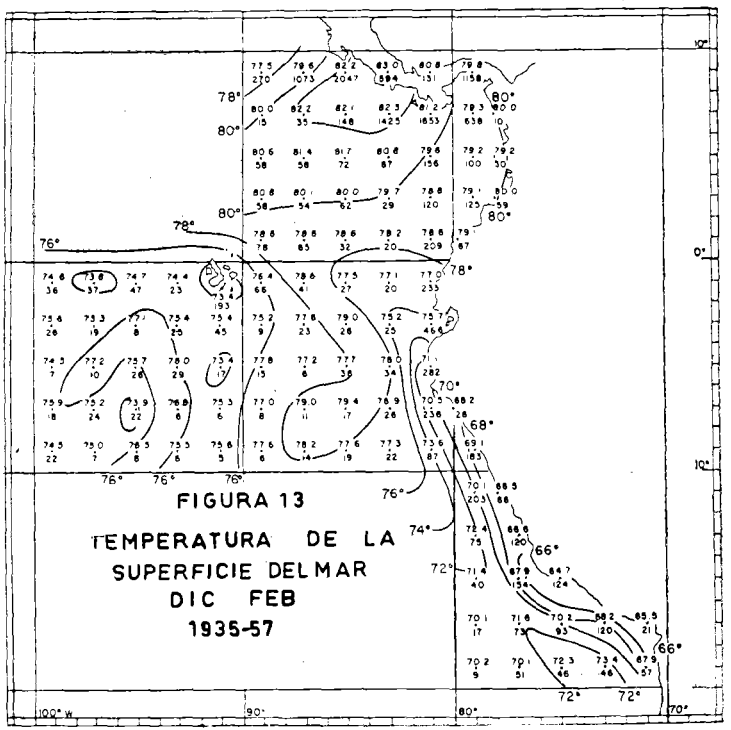


FIGURA 13

TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DEL MAR
DIC FEB
1935-57

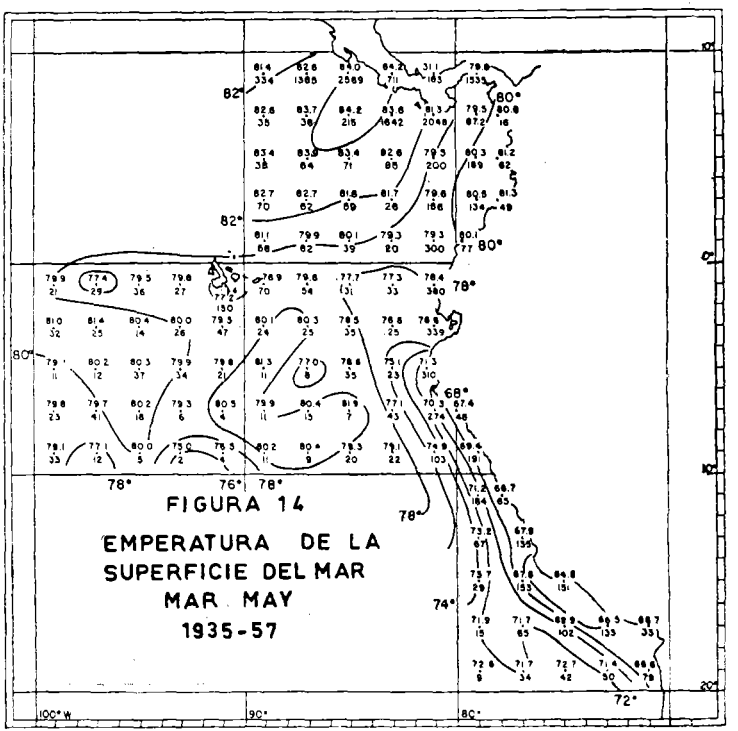


FIGURA 14

EMPERATURA DE LA SUPERFICIE DEL MAR
MAR MAY
1935-57

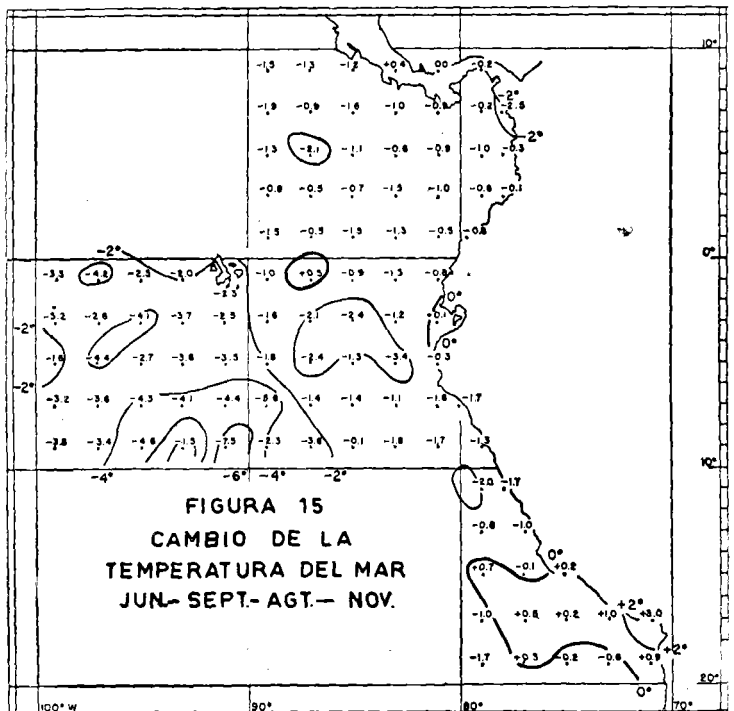


FIGURA 15
CAMBIO DE LA
TEMPERATURA DEL MAR
JUN.- SEPT.- AGT.— NOV.

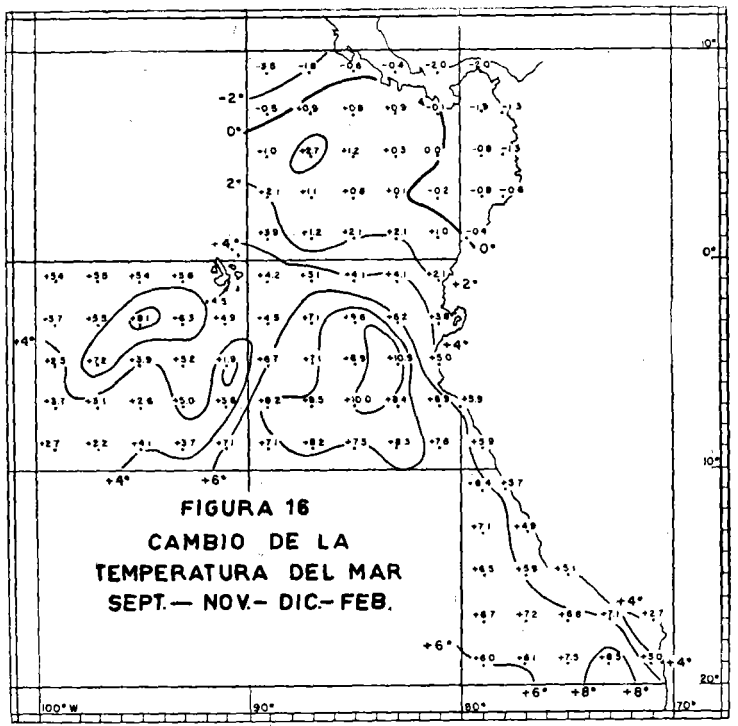


FIGURA 16
CAMBIO DE LA
TEMPERATURA DEL MAR
SEPT.— NOV.- DIC.- FEB.

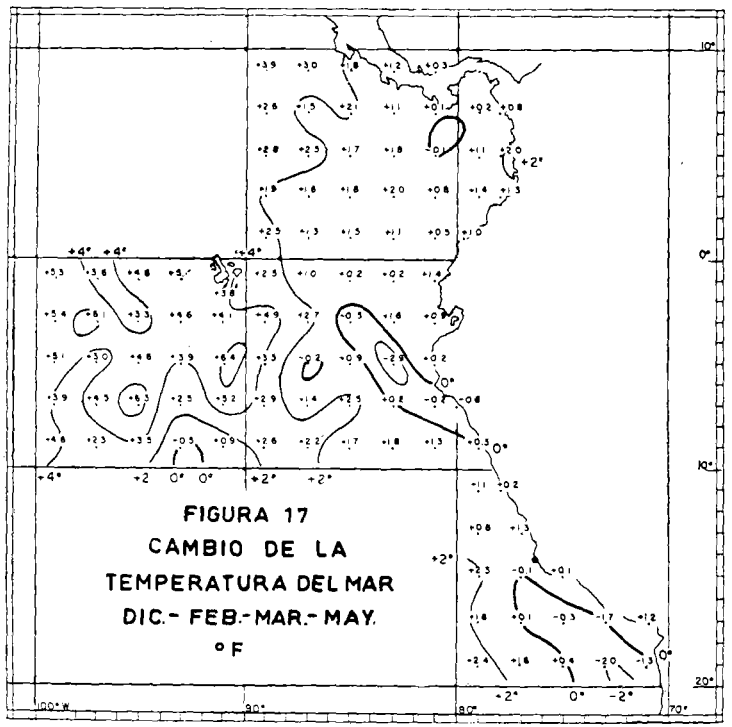


FIGURA 17
CAMBIO DE LA
TEMPERATURA DEL MAR
DIC.- FEB.- MAR.- MAY.
° F

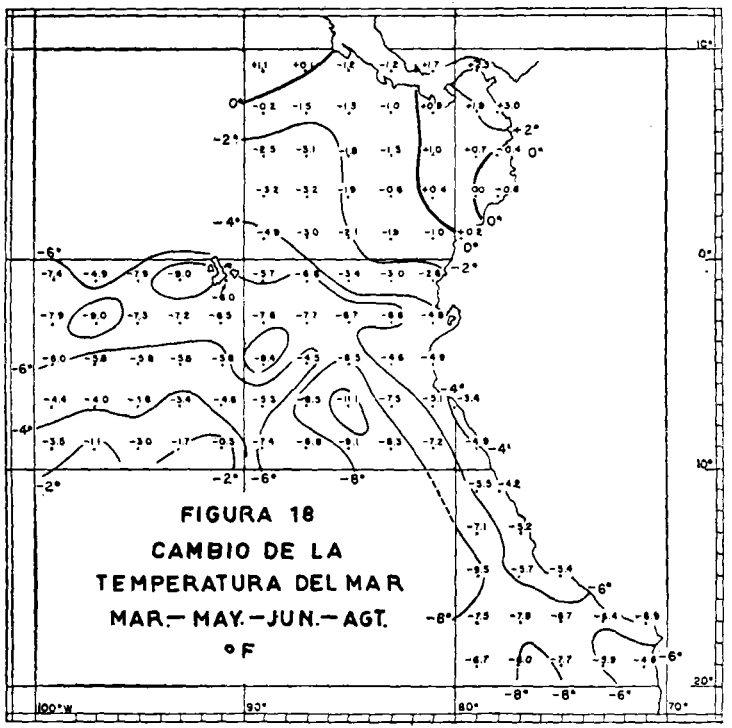


FIGURA 18
CAMBIO DE LA
TEMPERATURA DEL MAR
MAR.— MAY.— JUN.— AGT.
° F

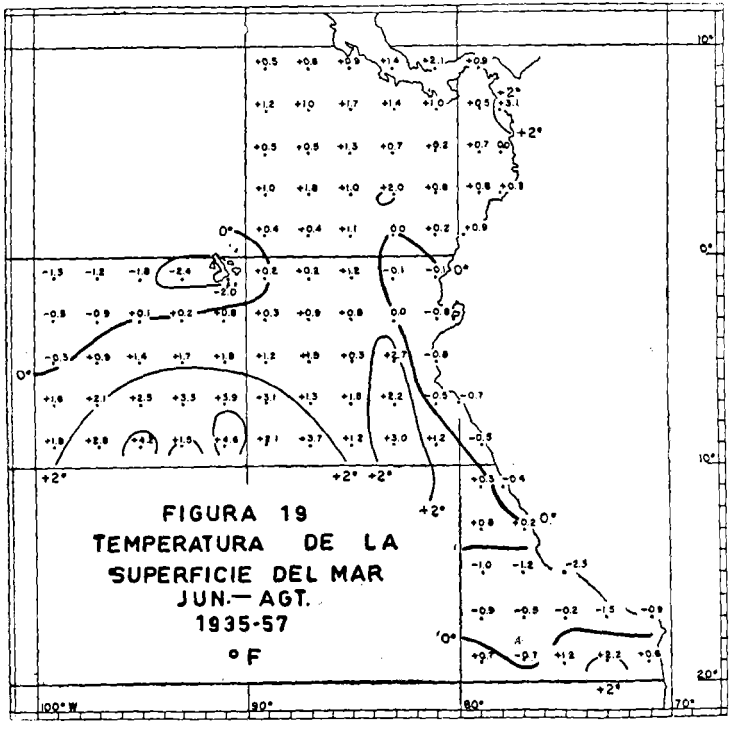


FIGURA 19
TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DEL MAR
JUN.— AGT.
1935-57
° F

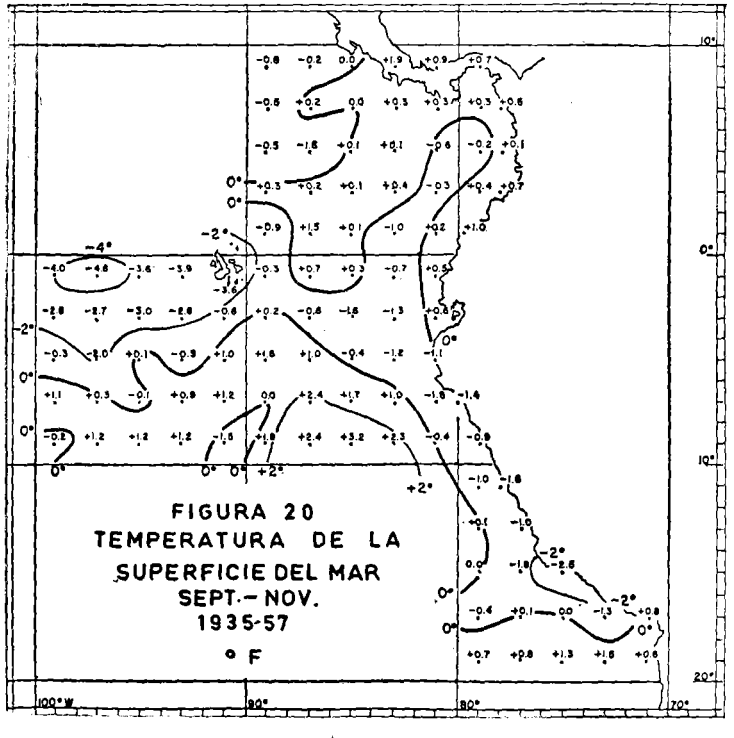


FIGURA 20
TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DEL MAR
SEPT.— NOV.
1935-57
° F

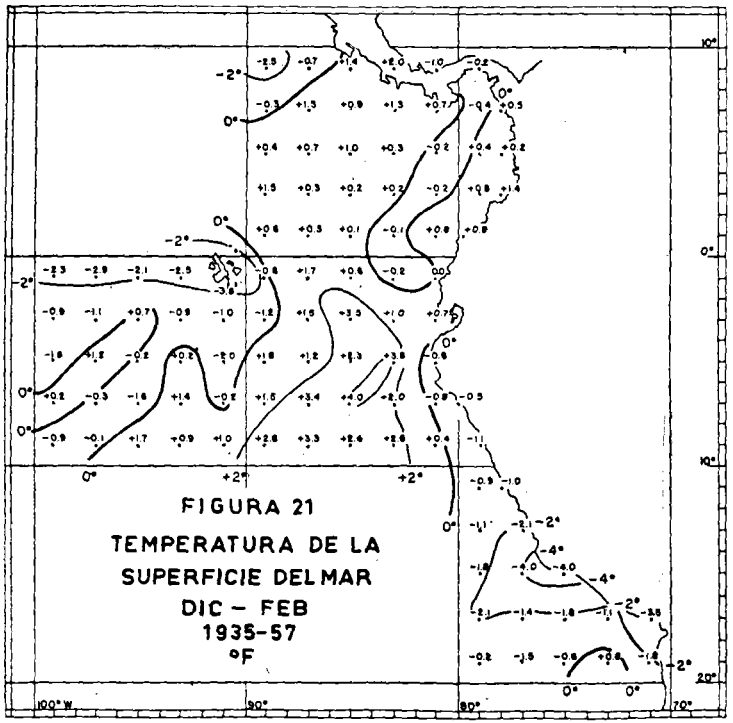


FIGURA 21
TEMPERATURA DE LA
SUPERFICIE DEL MAR
DIC – FEB
1935-57
°F

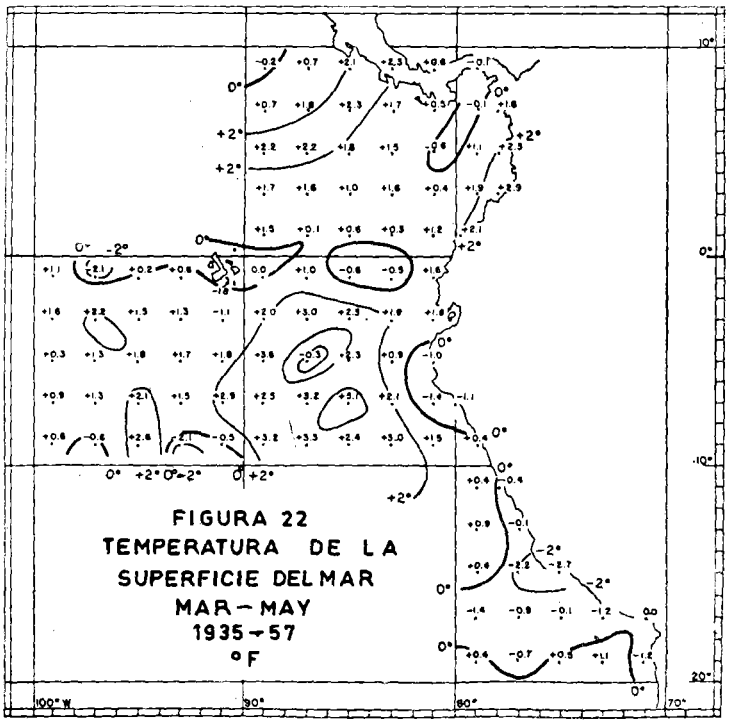


FIGURA 22
TEMPERATURA DE LA
SUPERFICIE DEL MAR
MAR – MAY
1935 – 57
° F