

PROPAGACION DE OLAS SOBRE CABO VELAS EN LA COSTA DEL PACIFICO NORTE DE COSTA RICA

Omar G. Lizano R.*

En este trabajo se analizan las características del oleaje en agua profunda y su propagación hacia la costa de Cabo Velas, Guanacaste, a fin de ubicar infraestructura costera y para el aprovechamiento recreacional seguro de sus playas.

Se utilizaron registros históricos de datos recolectados por barcos que han pasado por esta área y se encontró que las alturas de olas más frecuentes sobre esta región son entre 1 y 1,5 metros, con períodos de 4 y 5 segundos y con direcciones del oeste, noroeste y suroeste.

El análisis de la propagación de oleaje hacia la costa se realizó utilizando un reciente modelo numérico de refracción de olas (Ebersole, 1984). El análisis sobre una ensenada de Cabo Velas, Playa Carbón, indica que esta playa está protegida ante el impacto de las olas más frecuentes del oeste y del suroeste. Para la condición más severa del oleaje que se produce en esas direcciones, se encontró que la batimetría de la plataforma continental, al frente de la playa, produce disminución de la energía (altura) de las olas producidas mar adentro.

INTRODUCCION

El estudio de la dinámica de los procesos costeros involucra el conocimiento de parámetros físicos como: altura y dirección predominante del viento, altura y dirección de las olas mar adentro, altura de la marea y patrones de corrientes costeras inducidas por el viento, las olas y la marea.

Cuando las olas son propagadas desde mar adentro hasta la costa, se producen cambios en la dirección de propagación y en la amplitud de la ola como una respuesta a las variaciones de la batimetría sobre la cual viajan. Se han creado varios métodos para el estudio de las transformaciones de oleaje hacia la costa entre los que se pueden citar:

- Los ^{métodos} manuales de Johnson *et al.* (1948) y Pierson *et al.* (1955), descritos también en el Shore Protection Manual (SPM, 1984).
- Los modelos computarizados de Harrison y Wilson (1964).
- El modelo ampliamente utilizado de Dobson (1967).
- Recientes modelos más complejos, como el de Ebersole (1984).

El conocimiento de las características del oleaje mar adentro es esencial para pronosticar cambios en la morfología del litoral y en los patrones de sedimentación (Komar, 1976). También es necesario para establecer la factibilidad de ubicar estructuras sobre la costa y para complementar estudios del impacto ecológico del oleaje sobre la flora y la fauna costera.

En este trabajo se analizan las características de oleaje mar adentro, válidas para una región de El Salvador, la costa oeste de Nicaragua y la región frente a la Península de Nicoya de Costa Rica (Figura 1). Los resultados que se presentan pueden ser utilizados como condiciones de frontera para cualquier estudio de

Ph D.
Consultoría
Ecológica y
Técnica de
Costa Rica S. A.
(ECOTEC)
Apartado 615
Zapote, San
José, Costa
Rica

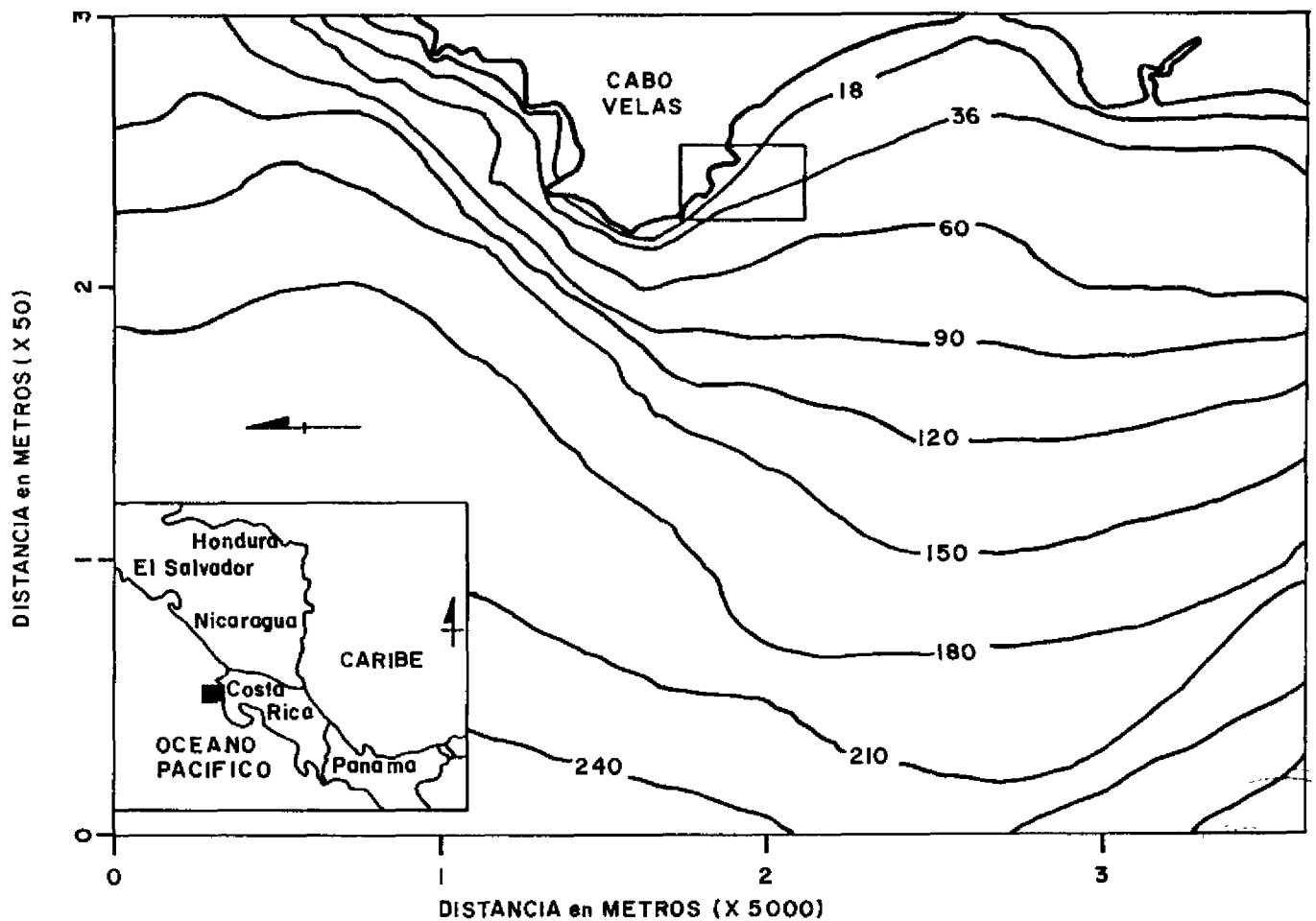


FIGURA 1. Contornos batimétricos (pies) frente a Cabo Velas, provincia de Guanacaste (1 m = 3,28 pies).

procesos costeros sobre esa zona. Con base en un modelo numérico de refracción de oleaje, se analizó la información generada en agua profunda para estudiar las transformaciones de oleaje hacia la costa. Ello permitió conocer las características de las olas en una ensenada al sur de Cabo Velas (Playa Carbón, Figura 1), sobre la cual se desea ubicar infraestructura costera para el aprovechamiento recreacional de la zona.

MATERIAL Y METODOS

La información del oleaje y viento se obtuvo del documento: "Summary of

Synoptic Meteorological Observations (SSMO)" (Naval Oceanography Command, 1981). La frecuencia total para las velocidades del viento y alturas de olas, de cada mes y cada dirección, la frecuencia total de los períodos de ola, para cada altura de ola y mes del año, y la frecuencia total de las alturas de ola, para cada período de la ola y mes del año, fue extraída de las Tablas 18 y 19 del "SSMO" y convertida a porcentaje (Cuadros 1, 2 y 3).

Se llevó a cabo un análisis de la fase y la amplitud de la marea para las costas de Cabo Velas mediante el uso de un mareómetro. Con esta información se

CUADRO 1. Porcentaje de frecuencia de la dirección del viento y las olas por mes del año para la región suroeste de Nicaragua.

Mes/direc.	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Enero	20,82	34,07	11,05	2,79	2,57	4,80	13,18	10,5
Febrero	19,34	32,50	16,48	2,40	3,43	4,58	11,21	9,95
Marzo	17,23	31,55	15,66	3,08	3,24	5,93	11,41	11,86
Abril	14,02	23,37	16,12	6,66	8,64	9,11	12,85	9,23
Mayo	6,59	11,62	11,40	7,49	11,73	18,99	22,79	9,27
Junio	3,53	8,24	9,53	5,03	9,96	22,00	32,12	9,42
Julio	7,21	16,25	13,46	6,24	11,52	9,26	19,81	6,35
Agosto	5,63	11,04	12,45	5,95	11,50	20,35	24,68	8,87
Setiembre	4,17	4,38	6,94	6,09	11,11	24,79	33,23	9,19
Octubre	4,54	8,24	6,75	4,22	8,65	26,69	31,54	9,39
Noviembre	11,53	20,4	11,21	4,16	6,83	15,58	21,99	8,22
Diciembre	15,19	30,5	12,35	2,62	3,28	9,73	17,70	8,52
Total (%)	10,91	19,52	12,05	4,77	7,77	14,40	21,23	9,31

CUADRO 2. Porcentaje de frecuencia de altura de ola (m) por mes del año para la región suroeste de Nicaragua

Mes	Altura (m)										
	<0,3	0,3– 0,6	0,9– 1,2	1,5– 1,8	2,1	2,4– 2,7	3,0– 3,4	3,7– 4,0	4,9	5,2– 5,8	7,0– 7,6
Ene.	14,8	22,5	27,2	18,4	8,6	4,0	2,3	0,7	1,0	0,3	0,2
Feb.	17,2	22,5	26,4	16,4	9,6	3,7	2,5	0,7	0,7	0,2	
Mar.	20,1	25,2	26,0	16,0	6,9	3,1	1,6	0,5	0,4	0,2	
Abr.	20,9	25,8	27,4	15,4	6,8	2,0	1,0	0,4	0,2		
May.	15,2	25,5	31,6	17,4	6,6	1,9	1,0	0,2	0,3	0,1	
Jun.	10,2	20,1	31,0	23,8	9,3	3,1	1,7	0,5	0,2	0,1	
Jul.	8,8	18,5	32,0	24,2	10,0	3,3	2,0	0,5	0,5	0,2	0,1
Ago.	10,1	19,6	31,0	22,9	10,2	3,5	1,8	0,3	0,3	0,2	0,1
Set.	9,1	19,6	32,8	22,7	10,1	3,6	1,2	0,5	0,3	0,1	
Oct.	7,8	17,9	33,2	24,7	10,4	4,1	1,0	0,5	0,2	0,1	
Nov.	9,6	21,7	33,8	21,6	9,0	2,7	0,9	0,2	0,5		
Dic.	11,5	22,2	30,7	20,6	8,6	3,6	1,4	0,7	0,5		0,1
Total (%)	12,9	21,7	30,2	20,3	8,8	3,2	1,5	0,5	0,4	0,1	0,0

establecieron factores de corrección (con base en el desfase de la marea en Cabo Velas con respecto a la de Puntarenas) para los valores batimétricos muestreados.

El estudio de las transformaciones de oleaje desde agua profunda se llevó a cabo digitalizando los contornos batimétricos de los mapas de Matapalo (3047 III) y Villarreal (3046 IV) del Instituto Geográfico de Costa

Rica (Figura 1). Para ello se utilizó un digitalizador Hicomscan HDG-3648 de Hitachi. Los valores de los contornos digitalizados fueron interpolados a un tamaño de rejilla de 500 metros para estudiar los efectos de la plataforma continental sobre el oleaje.

Para el análisis de refracción en Playa Carbón, se realizó un sondeo

CUADRO 3. Porcentaje de frecuencia del período(s) de ola por mes del año para la región suroeste de Nicaragua.

Mes	Período(s)						Total
	< 6	6-7	8-9	10-11	12-13	> 13	
Enero	59,91	24,45	9,27	3,48	1,97	0,93	100,00
Febrero	61,26	23,12	8,94	3,81	1,67	1,19	100,00
Marzo	62,88	21,86	8,91	3,05	2,44	0,85	100,00
Abril	62,62	20,27	8,50	4,73	2,67	0,85	100,00
Mayo	60,83	22,37	8,88	4,02	2,60	1,30	100,00
Junio	53,17	22,73	11,31	3,39	2,26	1,13	100,00
Julio	53,91	27,50	11,88	3,85	2,09	0,77	100,00
Agosto	54,22	27,56	10,80	4,16	2,02	2,24	100,00
Setiembre	54,67	26,88	11,36	4,27	2,02	0,79	100,00
Octubre	53,43	29,31	11,28	3,76	1,22	1,00	100,00
Noviembre	58,80	25,73	9,59	2,93	1,92	1,02	100,00
Diciembre	60,46	25,14	7,89	3,43	1,83	1,26	100,00
Total (%)	57,98	25,23	9,88	3,74	2,06	1,11	100,00

batimétrico más fino con la ayuda de una embarcación, una ecosonda electrónica y tránsitos localizados en diversos puntos de la costa para estimar la posición por triangulación. El tamaño de esta área, que es el recuadro que muestra la Figura 1 al sur de Cabo Velas, fue seleccionado de tal forma que sirviera tanto para el análisis de refracción de olas, como para guía a la navegación e infraestructura que se vaya a desarrollar en la zona. Los contornos digitalizados (Figura 2), fueron interpolados, utilizando subrutinas en Fortran, a un tamaño de rejilla de 50 metros (Figura 3), siguiendo los criterios de Ebersole (1986), para hacer el análisis de refracción de esa área.

El estudio de refracción de olas se llevó a cabo utilizando un programa de computadora que incluye efectos de difracción de ola, escrito originalmente por Ebersole (1984), y modificado para propósitos del presente análisis. Los datos de entrada del programa incluyen batimetría, altura, período y dirección del oleaje. Los datos de salida se presentan como una matriz de valores en el área de análisis con los siguientes parámetros:

- 1- Altura y dirección del oleaje
- 2- Índice de rompimiento de oleaje

- 3- Velocidad de corrientes a lo largo de la costa
- 4- Razón de transporte de sedimento a lo largo de la costa
- 5- Densidad de energía de ola
- 6- Flujo de energía o potencia de ola
- 7- Velocidad del fluido en el fondo producido por la ola.

Los parámetros del programa descritos anteriormente (3, 4, 5, 6, 7 y 8) fueron agregados por Lizano (1988) para incluir estudios de transporte de sedimentos. Todos estos parámetros son calculados para cada característica de oleaje utilizada en el análisis de refracción.

Para llevar a cabo el análisis de refracción de olas sobre Playa Carbón se escogieron las características de las olas más frecuentes y cuyas direcciones, desde agua profunda, pudieran alcanzar la costa (Cuadro 5). Además, se utilizó una combinación probable de oleaje máximo que podría darse en la zona de estudio.

Las características del oleaje en los límites de la región menor, que corresponde a Playa Carbón (Figura 2), y que fueron generados del análisis de refracción sobre la región mayor (Figura 1), se utilizaron para llevar a cabo un análisis de refracción

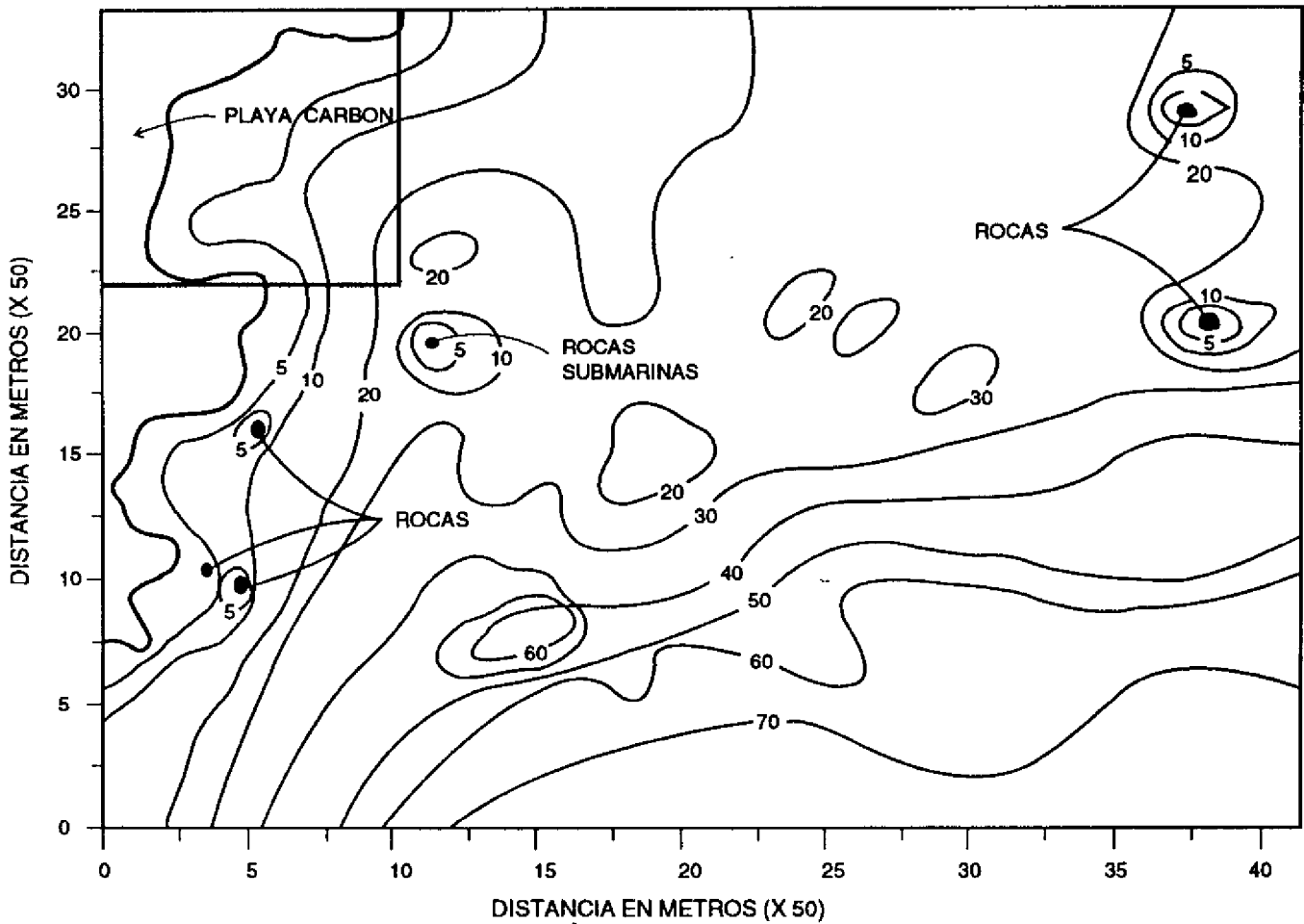


FIGURA 2. Contornos batimétricos (p.c.) de Playa Carbón al sur de Cabo Velas, provincia de Guanacaste.

más detallado sobre esta área, empleando para ello el perfil batimétrico que muestra la Figura 3. De esta forma se tomó en cuenta la transformación del oleaje a través de la plataforma continental frente a Cabo Velas, logrando mayor resolución de los parámetros físico-oceanográficos cerca de la costa (Hales, 1985).

Para el análisis de transporte de sedimentos y corrientes a lo largo de la costa en Playa Carbón se preparó una matriz del ángulo que hace la perpendicular del contorno de profundidad con respecto al eje vertical (eje "y"). Estos valores representan el promedio para cada rejilla de 50 metros del área más próxima a la playa (recuadro en la Figura 2).

RESULTADOS Y DISCUSION

El análisis de la información obtenida del documento "SSMO" indica que la dirección predominante del viento y oleaje para todo el año es del oeste, seguida por el suroeste (Cuadro 1), presentándose una mayor frecuencia durante la época lluviosa (mayo, junio, julio, agosto, setiembre y octubre). Para la época seca (noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril), la mayor frecuencia de viento y oleaje es del noroeste seguida por el norte. Oleaje y viento del sureste tienen mayor frecuencia, seguida por el sur, respecto de las otras direcciones según estos registros.

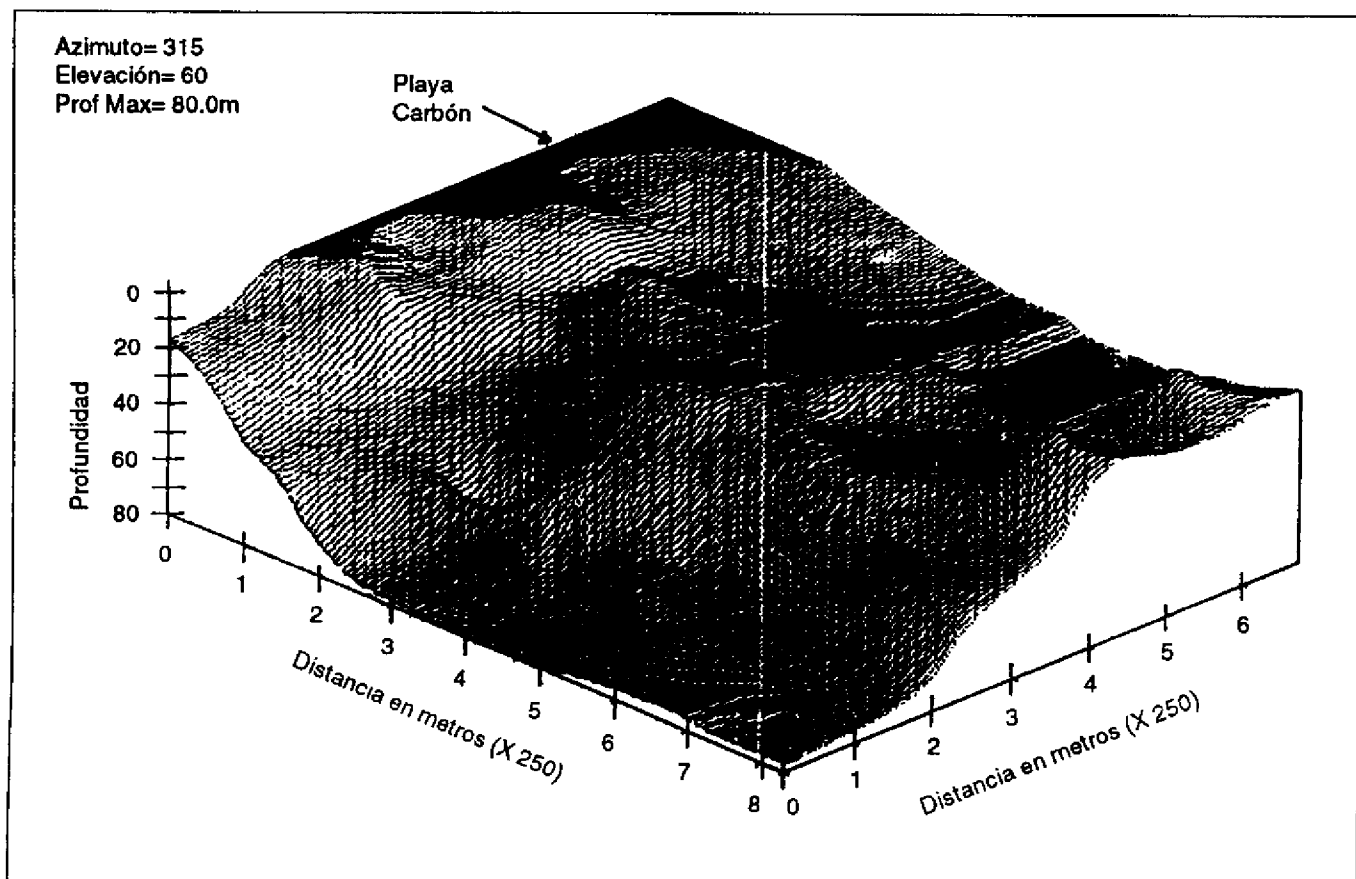


FIGURA 3. Batimetría en tres dimensiones de Playa Carbón, al sur de Cabo Velas, provincia de Guanacaste.

Con respecto a la altura del oleaje, el mayor porcentaje de frecuencia de altura de oleaje durante el año es para alturas del intervalo 0,9-1,2 metros (Cuadro 2), siendo éstas más frecuentes en la época lluviosa. Le siguen las de 0,3-0,6 metros y 1,5-1,8 metros, las cuales también, son más frecuentes en la época lluviosa.

Es importante mencionar que aunque la mayor frecuencia de oleaje no se da para la época seca, sí se presenta en ella el mayor porcentaje de frecuencia de las máximas alturas de olas generadas en la región, como muestra por ejemplo, el mes de enero, con alturas de hasta 7,0 a 7,6 metros (Cuadro 2).

El período de ola de máxima frecuencia es menor de 6 segundos para toda la época del año (Cuadro 3), mostrando una

mayor frecuencia en la época seca. Este es seguido por otros de entre 6 y 7 segundos, con indicación de mayor frecuencia en la época lluviosa, como se muestra por ejemplo, para el mes de octubre.

El mayor porcentaje de frecuencia de la magnitud de las velocidades del viento, durante todo el año, es para el intervalo 2,1-5,1 m/s (Cuadro 4), seguido por velocidades de 5,7-10,8 m/s, presentando mayor frecuencia para la época lluviosa. Por otro lado, velocidades de viento que superan los 17,5 m/s presentan mayor frecuencia para los meses de verano, con probabilidad de alcanzar los 24,7 m/s en los meses de enero y febrero.

El análisis de refracción de oleaje sobre Cabo Velas indica que, para la mayoría de las características de oleaje

CUADRO 4. Porcentaje de frecuencia de la velocidad del viento (m/s) por mes del año para la región suroeste de Nicaragua.

Mes	Velocidad (m/s)					
	0- 1,5	2,1- 5,1	5,7- 10,8	11,3- 17,0	17,5- 24,2	24,7
Enero	19,4	48,2	26,8	5,4	3,0	0,0
Febrero	24,8	44,9	25,7	4,1	0,3	0,1
Marzo	23,7	48,7	23,4	4,0	0,2	0,0
Abril	27,8	52,4	18,5	1,3	0,0	0,0
Mayo	22,6	56,5	20,4	0,5	0,0	0,0
Junio	15,2	54,6	29,0	1,2	0,0	0,0
Julio	17,0	57,0	24,4	1,6	0,1	0,0
Agosto	17,9	58,5	22,5	1,1	0,0	0,0
Setiembre	14,8	57,1	27,2	0,9	0,0	0,0
Octubre	13,0	53,7	32,3	1,0	0,0	0,0
Noviembre	14,4	57,5	26,1	1,9	0,2	0,0
Diciembre	18,9	50,6	26,8	3,6	0,1	0,0
Total	229,5	639,7	303,1	26,6	3,9	0,1

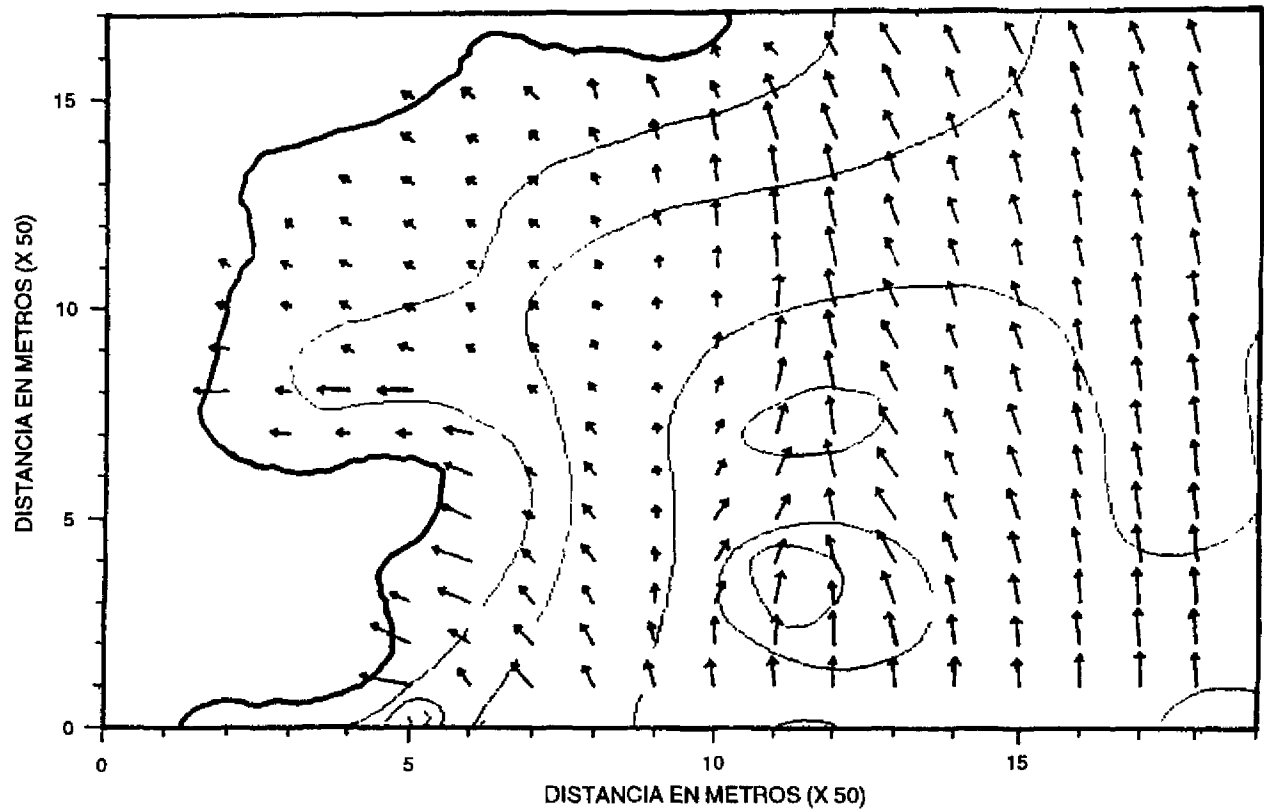


FIGURA 4-a. Vectores de ola en Playa Carbón, provincia de Guanacaste, para $H_s=1,0$ m, $T=4,5$ s y $O_s=5,0$ grad. (Abreviaciones en Cuadro 5).

CUADRO 5. Características del oleaje para la región de Cabo Velas.

Oo (grd)	T (s)	Ho (m)	Hs (m)	Oe (grd)	Hmax (m)	CC (cm/s)	TS (m ³ /día)
0	4,5	1,1	1,0	5,0	1,1	62	2
0	4,5	1,7	1,6	5,0	1,5	36	2
0	6,5	1,1	1,0	6,5	1,2	39	2
0	6,5	1,7	1,5	6,5	1,6	50	4
0	6,5	5,5	5,0	6,5	1,7	52	5
0	14,5	5,5	4,4	7,5	1,7	116	4
45	4,5	1,1	1,2	52,0	1,4	112	8
45	4,5	1,7	1,8	52,0	2,2	76	12
45	4,5	1,1	1,0	48,0	1,4	53	5
45	6,5	1,7	1,7	48,0	1,8	60	7
45	6,5	5,5	5,0	48,0	2,3	67	11
45	14,5	5,5	4,9	22,0	1,9	37	6

TERMINOLOGIA:

- Oo: Dirección en grados de las olas mar adentro desde donde vienen con respecto al oeste.
 T: Período de la ola en segundos.
 Ho: Altura de la ola en metros mar adentro.
 Hs: Altura de la ola en metros en la frontera del área seleccionada al frente de Playa Carbón (recuadro al sur de Cabo Velas, Figura 1).
 Oe: Dirección en grados de las olas desde donde vienen con respecto al oeste para el área seleccionada al frente de Playa Carbón.

CC: Velocidad de corriente en centímetros por segundo a lo largo de la costa al romper la ola frente a Playa Carbón.

Hmax: Altura máxima de rompiente de ola en metros frente a Playa Carbón.

TS: Transporte máximo de sedimento en metros cúbicos por día frente a Playa Carbón.

NOTA: Los parámetros Hmax, CC y TS representan los valores dados en la región representada por el recuadro de la Figura 2.

seleccionadas para propagarse sobre Playa Cabón, se produce una disminución en la altura de ola desde mar adentro (Cuadro 5). Esto indica que la plataforma submarina al frente de Cabo Velas disminuye la energía de las olas, para las condiciones de oleaje que se generan en aguas profundas.

El análisis de las características de oleaje sobre Playa Carbón propiamente se muestra también en el Cuadro 5, donde se incluyen además algunos parámetros importantes de la dinámica costera, como el transporte de sedimento (TS) y la velocidad de corriente a lo largo de la costa (CC), producida por la rompiente de las olas. Este análisis indica que, para la mayoría de las características de oleaje del oeste (Oo= 0 grados, Cuadro 5), se produce convergencia de energía de ola al frente de Playa Carbón, como consecuencia del efecto de lente (Pierson, 1950) del bajo cuya profun-

didad es menor de 1,66 metros (5 pies, Figura 2). Esta convergencia se evidencia por la convergencia y mayor longitud de los vectores de ola (Figura 4-a) y en los contornos de altura de ola (Figura 4-b) para la región al este del bajo de 1,66 metros. La altura máxima de ola rompiendo es de 1 a 2 metros al frente y al este del bajo de 1,66 metros, pero con alturas menores propiamente dentro de la playa (Figura 4-b).

La condición más severa de oleaje del oeste se muestra en la Figura 5. Se pueden generar alturas de olas rompiendo sobre los 3 metros al oeste del bajo de 1,66 metros. Sin embargo, alturas menores de 1 metro alcanzan la playa.

Cerca de la playa pueden producirse rompientes de olas que generan corrientes a lo largo de la costa (CC) entre 36 y 116 cm/s y producir un transporte de sedimentos (TS) de hasta 9 m³/día (Cuadro 5).

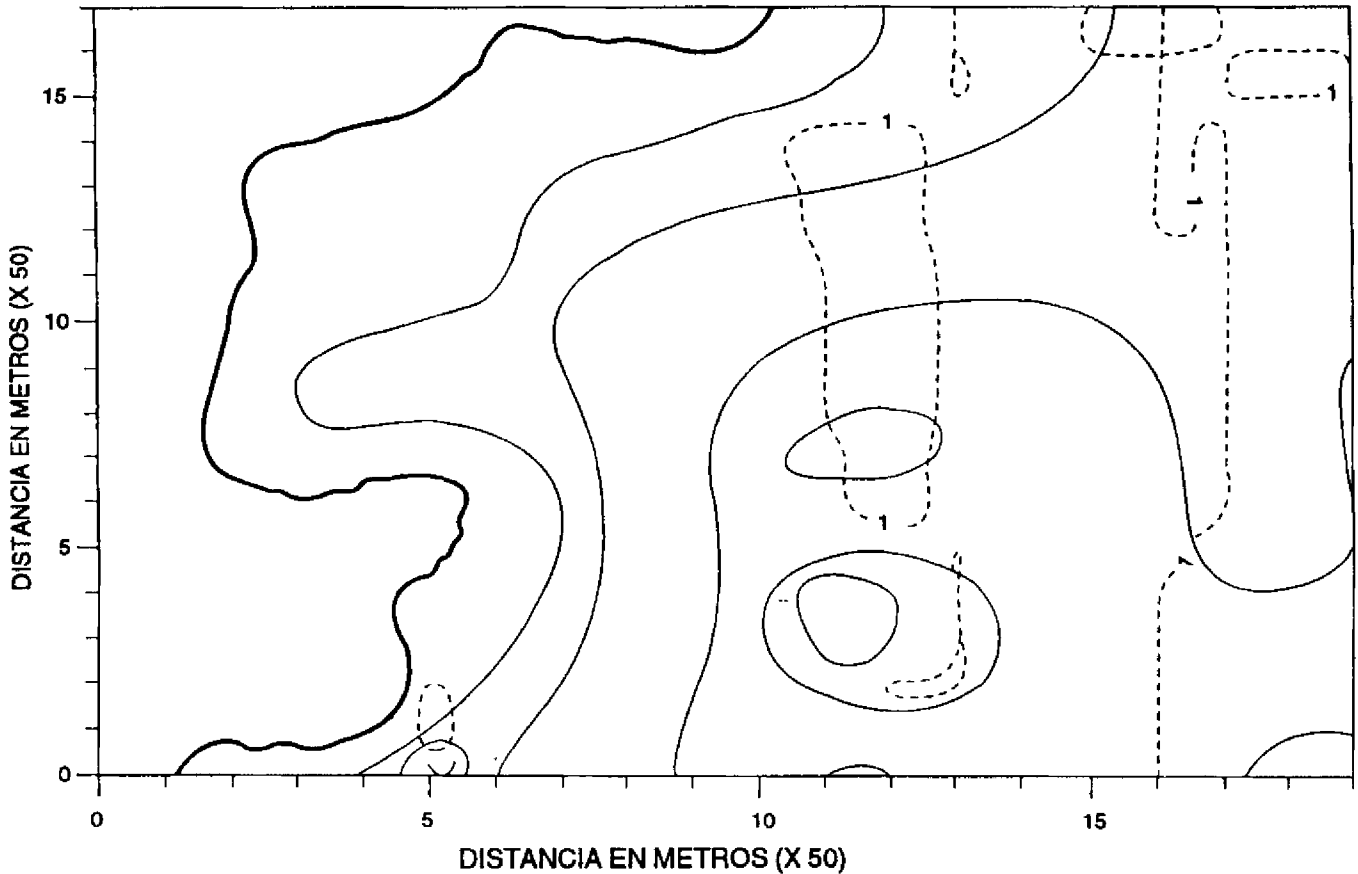


FIGURA 4-b. Contornos de altura de ola (m) en Playa Carbone, Guanacaste, para $H_s=1,0$ m, $T=4,5$ s y $O_s=5,0$ grad.

El oleaje del suroeste ($O_o=45$ grados, Cuadro 5) muestra un patrón diferente al anterior, como se nota en la Figura 6-a. El bajo de 1,66 metros al suroeste de la Playa Carbone hace que el oleaje converja y penetre más sobre la playa, como lo muestran los vectores de ola (Figura 6-a) y los contornos de altura de ola (Figura 6-b). La condición más severa analizada produce rompientes sobre los 3 metros al oeste del bajo de 1,66 metros, mientras que olas con alturas menores de 1 metro rompen cerca de la playa (Figura 7).

Para oleaje del suroeste se generan condiciones más severas, presentándose corrientes a lo largo de la costa entre 39 y 143 cm/s y transporte de sedimentos de hasta 12 $m^3/día$ afuera de la playa (Cuadro 5).

CONCLUSIONES

La base de datos más ampliamente consultada para estudios climatológicos (SSMO) ha sido utilizada para conocer las características del oleaje y viento mar afuera sobre el Pacífico de Costa Rica. Una vez conocidas estas características se pueden utilizar modelos numéricos para determinar los patrones de oleaje sobre la costa, el transporte de sedimentos y organismos, y las corrientes costeras que podrían generarse en la zona.

Este estudio indica que Playa Carbone es una ensenada protegida para las condiciones de oleaje producidas al frente de Cabo Velas. Los resultados obtenidos en este estudio sirven como base de información para orientar sobre la

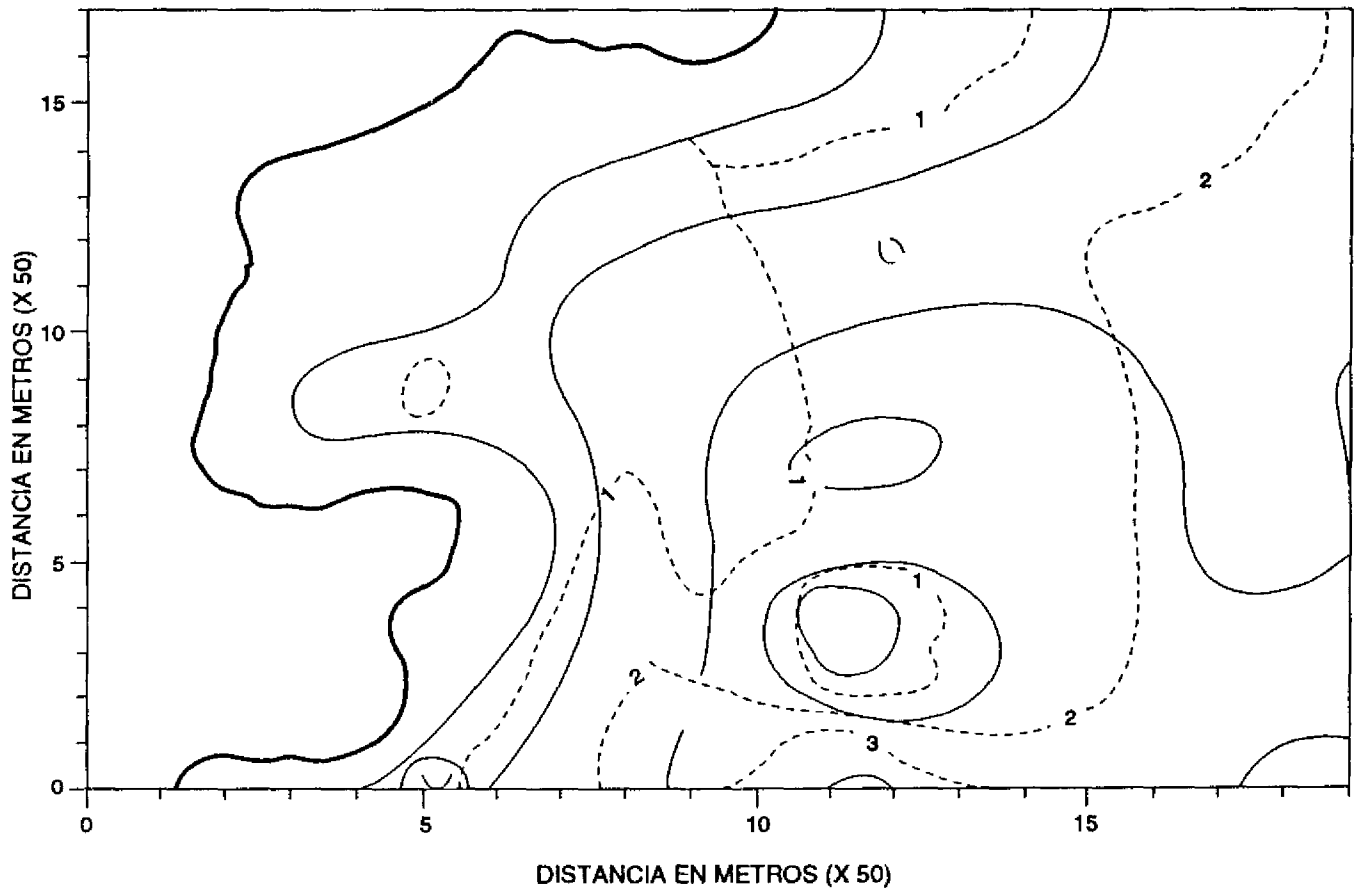


FIGURA 5. Contornos de altura de ola (m) en Playa Carbón, Guanacaste, para $H_s=5,5$ m, $T=14,5$ s y $O_s=6,5$ grad.

ubicación de estructuras costeras para el uso recreacional de la zona.

AGRADECIMIENTO: Al M.Sc. Jorge Campos de ECOTEC por la revisión y sugerencias a este trabajo. Al personal de ECOTEC por el apoyo en las mediciones de campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Dobson, R. S. **Some applications of a digital computer to hydraulic engineering problems.** Technical Report No. 80, Department of Civil Engineering, Stanford University. 1967.
- Ebersole, B. A. **Refraction-diffraction model for linear water waves.** *Journal of Waterways, Ports, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE. 1984.
- Ebersole, B. A., Ciolone, M. A. y Prater, M. D. **Regional coastal processes numerical**

modeling system. Report 1, RCPWAVE - A linear wave propagation model for engineering use. U. S. Army Corps of Engineers. Vicksburg, Miss. 1986.

- Hales, L. S. **Water wave refraction/diffraction/shoaling investigation, Crescent City, California.** Miscellaneous paper CERC-85-3. Waterways Experiment Station, Corps of Engineers. Vicksburg, Mississippi 57 p. 1985.
- Harrison, W. y W. S. Wilson **Development of a method for numerical calculation of wave refraction.** Coastal Eng. Res. Center. U. S. Army Corps of Eng., Tech. Mem. No. 6, 64 p. 1964.
- Johnson, J. W., W. P. O'Brien y J. D. Issacs. **Graphical construction of refraction diagrams.** U. S. Navy, H. O. Pub. No 605, 45 p. 1948.
- Komar, P. D. **Beach Processes and Sedimentation.** Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall. 429 p. 1976.

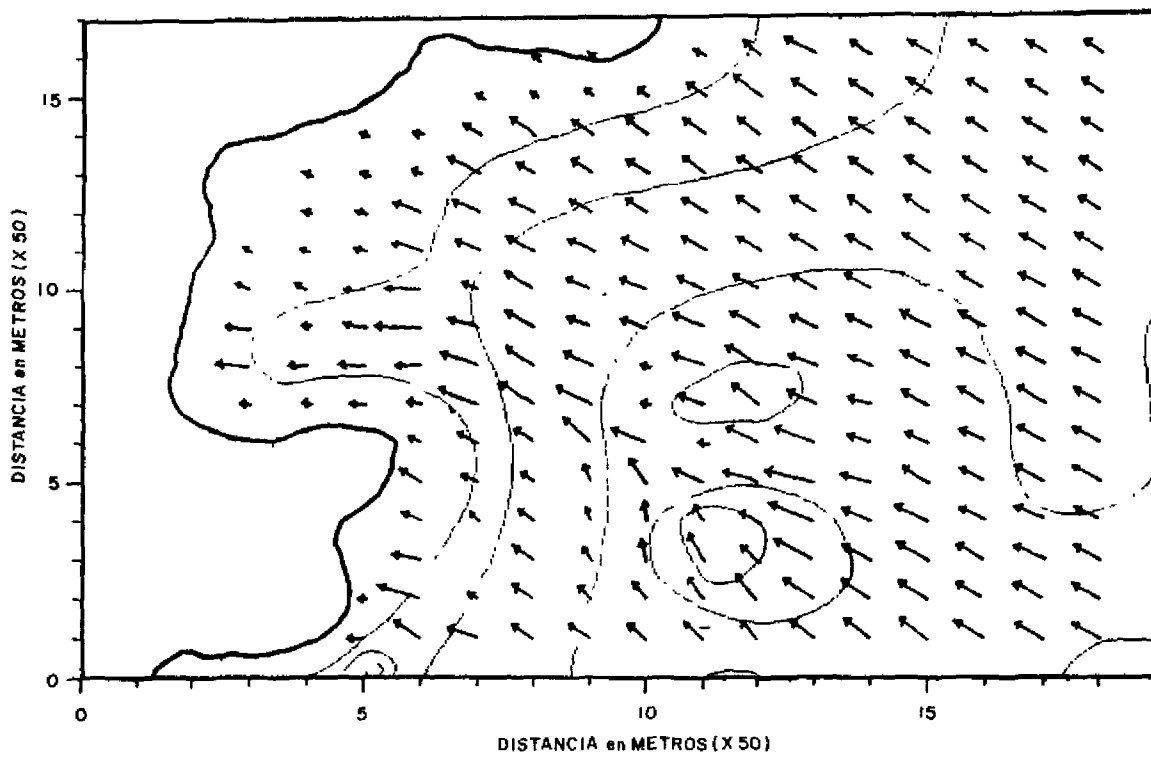


FIGURA 6-a Vectors de ola en Playa Carbón, provincia de Guanacaste, para $H_s=1,2$ m, $T=4,5$ s y $O_s=5,2$ grd.

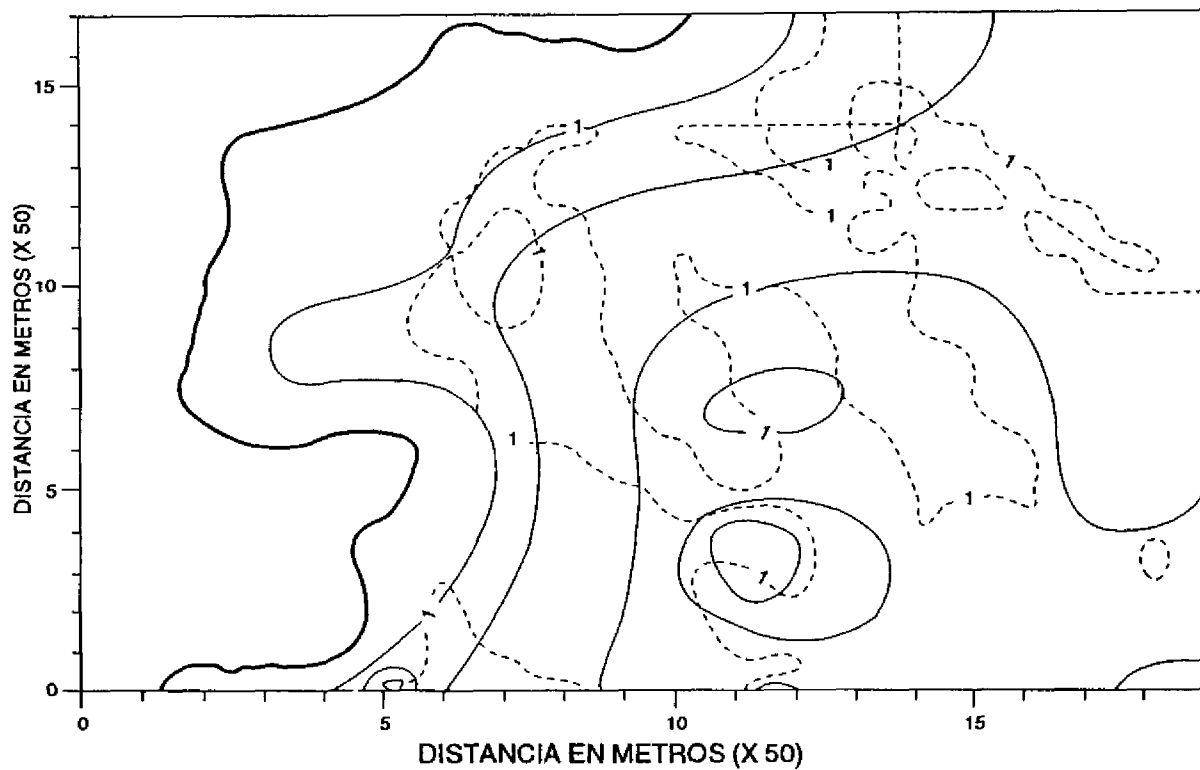


FIGURA 6-b. Contornos de altura de ola (m) en Playa Carbón, Guanacaste, para $H_s=1,2$ m, $T=4,5$ s y $O_s=52$ grd.

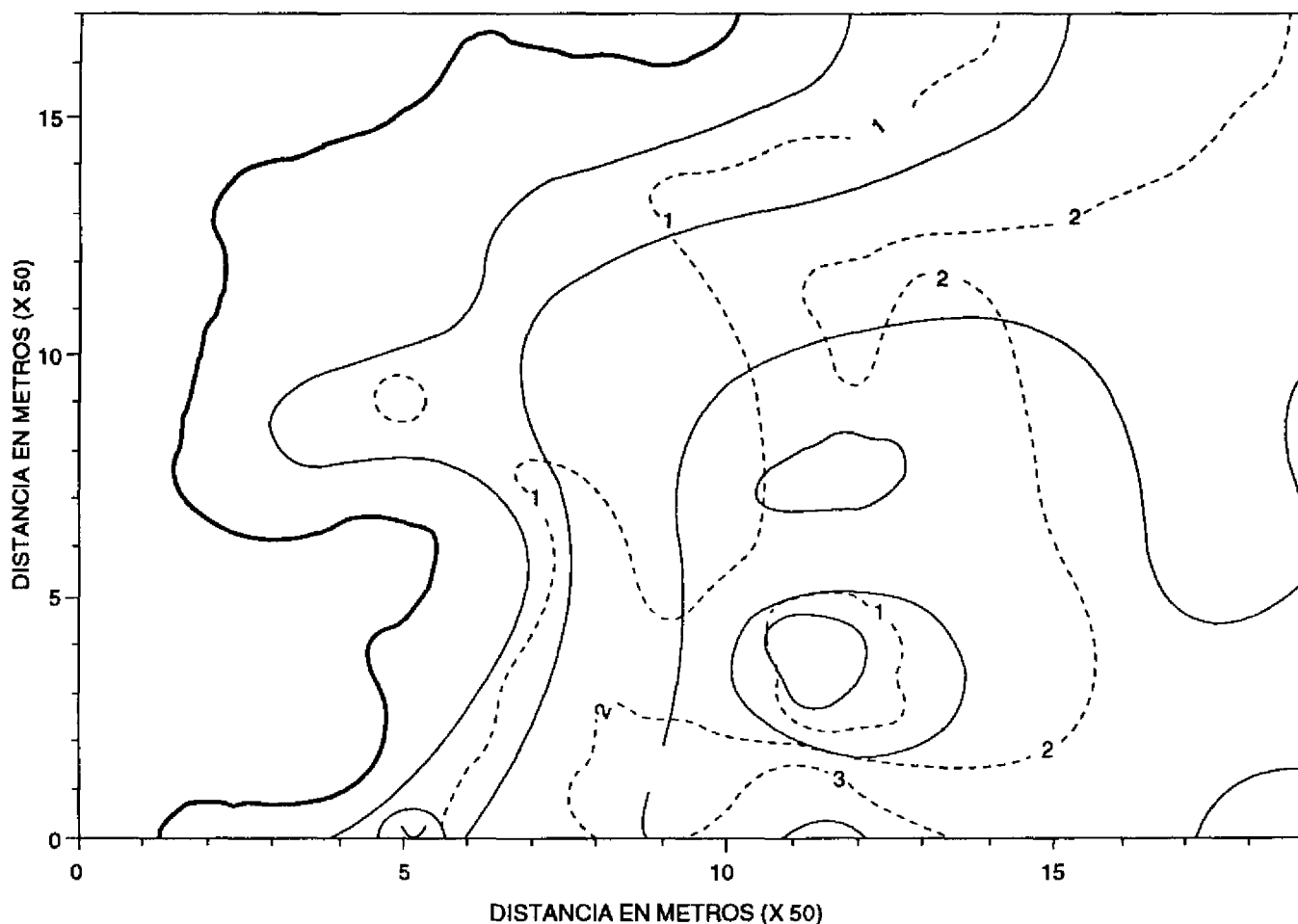


FIGURA 7. Contornos de altura de ola (m) en Playa Caribón, Guanacaste, para $H_s=4,9$ m, $T=14,5$ s y $O_s=22$ grd.

Lizano, O G. **Modelo de predicción de olas generadas por huracanes en el Mar Caribe.** Tesis de Doctorado, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez. 118 p. 1938.

Naval Oceanography Command. **Summary of Synoptic Meteorological Observations (SSMO).** Central American Coastal Marine Area, West Coast. Vol. 2. NSTL Station Bay, St. Louis, MS. 39529. 1981.

Pierson, W. J., Jr. **The Interpretation of Crossed Orthogonals in Wave Refraction Phenomena.** TM-21, U. S. Army, Corps of Engineers, Beach Erosion Board, Washington, DC. 1950.

Pierson, W. J., G. Newmann y R. W. James. **Practical Methods for Observing and Forecasting Ocean Waves by Means of Spectra and Statistics.** H.O. Publication 603, U. S. Naval Oceanographic Office, NSTL Station, Miss 1955.

U. S. Army Coastal Engineering Research Center. **Shore Protection Manual.** 2 Vols, U. S. Government Printing Research Center, Washington, D. C. 1984.

Wilson, W S **Improving a Method for Numerical Construction of Wave Rays.** Master Thesis, College of William and Mary, Williamsburg, Va., 60 p. 1964.