



Donde  $C_0$  y  $L_0$  corresponde a la velocidad y longitud de la ola en aguas profundas como

$$L_0 = C_0 T$$

$$C_0 = \frac{g}{2\pi} T \quad (4)$$

Donde  $T$  es el periodo

Numericamente

$$C_0 = 1,56 T \text{ y } L_0 = 1,56 T^2 \quad (5)$$

Expresadas en metros/segundo y metros

En general se deduce de (1) y (3) que

$$\frac{C}{C_0} = \frac{L}{L_0} \tanh \left\{ 2\pi \frac{d}{L} \right\}$$

Y como el periodo  $T$  es constante

$$\frac{C}{C_0} = \frac{L/T}{L_0/T} = \frac{L}{L_0}$$

Por lo tanto

$$C/C_0 = L/L_0 = \tanh \left\{ 2\pi \frac{d}{L} \right\} \quad (6)$$

Para cualquier valor escogido de  $d/L$  las razones correspondientes  $C/C_0$  y  $L/L_0$  se pueden obtener en una tabla de valores de tangentes hiperbólicas. Sin embargo, como la longitud de la onda cambia con la profundidad, la razón  $d/L$  es un parámetro no muy preciso, por lo que es más conveniente usar el parámetro  $d/L_0$ . Esto se puede llevar a cabo multiplicando los valores de  $d/L$  y  $L/L_0$

$$\frac{d}{L} \cdot \frac{L}{L_0} = \frac{d}{L_0} \quad (7)$$

En esta forma se obtienen los valores numéricos correspondientes a las razones  $C/C_0$ ,  $L/L_0$ ,  $d/L$ ,  $d/L_0$  y las razones de la velocidad y de la longitud pueden ser expresadas como funciones de  $d/L_0$

$$\frac{d}{L} = f_1(d/L_0) \quad (8)$$

$$C/C_0 = L/L_0 = f(d/L_0) \quad (9)$$

Es necesario usar este método numérico puesto que es imposible obtener una solución intrínseca de  $C/C_0$  y de  $L/L_0 = f(d/L_0)$  de las ecuaciones (6) y (7)

Refraction de la ola

Cuando una sucesión de olas se acerca a la costa formando un ángulo con ella la cresta de la ola se dobla porque la porción que primero alcanza las aguas poco profundas avanza más despacio que aquella que está moviéndose por aguas profundas. El proceso es similar al producido por la *desviación* de los rayos de luz en un sistema óptico.

Supongamos que la velocidad de la ola es  $C_1$  y la profundidad  $d_1$  y  $C_2$  donde la profundidad es  $d_2$ , y asumamos que los contornos de las profundidades  $d_1$  y  $d_2$  son paralelos.

Si el ángulo que forma la cresta de la onda con el fondo del contorno  $d_1$  es  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  el ángulo que forma con el fondo del contorno  $d_2$  se verifica la ley de SNELL (ver Figura 1)

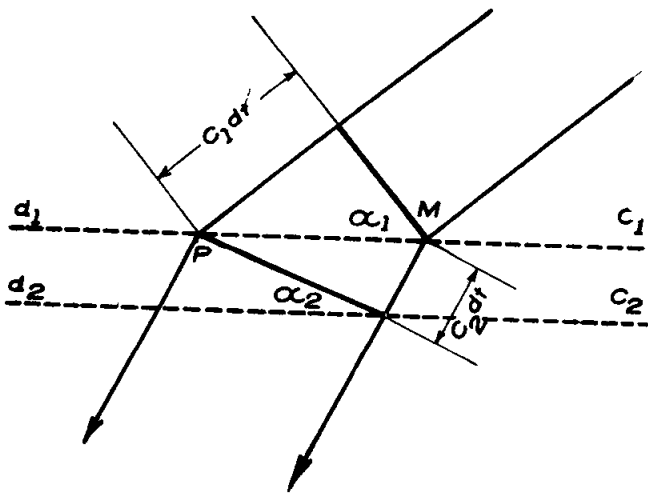


FIGURA 1

Refraction de olas segun la ley de SNELL (segun Breakers and Surf Hydrogr off U S Navy)  
 $d_1$  y  $d_2$  contornos del fondo líneas gruesas cresta de la ola

$$\text{sen } \alpha_2 = \text{sen } \alpha_1 \frac{C_1}{C_2} \tag{10}$$

Como un caso especial, se presume que la línea de la costa es recta y que todos los contornos del fondo son paralelos a dicha línea. Supongamos que  $\alpha_0$  sea el ángulo que la cresta de la ola forma con la línea de la costa en aguas profundas y  $\alpha$  el ángulo que forma la cresta de la ola con la línea que se encuentra a una profundidad  $d$  y sea  $C$  su velocidad. Tendremos entonces

$$\text{sen } \alpha = \text{sen } \alpha_0 \frac{C}{C_0} \tag{11}$$

Y por lo tanto la razón  $\frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen } \alpha_0}$  será igual a  $C/C_0$  dependiendo de la profundidad relativa  $d/L_0$

Los cambios en la longitud y altura de la ola en aguas poco profundas pueden ser calculados en la oficina hidrográfica para así poder construir fácilmente un diagrama de difracción de la ola

*Algunos ejemplos sobre la refracción de las olas cerca de las costas de Venezuela*

De acuerdo a la teoría mencionada arriba, podemos construir un diagrama de difracción para las olas cerca de Margarita y también del puerto de La Guaira

Para ello supondremos que las olas que atacan a la costa tiene un período de 10 segundos y que proviene del norte

Estudiemos primero el progreso de las olas cercanas de Margarita

Un diagrama sobre la refracción de las olas puede observarse en la Figura 2. En ella podemos ver que las líneas ortogonales para las crestas de las olas son convergentes cerca de Cabo Negro u oeste al Morro del Robledar de Margarita, convergiendo además al oeste de la isla de Cubagua

Donde las líneas ortogonales convergen, la energía de la ola queda aumentada lo mismo que la altura

En las proximidades de La Guaira, las líneas ortogonales convergen cerca del Bas-

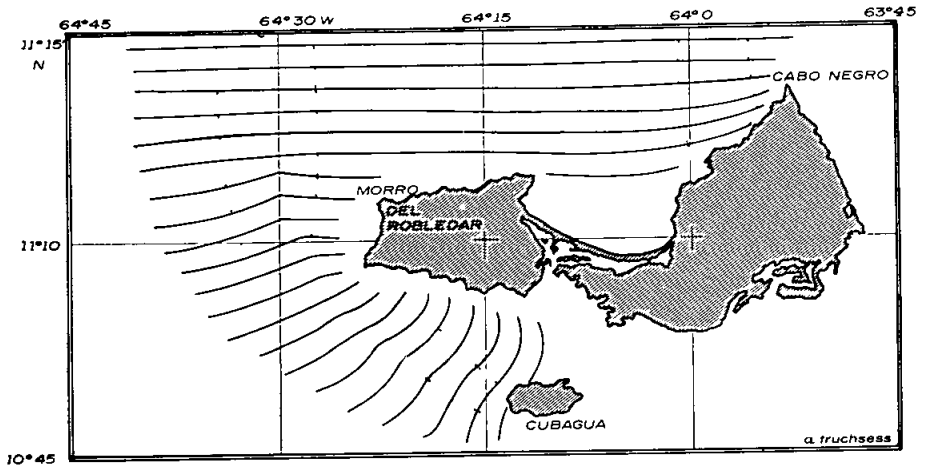


FIGURA 2

Diagrama de la refracción de olas cerca de Margarita bajo la suposición de que las olas tienen un período de 10 seg y progresan del norte (Las líneas continuas señalan cada vigésima longitud de onda, las líneas con puntos son ortogonales)

tion de Santa Bárbara y del atracadero norte del puerto y Pta Maquetia (Figura 3) Por lo tanto, podemos hacer varios diagramas de refracción de las olas asumiendo varios periodos para la ola. Aunque de ordinario el Mar Caribe es muy tranquilo, no debemos olvidar los daños producidos por las olas efecto de huracanes y de terremotos

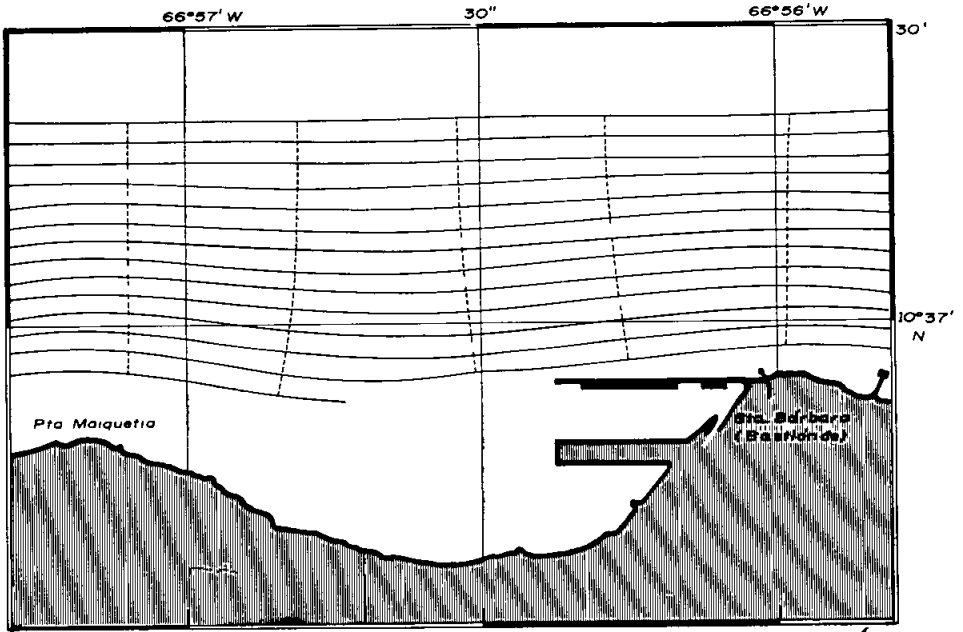


FIGURA 3

Diagrama de la refracción de olas cerca de La Guaira bajo la suposición de que las olas tienen un periodo de 10 seg y progresan del norte (Las líneas continuas señalan cada media longitud de onda, las líneas de puntos son ortogonales)

### INTERCAMBIO DE ENERGIA ENTRE EL MAR Y LA ATMOSFERA

Como paso inmediato nos gustaria considerar el intercambio de energia entre el mar y la atmósfera en el Mar Caribe desde el punto de vista del desarrollo de los huracanes. Esto resulta interesante porque si bien en el Caribe hay en realidad poca ocurrencia de huracanes, los hay muy frecuentes en sus margenes (Figura 4)

Consideremos la cantidad de calor utilizada para la evaporación ( $Q_e$ ) y el calor sensible intercambiado entre el mar y la atmósfera a través de la convección ( $Q_c$ )

Como no poseemos una observación directa de la evaporación, se hace una estimación a partir de los datos meteorológicos conocidos. SVETDRUP y MONTGOMFRY han derivado una fórmula teórica para la evaporación de la superficie del mar

$$\Gamma = K (c_m - c_a) \omega_e \quad (12)$$

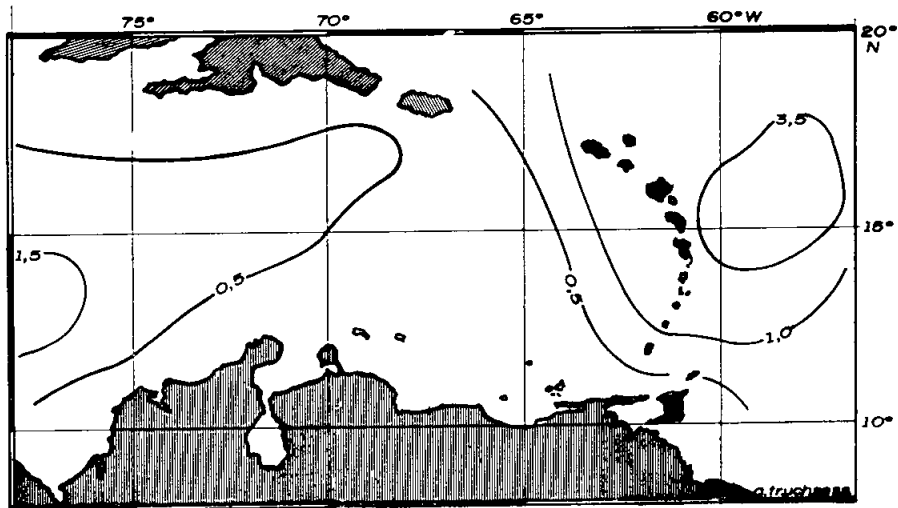


FIGURA 4

Frecuencia de huracanes y ocurrencia en el Mar Caribe en septiembre (segun U S Weather Bureau)

Donde  $E$  es la evaporación,  $e_w$  la presión de vapor en la superficie del mar como se deriva de la temperatura y de la salinidad,  $e_a$  la presión de vapor en el aire a una altura  $a$  por encima de la superficie del mar,  $v$   $\omega_1$  es la velocidad del viento a la misma altura y  $K$  el factor de la evaporación

De acuerdo a JACOBS

$$E = 0,143 (e_w - e_a) \omega_1 \quad (13)$$

Donde  $E$  esta dado en milímetros por día,  $e_a$  en milibares y  $\omega_1$  en metros por segundo. Utilizamos esta fórmula, pero el valor de  $K$  de JACOBS es para una observación a 6 metros del nivel del mar y nuestra observación fue llevada a cabo a 3 metros sobre el nivel del mar. Si  $L$ , es el calor latente de evaporación promedio, se asume igual a 585 cal/gr, tenemos

$$Q_e = L E = 8,37 (e_w - e_a) \omega_1 \left[ \frac{\text{gr/cal}}{\text{cm}^2/\text{dia}} \right] \quad (14)$$

Por lo tanto, nosotros podemos calcular  $E$  y  $Q_e$ .

La razón entre las cantidades de calor que se dan a la atmósfera como calor sensible y aquel utilizado para la evaporación es

$$R = \frac{Q_s}{Q_e} = 0,66 \frac{P}{1000} \frac{\theta_w - \theta_a}{e_w - e_a} \quad (15)$$

OCURRENCIA DE LOS HURACANES Y DIRECCION DE LAS OLAS

Donde P es la presión del aire en milibares,  $\theta_w$  es la temperatura de la superficie en grados centígrados,  $\theta_1$  la temperatura del aire a una altura a de la superficie del mar a la misma unidad. Esta relación ya había sido dada por BOWLEN. El término  $p/1\ 000$  puede ser aproximado a la unidad en el cálculo

Por lo tanto,

$$Q_i = R Q_e = 0,66 \frac{\theta_w - \theta_1}{e_w - e_1} Q_e \quad (16)$$

Substituyendo (14) por  $Q_e$  en (16) resulta la siguiente fórmula

$$Q_i = 5,52 (\theta_w - \theta_1) \omega_1 \frac{\text{gr/cal}}{\text{cm}^2/\text{dia}}$$

Calculamos los valores de E,  $Q_e$  y  $Q_i$  en la Tabla I. En esta Tabla  $Q_e$  es siempre negativo porque en esta zona la temperatura del agua es inferior a la del aire. Ahora estos valores se obtienen como promedio para toda el área bajo consideración (Fig. 5)

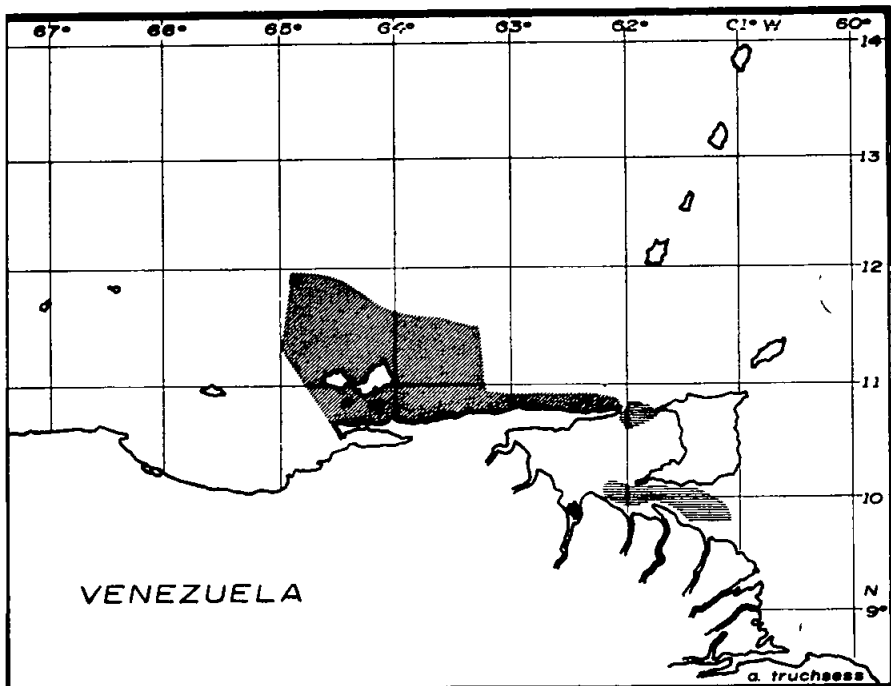


FIGURA 5

Zonas donde E,  $Q_e$  y  $Q_i$  han sido calculados. (Todos los valores promedio están indicados en la Tabla I. Las rayas diagonales señalan la zona muestreada cerca de Margarita y Península de Paria. Las rayas horizontales pertenecen a la zona muestreada en el Golfo de Paria y sur de Trinidad.)

Esto significa que la energía transmitida del mar a la atmósfera es disminuida. Si hacemos un estudio sobre el suministro de energía en toda la zona del Mar Caribe y en la región ecuatorial del Atlántico, podremos comprender las características del intercambio de energía en el mar cerca de Venezuela. A nuestro pesar no tenemos datos sobre la distribución de las temperaturas en el Mar Caribe, el Mar de las Islas Cayman y la zona ecuatorial del Atlántico.

Aunque tenemos algunos datos relativos al sur de Trinidad y en el Golfo de Paria, deberían pasar a ser referencia para estudiar la diferencia de energía total intercambiada entre el mar y la atmósfera. Valores de  $E$ ,  $Q_e$  y  $Q_c$  se estiman en dos partes divididas, una a lo largo de la Península de Paria y otra zona del Golfo de Paria y al sur de la Isla de Trinidad (referirse a la Figura 5 y Tabla 1).

TABLA 1  
ESTIMACIONES DE  $E$ ,  $Q_e$ ,  $Q_c$ , y  $Q_e + Q_c$

	Diciembre 1963		Enero 1964		Abril 1964	
	(I)	(II)	(I)	(II)	(I)	(II)
$E$ (mm/día)	1,9	3,1	1,5	2,2	0,6	1,8
$Q_e$ (gr cal/cm <sup>2</sup> día)	144	179	88	131	37	106
$Q_c$ (")	-32	-5	-13	2	-27	-4
$Q_e + Q_c$ (")	82	174	75	133	10	102

$E$  = evaporación

$Q_e$  = cantidad de calor por evaporación

$Q_c$  = calor sensible intercambiado entre mar y atmósfera por convección

(I) = a lo largo de la costa oriental de Venezuela en el Mar Caribe

(II) = este, fuera del Delta del Orinoco en el Atlántico (Estas áreas son mostradas en el informe de los autores. Algunos problemas relacionados con los huracanes.)

ESTIMACIONES DE  $E$ ,  $Q_e$ ,  $Q_c$ , y  $Q_e + Q_c$

	Octubre 23 28	Noviembre 25 29	Diciembre 12 19	
	1963	1963	(I)	(II)
$E$ (mm/día)	1,4	2,5	1,9	3,1
$Q_e$ (gr cal/cm <sup>2</sup> día)	84	146	114	179
$Q_c$ (")	-7	-9	-32	-5
$Q_e + Q_c$ (")	77	137	82	174

Los Valores de (I) muestran el promedio de 62° W a 63° 20' W a lo largo de la Península de Paria.

Los valores de (II) indican el promedio de la zona muestreada en el Golfo de Paria y en el sur de Trinidad que en la Figura 5 se señalan con rayas horizontales.



## OCURRENCIA DE LOS HURACANES Y DIRECCION DE LAS OLAS

---

De esta tabla se observa que valores de energía total intercambiada entre el mar y la atmósfera ( $Q_1 + Q_2$ ) cerca de Margarita y de la Península de Paria son menores que los valores del Golfo de Paria y del sur de Trinidad

Tal diferencia puede que sirva para dar alguna pista a la ocurrencia de los ciclones

Si la diferencia entre la temperatura del aire y del agua del mar en la zona disminuyera en el Mar de Cayman o en la zona ecuatorial del Atlántico o la temperatura del aire fuese mayor que la del agua allí, el suministro de energía del mar a la atmósfera es mayor que en el Mar Caribe

Este problema puede que tenga relación con la formación y desarrollo de los huracanes

Debemos planear el recoger datos de la temperatura del aire en el mar Cayman, el Mar Caribe y la zona ecuatorial del Atlántico en el futuro cercano

## SUPLEMENTO

Tenemos ahora datos sobre la precipitación en Venezuela. Tratando estos datos estadísticamente podemos obtener la periodicidad dominante de la precipitación para algunas de las estaciones, que se estudia por el método de usar correlogramas. De los datos existentes en el Observatorio Cagigal de más de 70 años hemos tratado de calcular una autocorrelación en cada mes de la estación lluviosa.

Así que podemos obtener la periodicidad dominante, 4 años para los datos de junio y en octubre, pero en los otros meses no hemos podido encontrar una periodicidad significativa (Figuras 6-a y 6-b)

Si somos capaces de obtener datos por un largo periodo de tiempo para la temperatura del aire fácilmente podemos obtener la periodicidad dominante.

Tal investigación es muy importante para analizar los cambios climatológicos.

También puede dar una influencia acerca de las condiciones oceanográficas. En el futuro esperamos establecer un sistema de investigación acerca de los cambios climatológicos.

## BIBLIOGRAFIA

BOWLEN I S

1926 —The ratio of heat losses by conduction and evaporation from any water surface  
*Phys Rev* 27 p 770

—Breakers and surf principle in forecasting, *H O N* 254, Hydrographic Office under the Authority of the Secretary of the Navy U S Nov 1944

JACOBS W C

1942 —On the energy exchange between sea and atmosphere *Journ Mar Res* 5 p 37

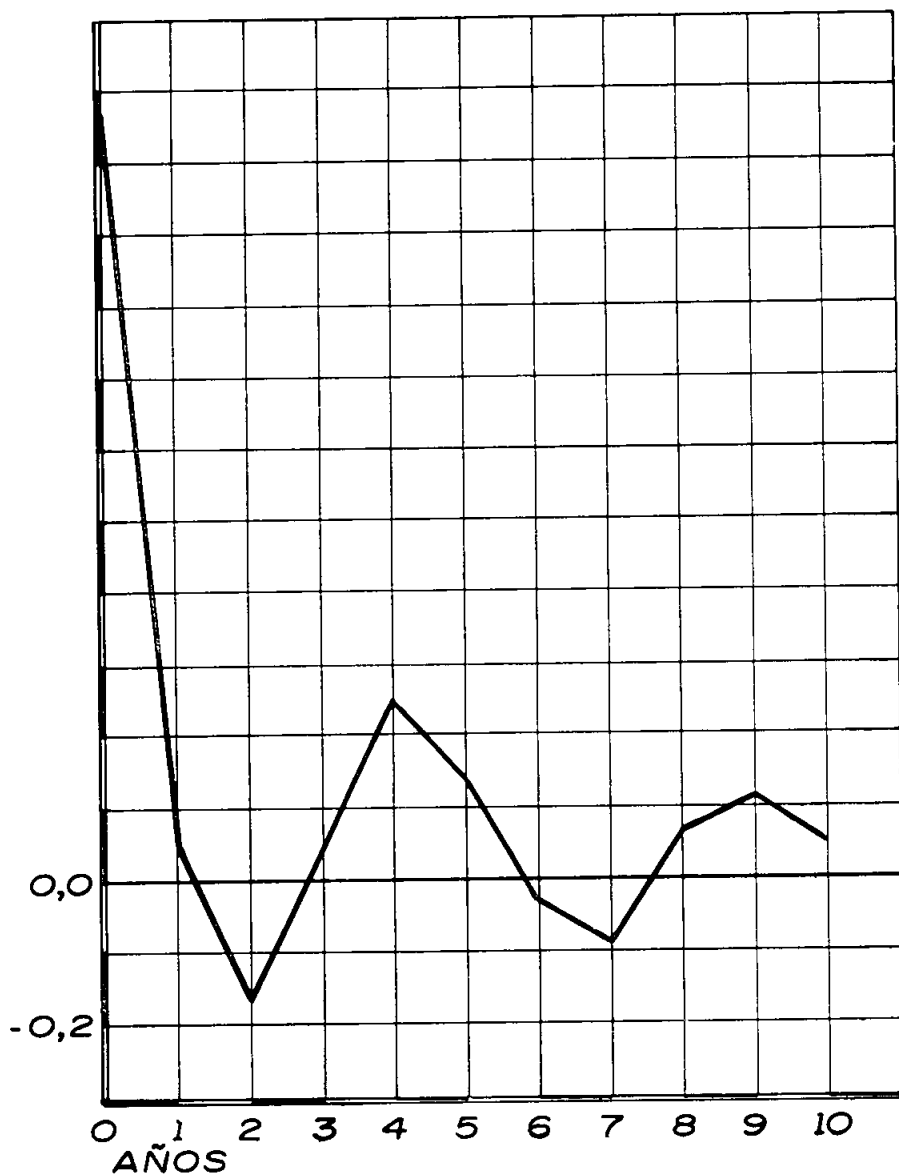


FIG 6 a

Correlograma de precipitación en junio (Observatorio Cagigal)

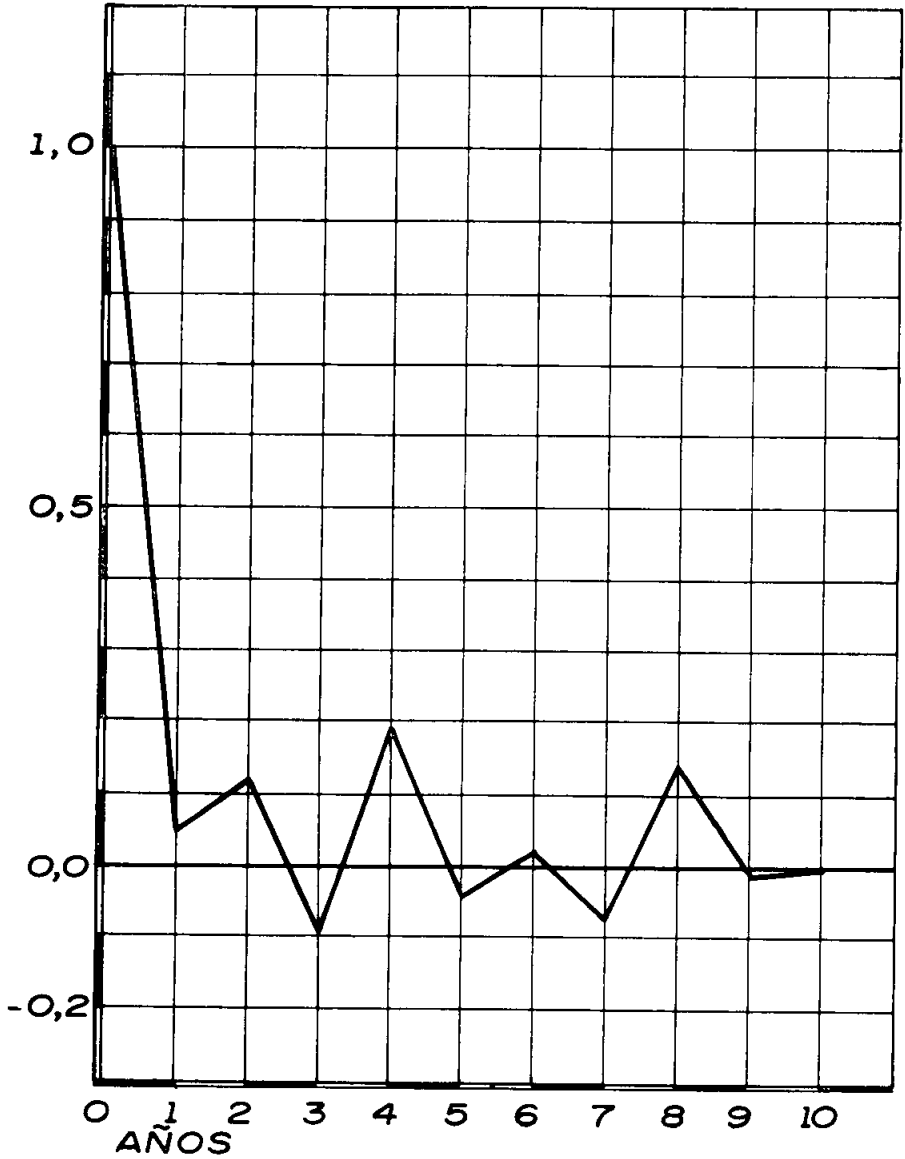


FIG 6-b

(Correlograma de precipitación en octubre (Observatorio Cigüil))

KOIZUMI M

- 1956 —Researches on the variations of oceanographic conditions in the region of the Ocean Weather Station Extra in the North Pacific Ocean (III) *Meteorol and Geophys* 6, (Nos 3-4), p 273

MONTGOMERY R B

- 1940 —Observations of vertical humidity distribution above the ocean surface and their relation to evaporation *Pap Phys Oceanogr Meteorol* 7 (Nº 4), p 30

SVERDRUP H U

- 1937 —On the evaporation from the ocean *Journ Mar Res* 1 p 3