

# Simulación de Oleaje durante el huracán Joan (1988) a su paso por el Mar Caribe de Costa Rica

Omar G. Lizano\*  
Roberto J. Moya\*\*

## Abstract

A wind and wave numerical simulation model for hurricanes was used to study deep water wave characteristics during Hurricane Joan in their crossing to the Caribbean Sea of Costa Rica on October 1988.

A forecast every 3 hours of the spatial and temporal distribution of the waves and wind was made during 72 hours, starting when the hurricane was in front of the Panamanian coast on Wednesday October 19, and ending when the hurricane hit the Nicaraguan coast on Saturday October 22.

The maximum wave's height generated around the hurricane eye was computed to be between 5 and 9 meters during the simulation period. Waves with heights between 2 and 3 meters was observed along the Panamanian coast. Over the Costa Rica's Caribbean Sea, the maximum wave height, with some probability to reach the coast, was estimated between 2 and 3 meters, when the hurricane was northeast of Limon on Friday October 21. Waves with higher energy were generated after that hours, but going outward the coast following the wind circulation patterns. When the hurricane was approaching the Nicaraguan coast, waves with heights over 8 meters and normally directed to the north coast of Bluefields were generated.

The wind spatial distribution showed a weakening of hurricane Joan when it was semistationary in front of Panamanian coast, whereas it showed an strengthening before the Nicaraguan coast approaching, associated with sea surface wind velocities over 120 km/h.

\* Centro de Investigaciones en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad de Costa Rica.

\*\* Centro de Investigaciones Geofísicas, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

## Resumen

Un modelo numérico de simulación de viento y oleaje durante huracanes fue utilizado para estudiar las características de las olas en agua profunda durante el huracán Joan a su paso por el Mar Caribe de Costa Rica en octubre de 1988.

Se realizó un pronóstico, cada 3 horas, de la distribución espacial y temporal del oleaje y viento, durante 72 horas, desde que el huracán se encontraba frente a las costas de Panamá el miércoles 19 de octubre hasta que alcanzó tierras nicaragüenses el sábado 22 de octubre.

La altura máxima de ola alcanzada alrededor del ojo del huracán fué calculada entre 5 y 9 m durante el periodo de simulación. Olas con alturas entre los 2 y 3 m, se muestran dirigidas hacia las costas de Panamá. Sobre el Caribe de Costa Rica la altura máxima de ola que podría estar dirigida hacia la costa se calculó entre 2 y 3 m cuando el huracán se encontraba al Noreste de Limón el viernes 21 de octubre. Olas con mayor energía se produjeron luego de estas posiciones, con alturas sobre los 5 m en agua profunda, pero dirigidas hacia afuera de la costa, según el patrón de circulación de viento dado para esas posiciones. Cuando el huracán se aproximó a las costas de Nicaragua, olas sobre los 8 m de altura en agua profunda, fueron generadas y dirigidas perpendicularmente hacia la costa al Norte de Bluefields.

La distribución espacial de los vientos mostró que el huracán Joan tuvo un debilitamiento cuando estuvo semiestacionado frente a las costas de Panamá, mientras que se fue intensificando conforme se acercaba a las costas de Nicaragua, alcanzando velocidades, sobre la superficie del océano, de hasta 120 km/h.

## Introducción

El huracán Joan fue el penúltimo fenómeno meteorológico de gran escala de la temporada de 1988. Fue el responsable de un estimado de 216 muertes (Lawrence, 1989) en Nicaragua, Costa Rica, Colombia, Venezuela y Panamá. Se estimaron en 1.5 millones de dólares las pérdidas causadas en estos países y en las Antillas Holandesas, siendo Nicaragua el país mas afectado, donde las pérdidas se estimaron en 840 millones de dólares (Gerrish, 1989).

Ha sido poco común que tormentas tropicales o huracanes bordeen la costa norte de Sur América pasando sobre Curacao y sobre la Península Guajira de Colombia (Gerrish, 1989) como lo hizo el huracán Joan. Sólo la tormenta tropical June en 1933 hizo una trayectoria similar, aunque las trayectorias de Edith e Irene en 1971 fueron un poco al norte de esa área.

Joan alcanzó la condición de huracán a sólo 55.6 kilómetros (30 mn) de la costa norte de Colombia, una condición no usual, ya que la proximidad de la costa inhibe el desarrollo de estos fenómenos meteorológicos. Por otro lado, es el

segundo huracán que choca con la costa sureste de Nicaragua desde 1911, siendo este huracán el más fuerte registrado (categoría 4 en la escala Saffir/Simpson) al sur de los 12 grados latitud norte (Gerrish, 1989).

Una vez que alcanzó la condición de huracán el martes 18 de octubre, del análisis del departamento de pronóstico del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) de Costa Rica y de los informes recibidos del Centro Nacional de Huracanes (CNH) en Miami, se dio una alerta nacional debido a la alta probabilidad de que el huracán chocara con la costa costarricense (IMN, 1988). La Comisión Nacional de Emergencia de Costa Rica alertó sobre la necesidad de evacuar la Zona Atlántica ya que se esperaban vientos sostenidos de 61.1 m/s (220 km/h), inundaciones por lluvia con precipitaciones de 250 a 400 litros de agua por metro cuadrado y un oleaje de 5 a 8 m de altura (IMN, 1988). Por otro lado, mientras la amenaza del huracán permanecía, boletines emitidos por TV, procedentes de la Comisión Nacional de Emergencias, estimaban alturas de olas entre 6 y 12 m que podían impactar la costa Atlántica de Costa Rica.

### Metodología

Un modelo numérico de simulación de viento y generación de oleaje, ajustado para el pronóstico durante huracanes (Lizano, 1990), fue utilizado para modelar las características de oleaje durante el huracán Joan.

El tamaño del área (Figura 1) y el tamaño de rejilla ( $DX=55.6$  km o 30 mn) se escogieron de tal manera que se pudiera usar el máximo de la capacidad de la memoria de una microcomputadora del tipo personal y se lograra resolver las características del huracán sin pérdida de resolución en altura de ola. Los límites sobre tierra (línea entrecortada en Figura 1), de la malla que utiliza el modelo de generación de olas, se seleccionaron una vez que los contornos de la costa fueron digitalizados.

La simulación se realizó durante 72 h, con pronóstico para cada 3 h. Se inició ( $T(h)=0$  u hora 0 de simulación, ver Tabla 1) cuando el huracán se encontraba al Noreste de las costas de Panamá (Figura 1) el 19 de octubre a las 4 a.m. (hora local de Costa Rica) y finalizó cuando el huracán entraba en tierras Nicaragüenses a las 4 a.m. del 22 de octubre.

Los valores de las variables utilizadas por el modelo numérico: la presión atmosférica en el ojo del huracán (Figura 2), radio de vientos máximos (RMAX) (Figura 3) y la posición del huracán, para cada 6 h, fueron obtenidas de los informes suministrados al Instituto Meteorológico (Sede en el Aeropuerto Internacional Juan Santamaría) por el CNH en Miami, (Tabla 1). Información adicional de los RMAX del huracán fueron obtenidos del informe de Clark (1989).

**Tabla I**  
**Parámetros utilizados para el pronóstico del huracán Joan (1988) - Mar Caribe**

T(h)	T-Local	H-Simul	Long(Grd)	Lat(Grd)	Pres(MB)	RMAX(Km)
	19 Oct.					
00	04:00 am	3	78.2	11.2	974.0	06.4
06	10:00 am	9	78.8	11.4	954.0	05.0
12	04:00 pm	15	79.3	11.3	958.0	05.6
18	10:00 pm	21	79.8	11.3	960.0	11.5
	20 Oct.					
24	04:00 am	27	79.7	11.2	968.0	09.3
30	10:00 am	33	79.7	11.2	970.0	07.2
36	04:00 pm	39	79.9	11.3	973.0	08.8
42	10:00 pm	45	80.5	11.5	970.0	09.4
	21 Oct.					
48	04:00 am	51	81.1	11.6	970.0	18.3
54	10:00 am	57	81.5	11.6	955.0	18.5
60	04:00 pm	63	82.1	11.8	946.0	18.3
66	10:00 pm	69	83.0	11.9	935.0	18.0
	22 Oct.					
72	04:00 am	75	83.9	12.1	937.0	18.3

T: Tiempo en horas; T-Local: tiempo local; H-Simul: hora de simulación; Long: longitud en grados; Lat: latitud en grados; Pres: presión de milibares en el ojo del huracán, RMAX: radio de vientos máximos en kilómetros.

El modelaje numérico y el análisis de los datos fue realizado utilizando una IBM PS-2 Modelo 80, del Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI) de la Universidad de Costa Rica. La digitalización de los límites de la costa fueron hechos con un digitalizador Bit Pad One de la Summagraphics. La graficación de los resultados se realizaron con programas de computadora (Lizano, 1988) que

utilizan las subrutinas Plot88 de Plotworks Inc., diseñados para microcomputadoras del tipo personal.

### Discusión de Resultados

La aplicación del modelo numérico de simulación de viento y olas al área seleccionada se muestra en las Figuras 4 a la 14.

Cuando el huracán estuvo semiestacionario entre el miércoles 19 y jueves 20 de octubre, se alcanzó la máxima altura de ola en agua profunda, frente a las costas de Panamá. Al final de este estado semiestacionario (hora 33 de simulación), se generaron olas que podían alcanzar la costa Panameña, como muestran los vectores de ola de la Figura 4, con alturas entre 2 y 3 m, como muestran los contornos de altura de ola de la Figura 5. La persistencia de los vientos sobre la superficie del océano, un hecho conocido (Kinsman, 1965) que suministra mayor energía al crecimiento de olas, produjo el máximo desarrollo de olas durante esas horas. Mientras tanto en Costa Rica, se pudieron estar generando olas con alturas menores a 1 m, como muestra la Figura 5.

La máxima altura de ola que se generó en agua profunda frente a la costa Caribeña de Costa Rica, y que aún pudo estar alcanzando la costa (Figura 6), por efecto de refracción de olas sobre la plataforma continental, se estimó sobre la hora 57 de simulación, cuando el huracán se encontraba frente a Limón el viernes 21 de octubre. Olas con alturas entre 2 y 3 m se generaron durante esas horas (Figura 7). Mayor altura de ola, entre los 3 y 5 m (Figura 9), estarían produciéndose a lo largo de la costa caribeña de Costa Rica mientras el huracán continuaba hacia Nicaragua, pero dirigidas hacia afuera de la costa, según el patrón de viento existente en esas posiciones, como muestran los vectores de viento y ola en la Figura 8.

Olas con alturas sobre los 8 m, generadas a la derecha del radio de vientos máximos del huracán y dirigidas hacia las costas de Nicaragua (Norte de Bluefields), fueron calculadas por el modelo, en la hora 72 de simulación, justo antes de que el huracán Joan entrara en tierras Nicaragüenses (Figuras 10 y 11) el sábado 22 de octubre. Esta mayor altura es una consecuencia de la intensificación que sufrió el huracán cuando se aproximó a Nicaragua. La mayor altura de las olas (o asimetría del campo de olas) a la derecha del radio del huracán es una característica típica durante un huracán. Es producida como respuesta a un efecto resonante, o de retroalimentación, entre las olas y la velocidad de avance (VF) de la tormenta, como señala SWAMP (1985). Por otro lado, la asimetría en el campo de viento (como veremos) contribuye además, con esta asimetría en el campo de olas.

La simulación del patrón de vientos sobre la superficie del océano, mostró un debilitamiento del huracán cuando se encontraba semiestacionario frente a las

costas de Panamá (Figura 12). Gill (1982), señala que el paso de un huracán produce una disminución en la temperatura superficial del agua, producida por afloramiento de aguas de capas inferiores. Siendo la temperatura del agua una de las fuentes principales de energía de un huracán, la baja temperatura del agua, que probablemente se produjo mientras estuvo semiestacionario, contribuyó con su debilitamiento, como también señala Gerrish (1987). Por otro lado, una intensificación se produjo una vez que el huracán continuó hacia Nicaragua, como muestran los parámetros descritos en la Tabla 2, y como consecuencia, el patrón de viento se intensificó, como se aprecia en las Figuras 12, 13 y 14, alcanzando vientos sobre los 110 km/h, sobre la superficie del océano, cuando el huracán entraba en tierras nicaragüenses.

**Tabla 2**  
Valores de los parámetros que describen la evolución del huracán Joan (1988) a lo largo de la simulación

T(h)	T-Local	H-Simul	RMAX (km)	VF (km/h)	DP(MB)	VMAX (km/h)
12	04:00 pm	15	05.6	10.97	65.0	73.56
30	10:00 am	33	07.2	2.6	53.0	76.71
54	10:00 am	57	18.5	10.1	68.0	122.67
69	01:00 am	72	18.0	17.1	88.8	108.40

VF: velocidad de avance del huracán en kilómetros por hora

DP: diferencia de presión entre el ojo del huracán y la presión ambiental (1013 mb).

VMAX: velocidad máxima del viento alrededor del ojo del huracán sobre la superficie del océano en kilómetros por hora.

## Conclusión

Aunque la posición geográfica de Costa Rica, no corresponde a una zona de incidencia de huracanes, la posibilidad de ser impactados existe, como lo demostró una tormenta tropical en 1887 y los huracanes June en 1933 e Irene en 1971 (Newmann, 1981).

De la amenaza del huracán Joan surgió la necesidad de contar con las técnicas de pronóstico más avanzadas, que puedan servir de apoyo en la toma de decisiones de los organismos nacionales ante una emergencia de estos fenómenos meteorológicos. Por otro lado, la amplia información que se genera con un modelo numérico, como el utilizado en este estudio, puede emplearse en estudios de erosión costera, transporte de sedimentos, planificación para puertos,

construcciones costeras, diseño de estructuras en agua profunda, como plataformas petroleras, y en general, para estudios ambientales.

El modelo de generación de olas empleado en este estudio es un modelo de agua profunda (mayor que 150 m). Las olas sufren transformaciones (refracción, amortiguamiento, fricción, percolación, etc.), conforme se van acercando a la costa, experimentando aumento o disminución en su altura, según los rasgos batimétricos de la plataforma continental por donde se propagan (Knauss, 1972). En general, para costas que muestran contornos de profundidad paralelos a la costa, el valor de la altura de la ola en agua profunda, tiende a disminuir conforme se aproxima a la costa (McClenan, 1975).

Aunque no existen datos confiables de la altura de olas sobre la costa Caribeña de Costa Rica durante el huracán Joan, es necesario realizar el estudio de las transformaciones de las olas generadas en agua profunda, mediante modelos numéricos de refracción de olas, para obtener las características de ellas cerca de la costa, y cuyas alturas puedan ser comparadas con algunos valores observados por personal no entrenado de la Comisión Nacional de Emergencias de Costa Rica.

## Referencias

- Clark, G.B. and R.A. Case, "Annual data and verification tabulation Atlantic Tropical Cyclones 1988". *NOAA Tech. Memo. NWS NHC 42*. 164 pp., 1989.
- Gerrish, H.P., *Preliminary Report Hurricane Joan 10-23 October 1988*. No publicado, 1989.
- Gill, A.E., *Atmosphere-Ocean Dynamics*. Academic Press. 662 pp., 1982.
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional), *Boletín Meteorológico Mensual*, Año XII, No. 9 y 10. Departamento de Climatología, 1988.
- Kinsman, B., *Wind Waves, Their Generation and Propagation on the Ocean Surface*. Dover Publications, Inc. New York. 676 pp., 1984.
- Knauss, J.A., *Introduction to Physical Oceanography*. Prentice-Hall, Inc., New Jersey. 338 pp., 1978.
- Lawrence, M.B., "Return of the Hurricanes". *Weatherwise*, Vol. 42, No. 1. pp. 22-27, 1989.
- Lizano O.G., *Modelo de predicción de olas generadas por huracanes en el Mar Caribe*. Tesis de Doctorado. Universidad de Puerto Rico. Mayagüez Campus, 1988.
- Lizano, O.G., "Un modelo de viento ajustado a un modelo de generación de olas para el pronóstico de oleaje durante huracanes." *Revista Geofísica* No. 33, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, México, 1992.
- McClenan, C.M., "Simplified Method for Estimating Refraction and Shoaling Effects on Ocean Waves". *Tech. Memo. No. 59*. U.S. Army, Corps. of Engineers, Coastal Engineering Research Center, Fort Belvoir, 19 pp., 1975.

- Newmann, C.J., G.W. Cry, E.L. Caso and B.R. Jarvinen, *Tropical Cyclones of the North Atlantic Ocean, 1871-1980*. 174 pp., 1981.
- SWAMP Group: H. Hasselmann, K. Hasselman, S. Joseph, P. Kawai, S. Komen, G.J. Lawson, L. Linne, H. Long, R.B. Lybanon, M.m Macland, E. Rosenthal, W. Toba, Y. Uji, T. and W.J.P. de Voogt., *Sea Wave Modelling Project: An intercomparison study of wind-wave prediction model*. Plenum Pres. N.Y., 256 pp., 1985.

## HURACAN JOAN (1988) - MAR CARIBE

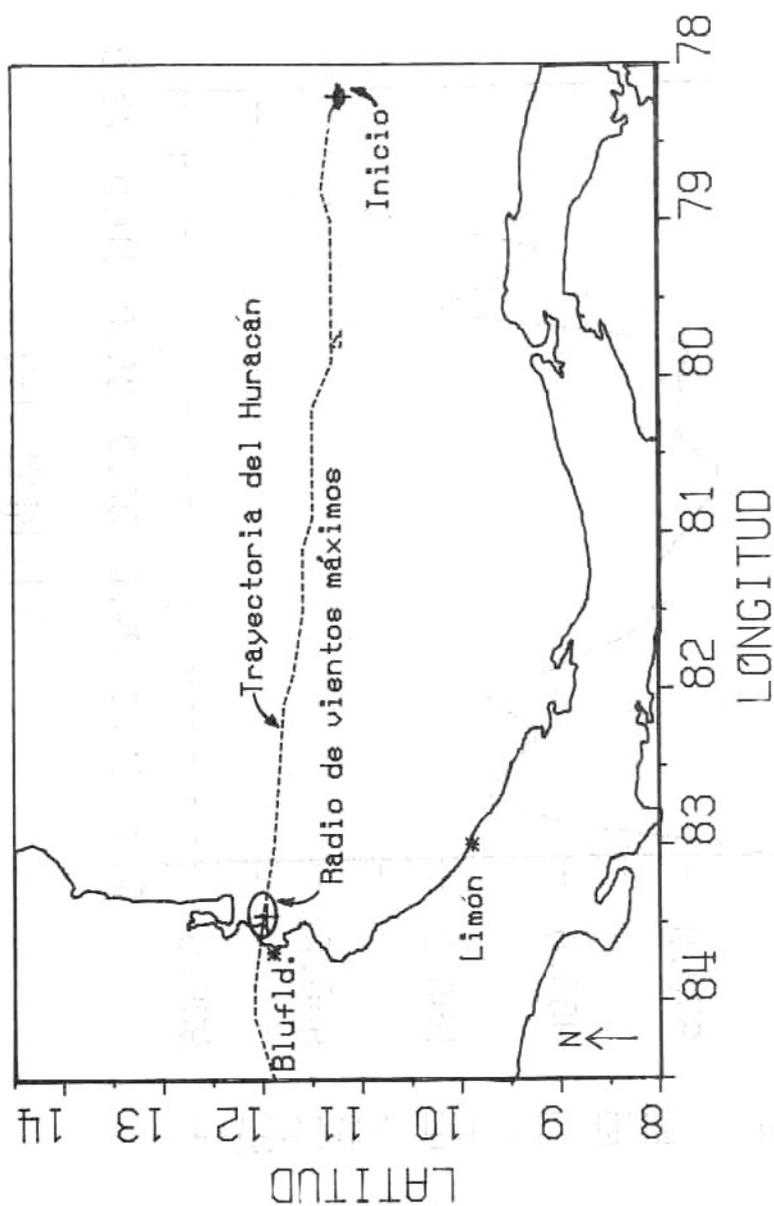


Figura 1 Area de simulación.

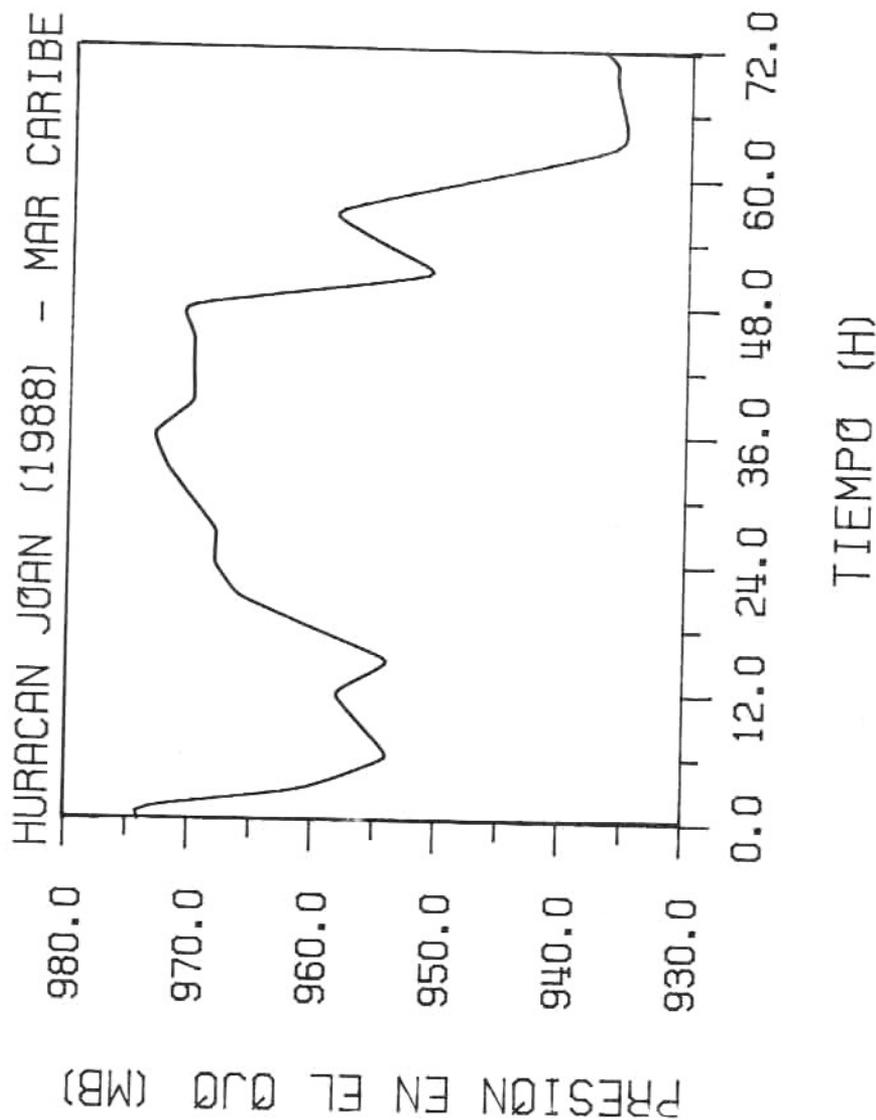


Figura 2 Variación de la presión en el ojo del huracán Joan durante las 72 horas de simulación.

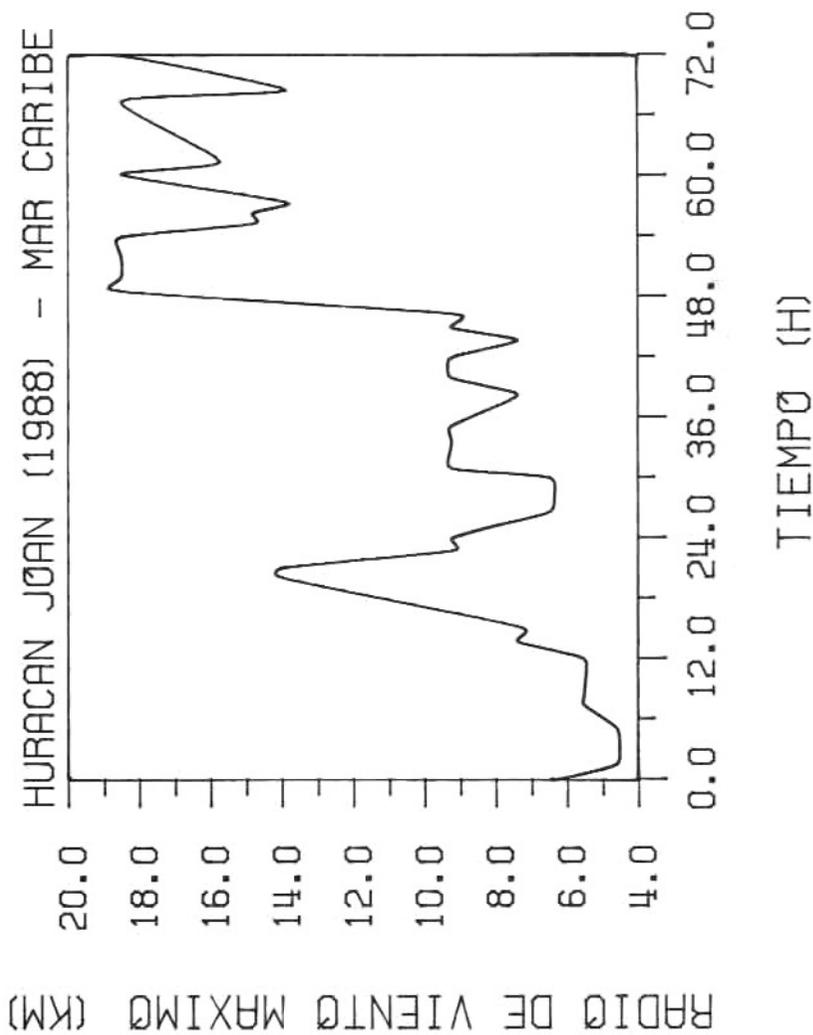


Figura 3 Variación del radio de vientos máximos del huracán Joan durante las 72 horas de simulación.

HURACAN JOAN (1988) - MAR CARIBE  
 VECTORES DE VIENTO Y OLA SIGNIFICATIVA A LA HORA : 33.0  
 RMAX= 7.2 KM ; VF=2.6 KM/HR ; DP= 53.0 MB ; DX= 55.6 KM

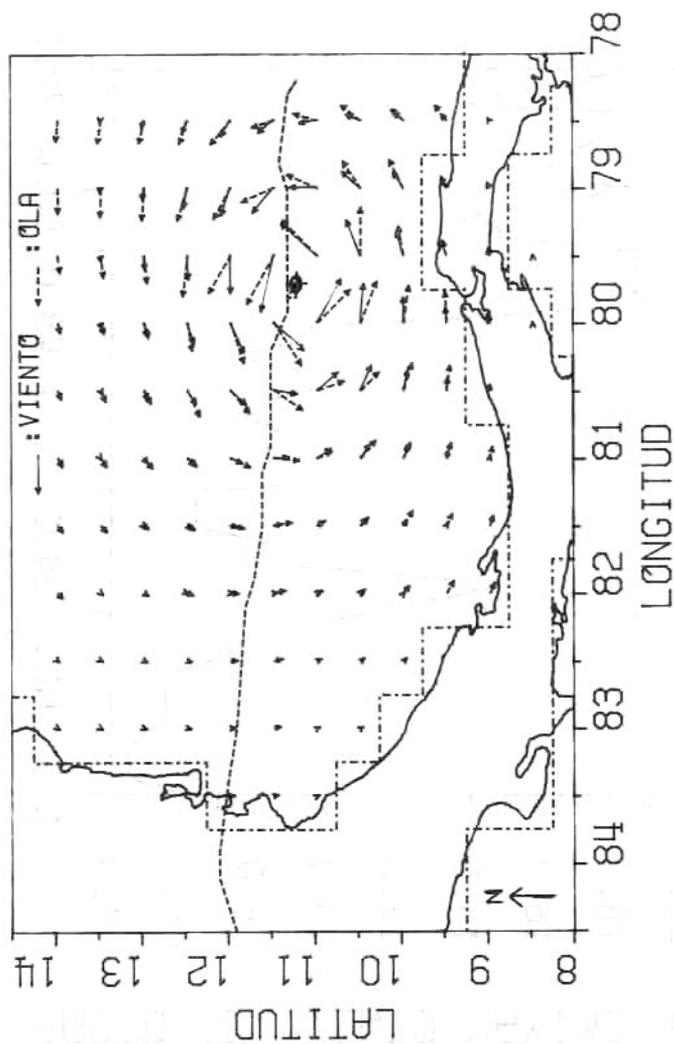


Figura 4 Vectores de viento y ola durante el huracán Joan a la hora 33 de simulación.

HURACAN JOAN (1988) - MAR CARIBE

ALTURA SIGNIFICATIVA DE OLA (M) A LA HORA: 33.0

RMAX= 7.2 KM ; VF=2.6 KM/HR ; DP= 53.0 MB ; DX= 55.6 KM

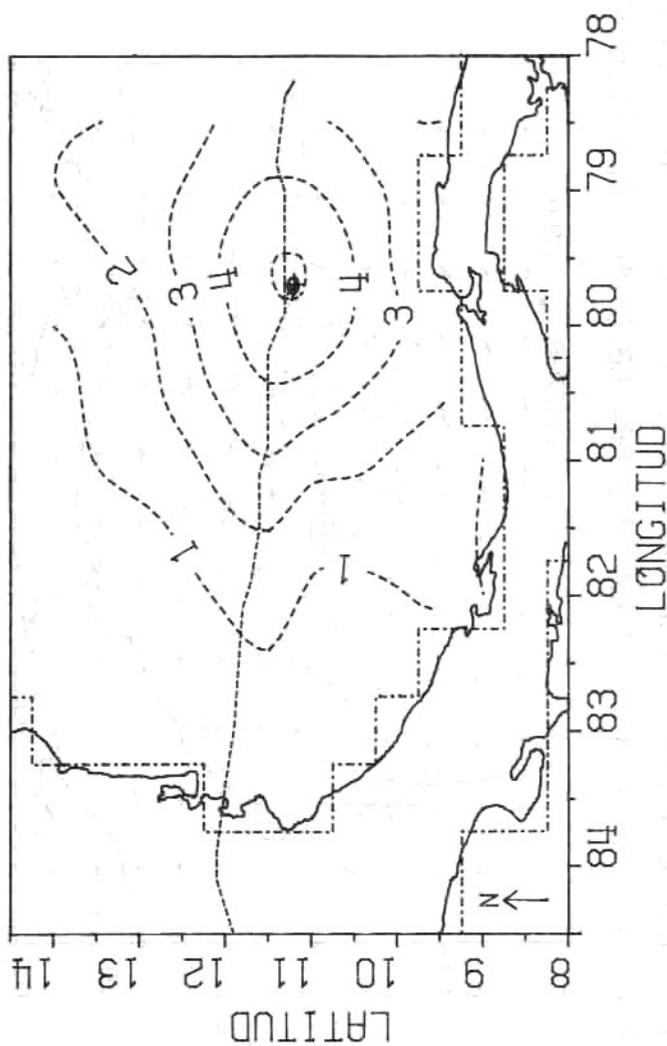


Figura 5 Contornos de altura de ola (m) durante el huracán Joan a la hora 33 de simulación.

HURACAN JOAN (1988) - MAR CARIBE  
 VECTORES DE VIENTO Y OLA SIGNIFICATIVA A LA HORA : 57.0  
 RMAX= 18.5 KM ; VF=10.1 KM/HR ; DP= 68.0 MB ; DX= 55.6 KM

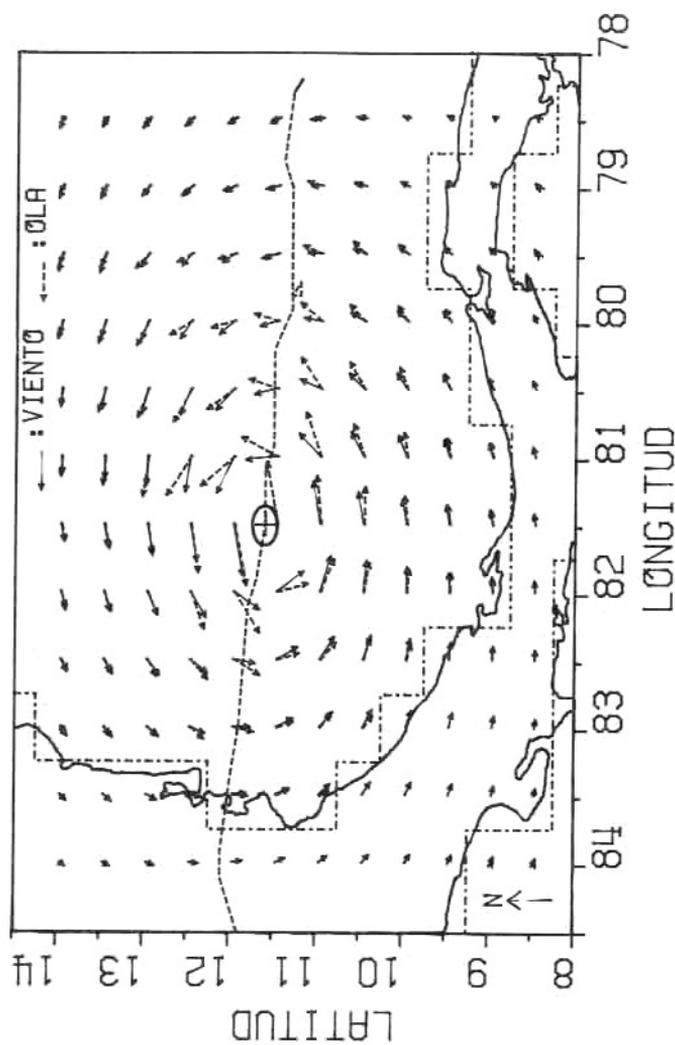


Figura 6 Vectores de viento y ola durante el huracán Joan a la hora 57 de simulación.

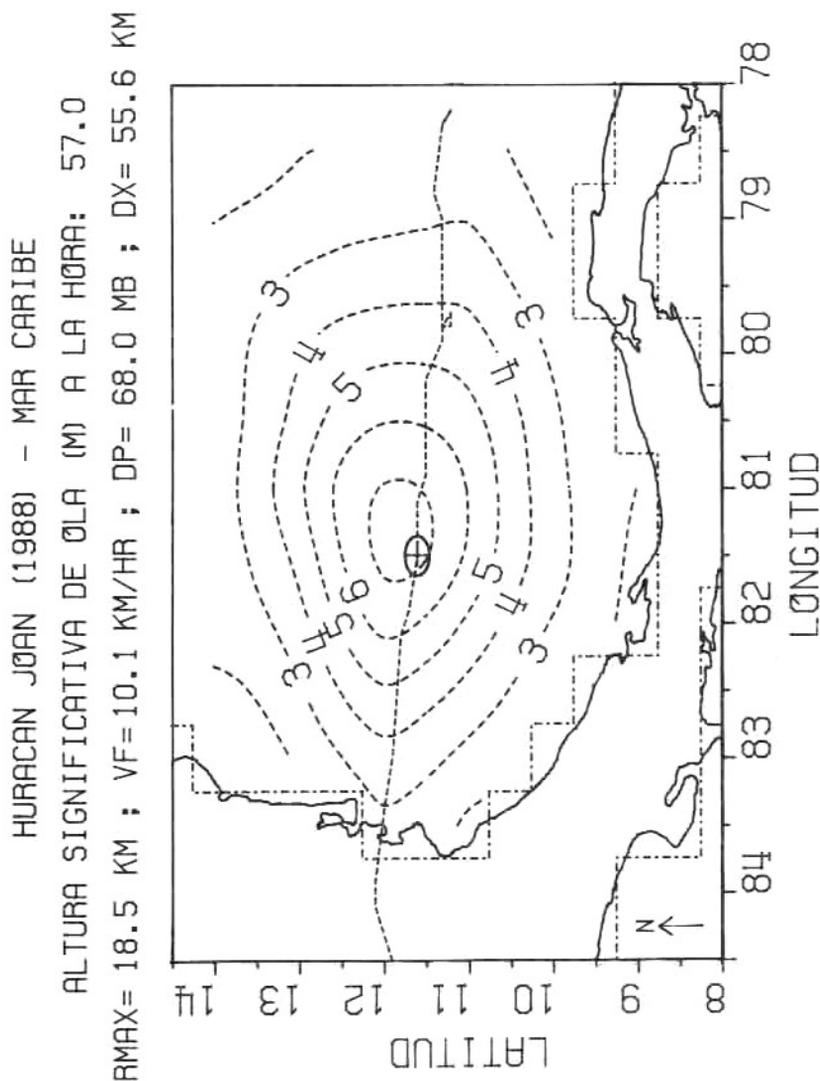


Figura 7 Contornos de altura de ola (m) durante el huracán Joan a la hora 57 de simulación.

HURACAN JOAN (1988) - MAR CARIBE  
 VECTORES DE VIENTO Y OLA SIGNIFICATIVA A LA HORA : 66.0  
 RMAX= 18.1 KM ; VF= 17.4 KM/HR ; DP= 83.0 MB ; DX= 55.6 KM

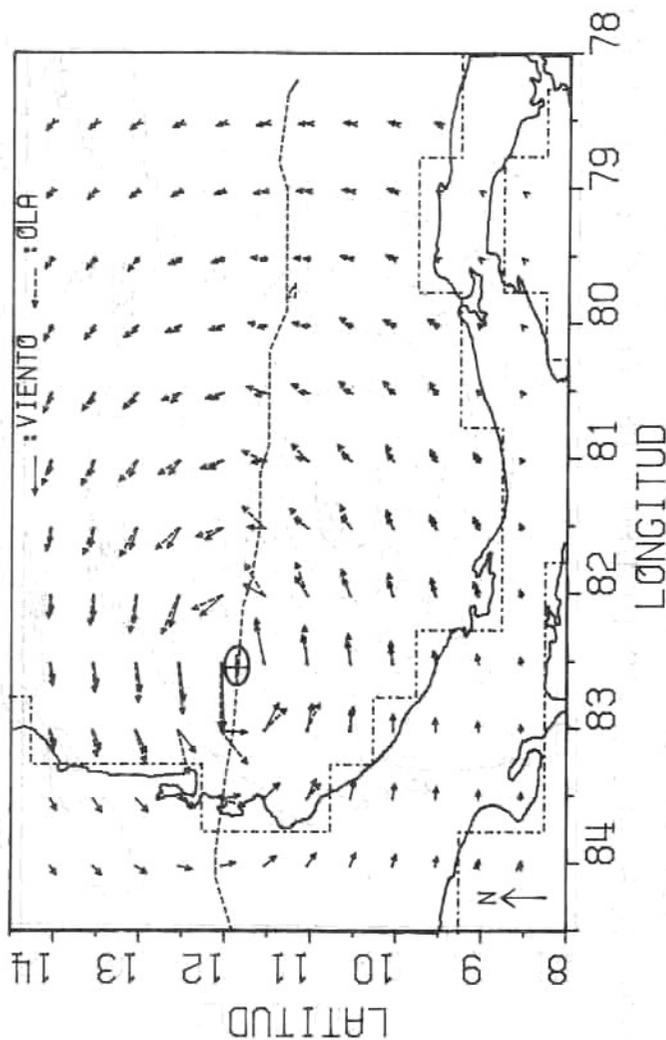


Figura 8 Vectores de viento y ola durante el huracán Joan a la hora 66 de simulación.

HURACAN JOAN (1988) - MAR CARIBE

ALTURA SIGNIFICATIVA DE OLA (M) A LA HORA: 66.0

RMAX= 18.1 KM ; VF=17.4 KM/HR ; DP= 83.0 MB ; DX= 55.6 KM

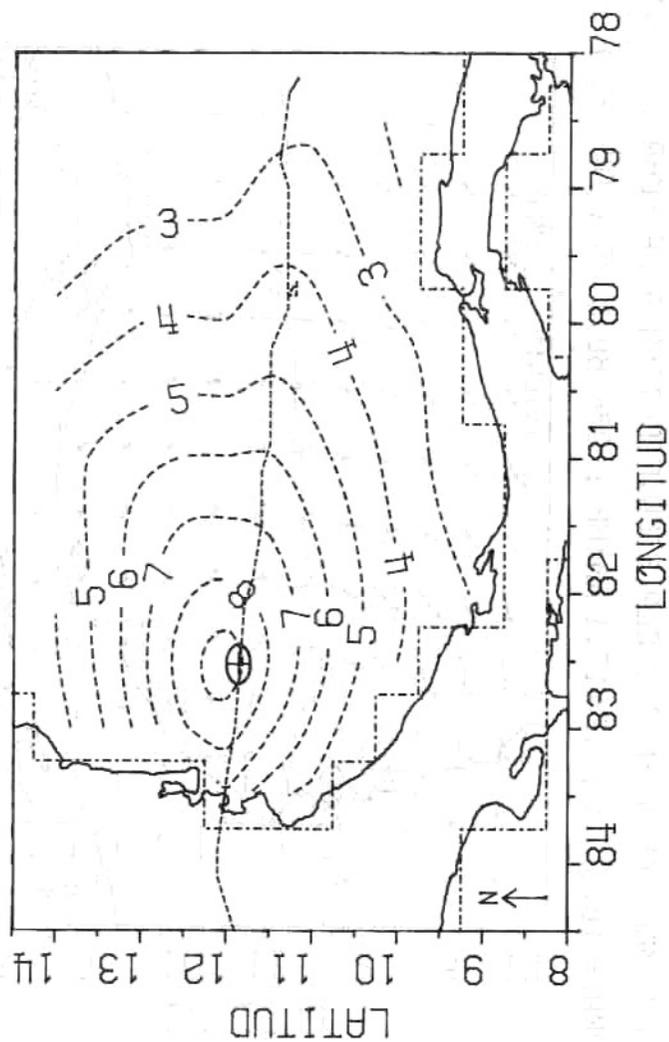


Figura 9 Contornos de altura de ola (m) durante el huracán Joan a la hora 66 de simulación.

HURACAN JOAN (1988) - MAR CARIBE

VECTORES DE VIENTO Y OLA SIGNIFICATIVA A LA HORA : 72.0

RMAX= 18.0 KM ; VF=17.1 KM/HR ; DP= 88.8 MB ; DX= 55.6 KM

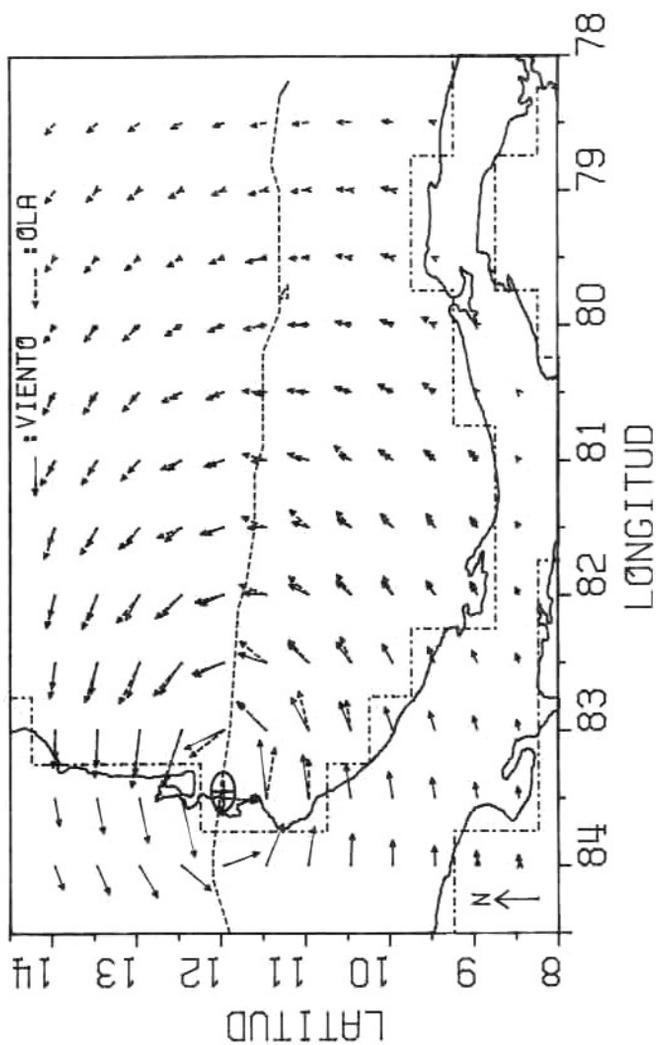


Figura 10 Vectores de viento y ola durante el huracán Joan a la hora 72 de simulación.

HURACAN JOAN (1988) - MAR CARIBE

ALTURA SIGNIFICATIVA DE OLA (M) A LA HORA: 72.0

RMAX= 18.0 KM ; VF=17.1 KM/HR ; DP= 88.8 MB ; DX= 55.6 KM

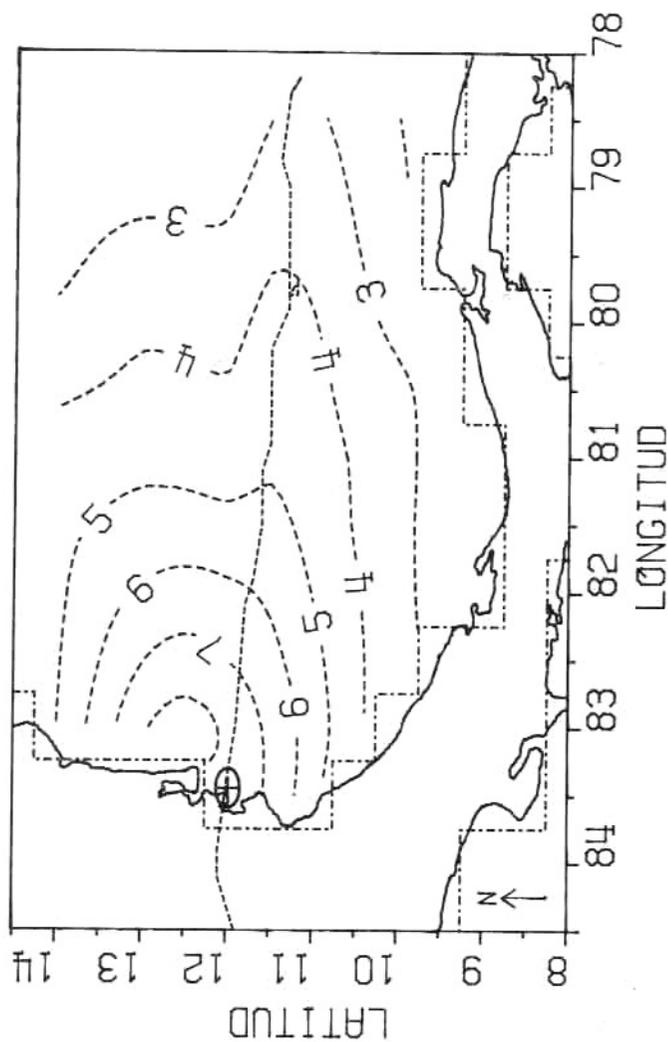


Figura 11 Contornos de altura de ola (m) durante el huracán Joan a la hora 72 de simulación.

HURACAN JOAN (1988) - MAR CARIBE  
 CONTORNOS DE VELOCIDAD DE VIENTO (KM/HR) A LA HORA: 33.0  
 RMAX= 7.2 KM ; VF=2.6 KM/HR ; DP= 53.0 MB ; DX= 55.6 KM

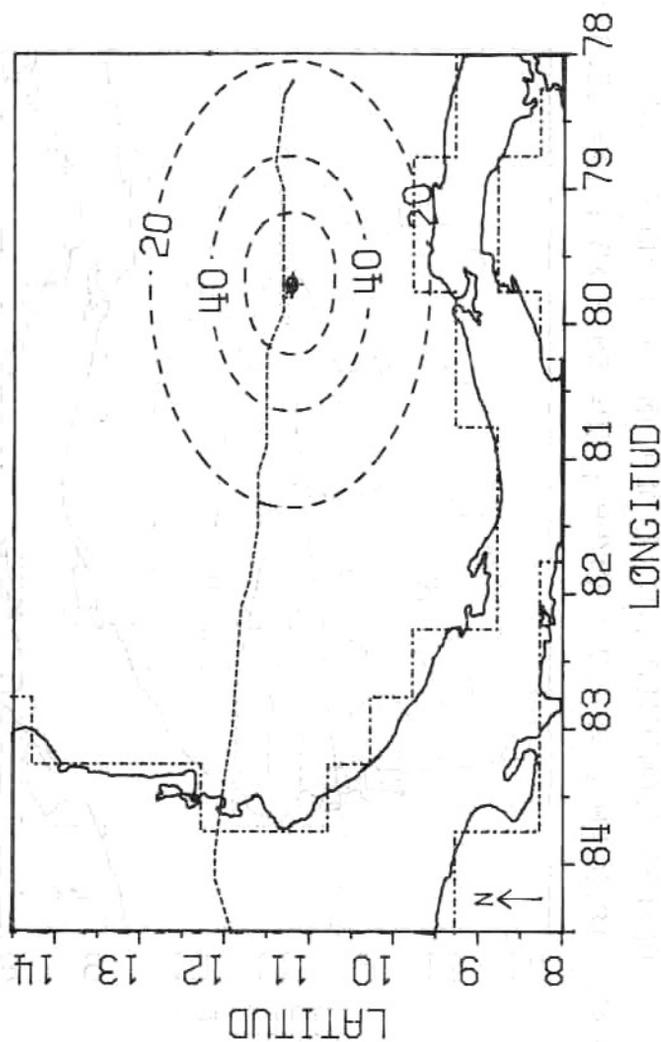


Figura 12 Contornos de velocidad del viento (km/h) durante el huracán Joan a la hora 33 de simulación.

HURACAN JOAN (1988) - MAR CARIBE  
 CONTORNOS DE VELOCIDAD DE VIENTO (KM/HR) A LA HORA: 57.0  
 RMAX= 18.5 KM ; VF=10.1 KM/HR ; DP= 68.0 MB ; DX= 55.6 KM

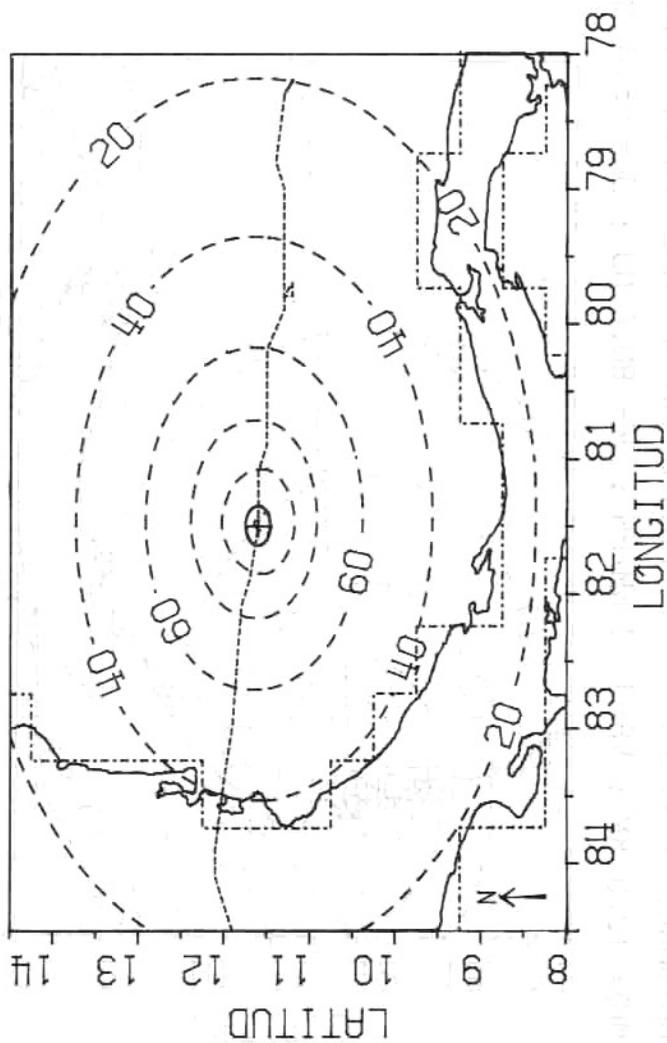


Figura 13 Contornos de velocidad del viento (km/h) durante el huracán Joan a la hora 57 de simulación.

HURACAN JOAN (1988) - MAR CARIBE  
 CONTORNOS DE VELOCIDAD DE VIENTO (KM/HR) A LA HORA: 72.0  
 RMAX= 18.0 KM ; VF=17.1 KM/HR ; DP= 88.8 MB ; DX= 55.6 KM

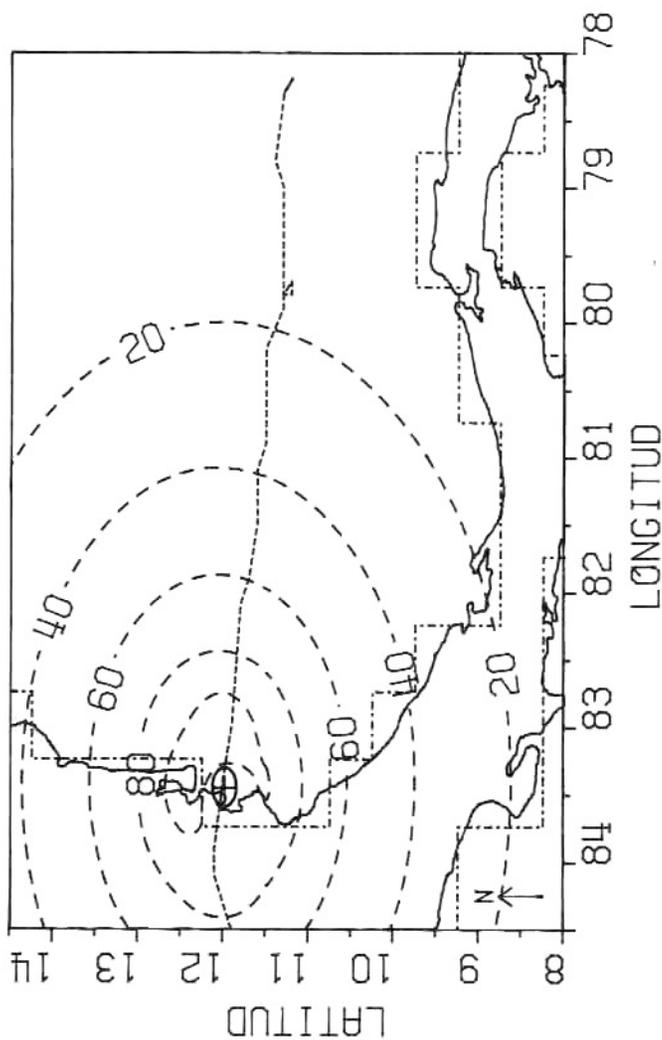


Figura 14 Contornos de velocidad del viento (km/h) durante el huracán Joan a la hora 72 de simulación.