

OLEAJE ASOCIADO A CICLONES TROPICALES Y SU IMPACTO EN ZONA COSTERA

Dra. Ida Mitrani Arenal

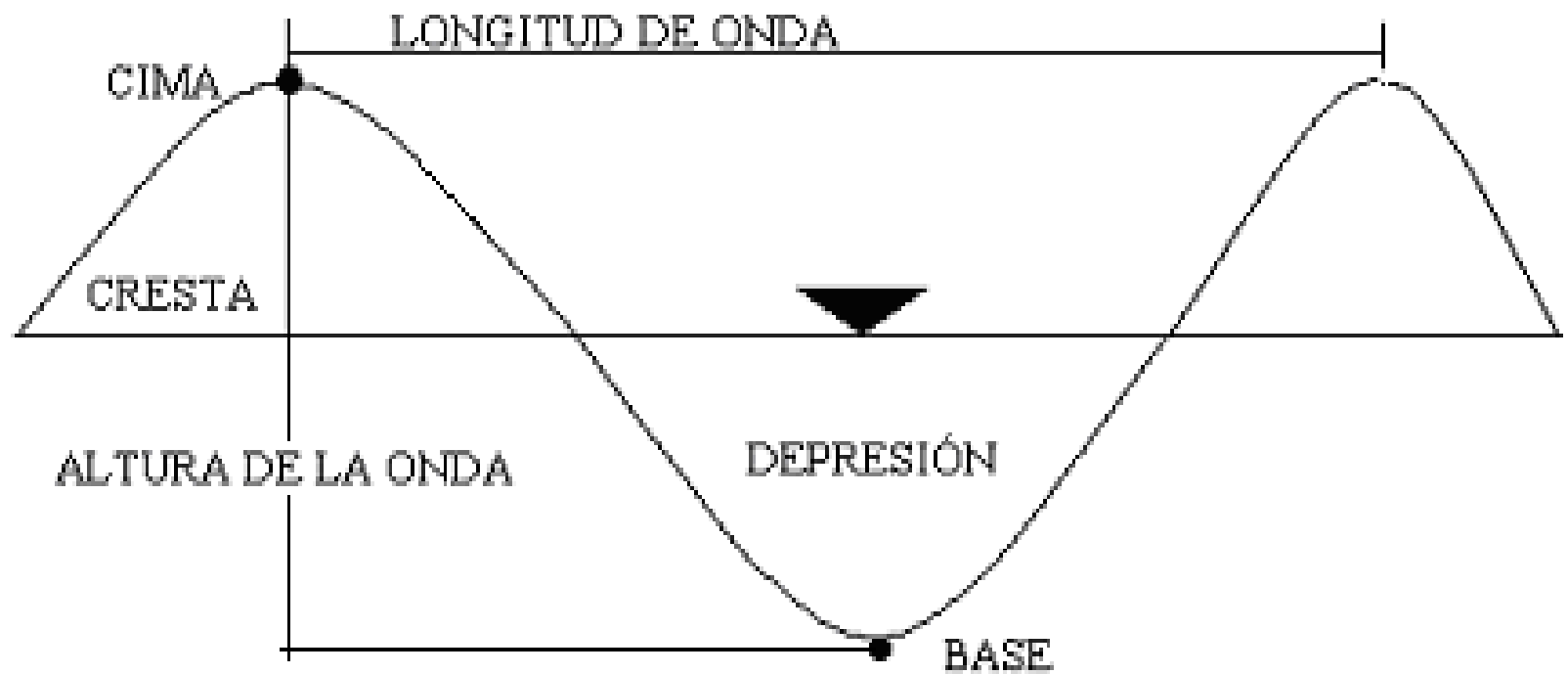
INSMET/ Cuba

Ida.mitrani@insmet.cu

- El oleaje es el movimiento ondulatorio generado en la superficie marina por la tensión del viento.
- En presencia de vientos huracanados, pueden aparecer olas de gran altura, peligrosas para la navegación y para la actividad humana en general, especialmente en las zonas costeras.
- De ahí la importancia de conocer las características del oleaje, comportamiento y posibilidades de pronóstico.

FUENTES : SPM 1984, OMM No. 72 1988 , CEM 2003, Archivos INSMET/CUBA

ELEMENTOS DE LAS OLAS



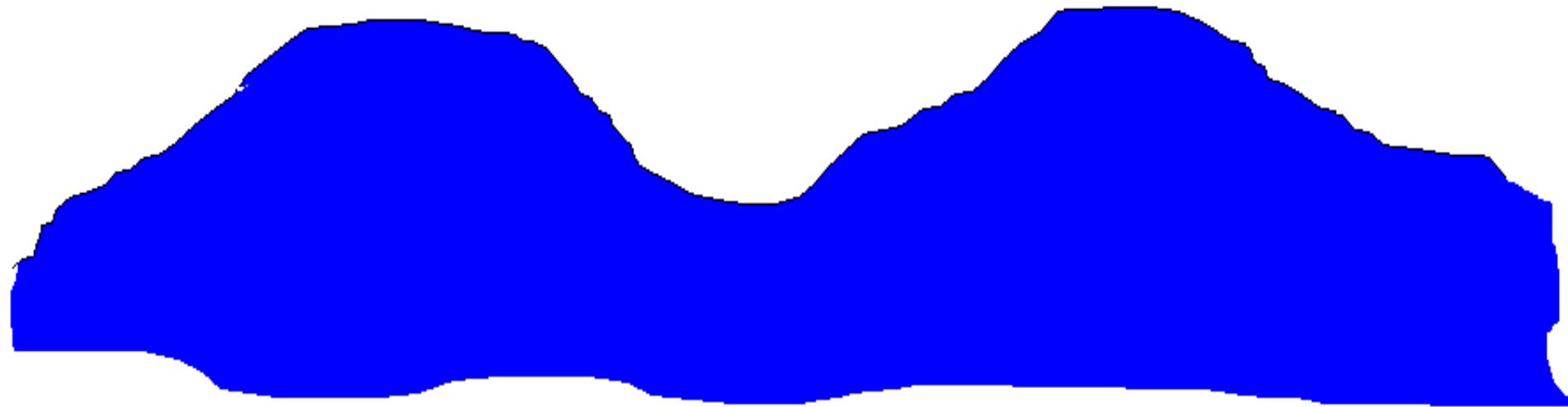
- **MAR DE VIENTO** Ondas forzadas y en desarrollo o estables, que se encuentran bajo la acción directa del viento. Se caracterizan por presentar crestas agudas.
- **MAR DE LEVA o de FONDO** Ondas libres, que continúan existiendo aún cuando cesa la influencia del viento que las produjo o se han desplazado lejos de la zona de generación. Se distinguen por sus crestas redondeadas y siempre se amortiguan.

Ambas formas de oleaje, con frecuencia se observan en la naturaleza de forma combinada

Mar de viento



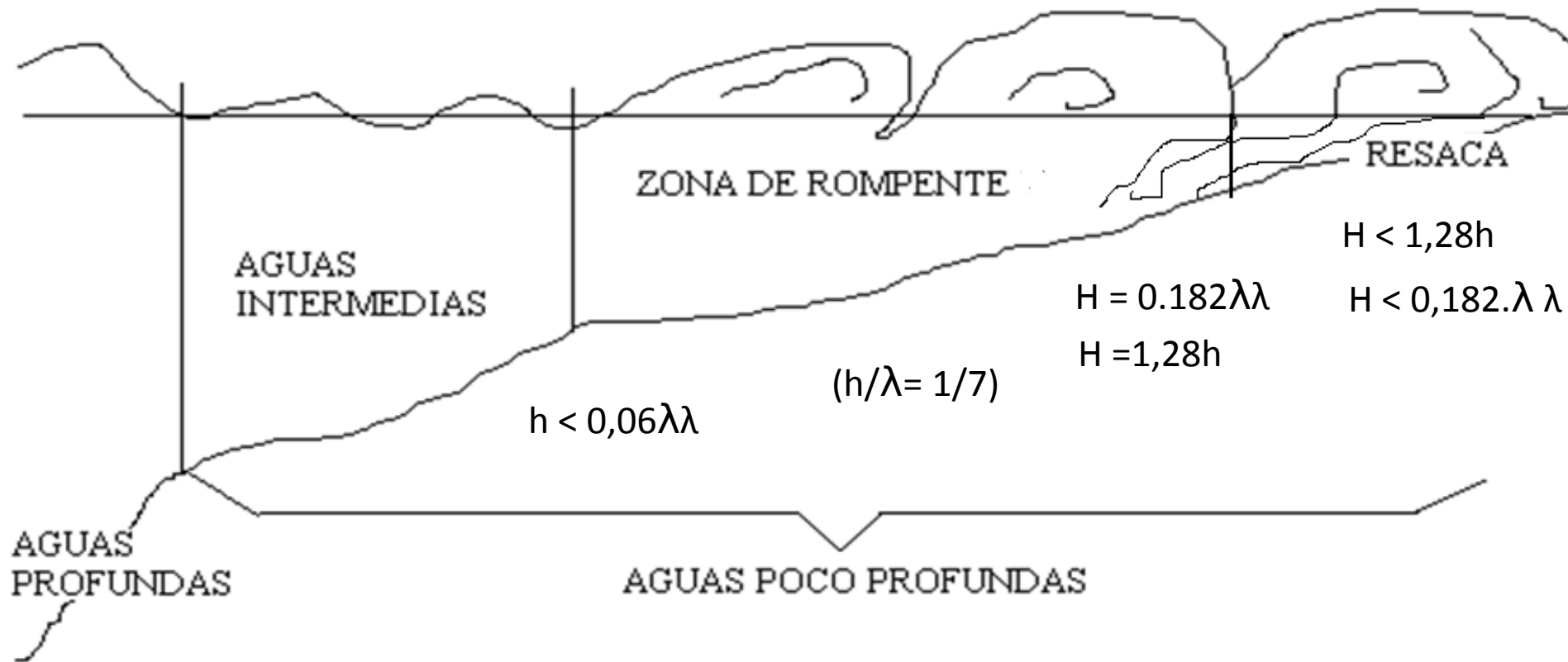
Mar de leva o de fondo



Factores influyentes en el desarrollo del oleaje

- **La velocidad y dirección del viento.** Se puede considerar constante cuando en un intervalo de tiempo varía menos de $\pm 2,5$ m/s y de $\pm 22,5^\circ$
- **El Fetch** o corrida del viento. Se determina su longitud hasta que la dirección del viento no varíe en $\pm 22,5^\circ$ o desde un obstáculo geográfico
- **La persistencia**, es el tiempo en que se puede considerar el viento como constante.
- **La profundidad del mar** comienza a influir sobre el oleaje, cuando es menor que la mitad de la longitud de onda.

Zonas de evolución del oleaje



$$H > \lambda/2$$

$$H \leq \lambda/2$$

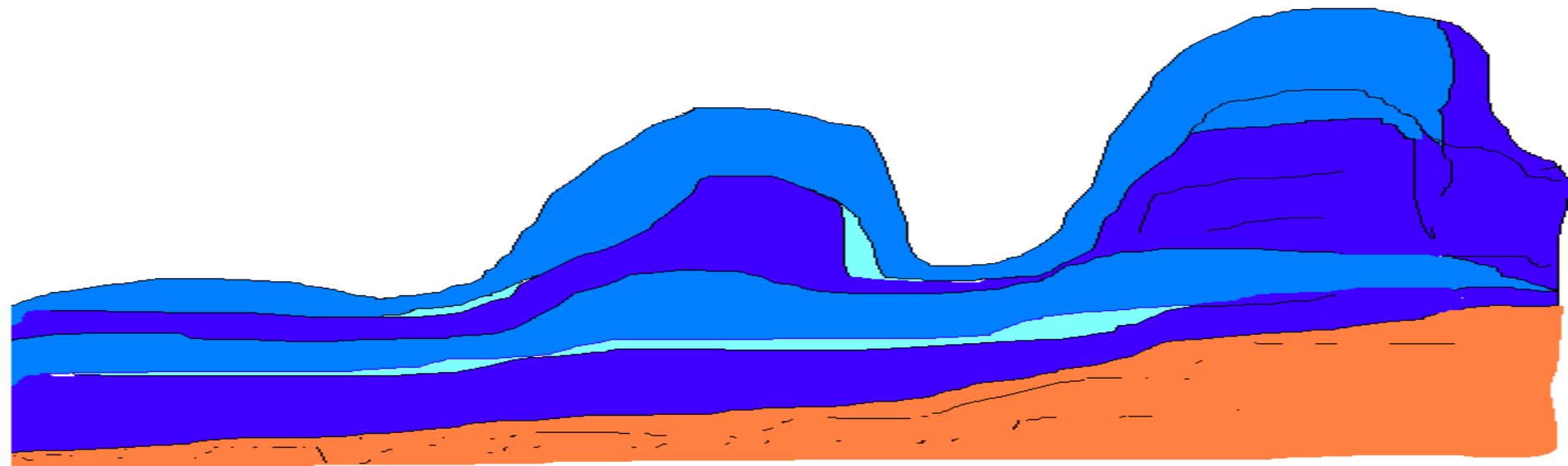
---Según definición de la OMM 1988, las aguas intermedias cubren la franja donde $\lambda\lambda/4 > H > \lambda/25$ -----

Deformaciones de las olas en la zona costera

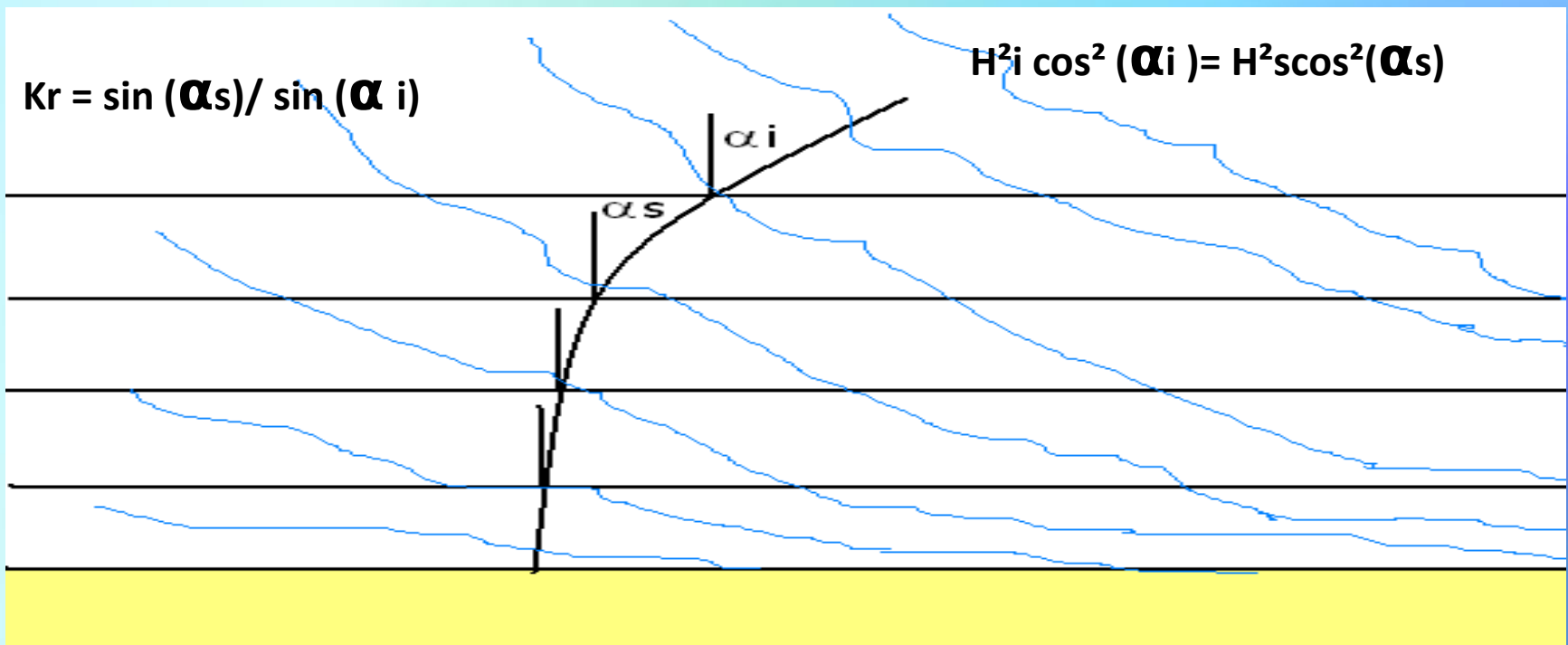
- Efecto de shoaling
- Refracción
- Difracción
- Reflexión

El efecto de fondo o shoaling

En la zona de aguas profundas, la ola se desarrolla libremente, bajo la acción del campo de viento. Al trasladarse sobre aguas menos profundas, disminuyen sus dimensiones debido a la fricción del fondo; al entrar en la zona de rompiente, disminuye su velocidad de traslación en la parte delantera y con ella, su longitud, pero la tendencia a la conservación de la energía interna, conduce a que la onda recupere altura rápidamente y se incline hacia delante, apareciendo el primer anillado; así continúa su deformación hasta destruirse en su totalidad sobre la costa.

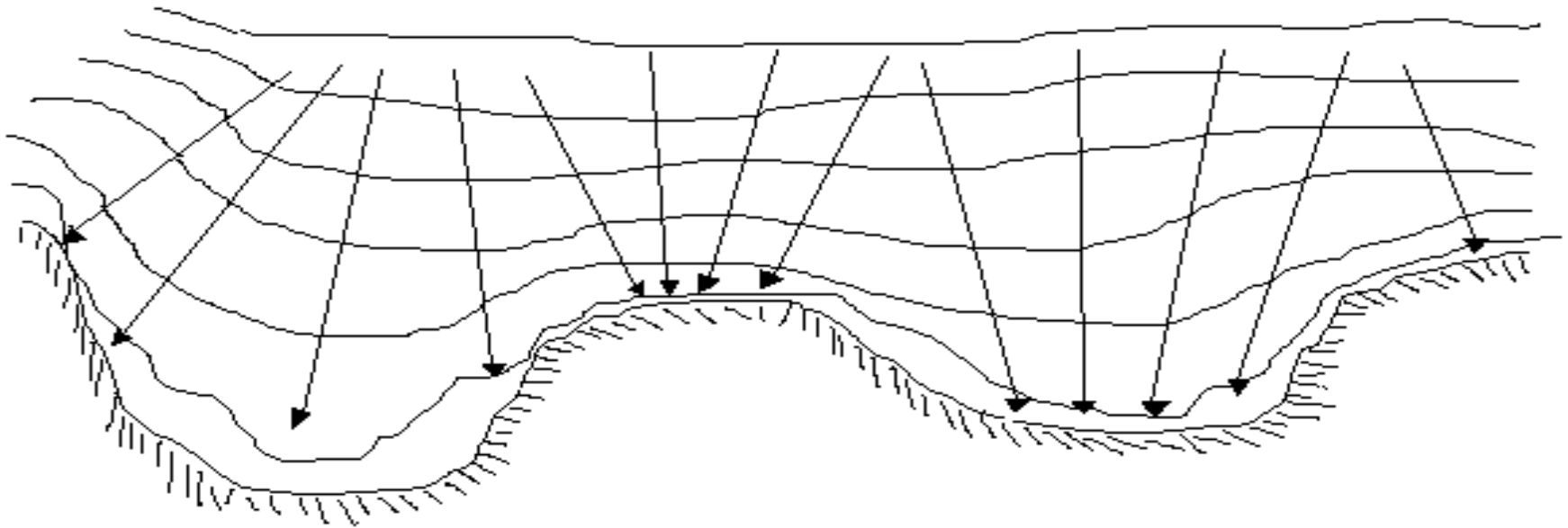


La refracción es la deformación del frente de ola por la acción del fondo marino, cuando el rayo de la ola forma un cierto ángulo con la normal a las líneas de profundidad (isobatas). Sobre el fondo variable, la parte de la ola que se encuentra en la zona profunda, se desplaza más rápido que la delantera, por lo cual la onda tiende a ser paralela a las isobatas; esto significa que el ángulo entre el rayo de la ola y la normal a las isobatas tiende a disminuir

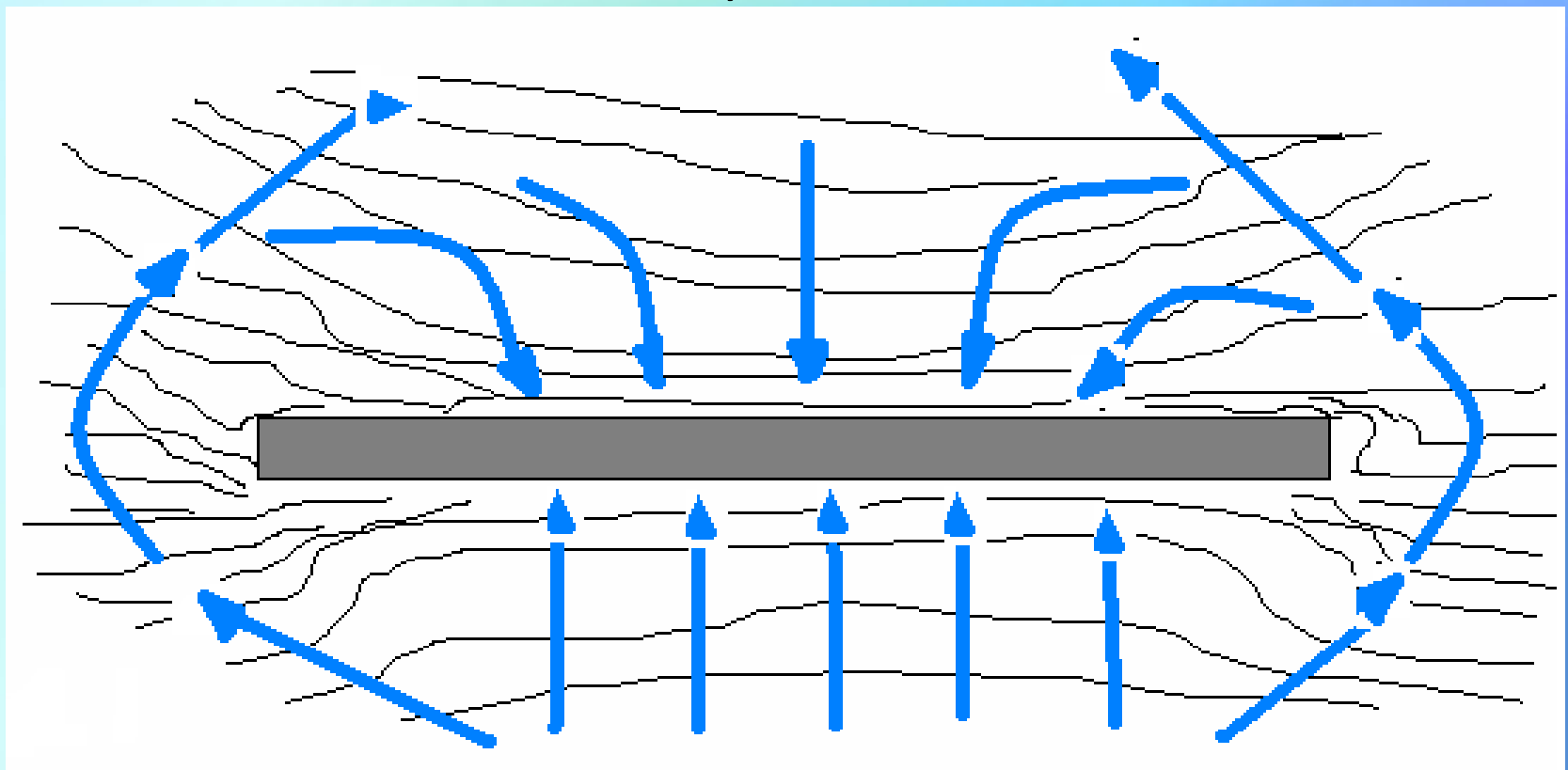


El peor escenario es la incidencia perpendicular!!!

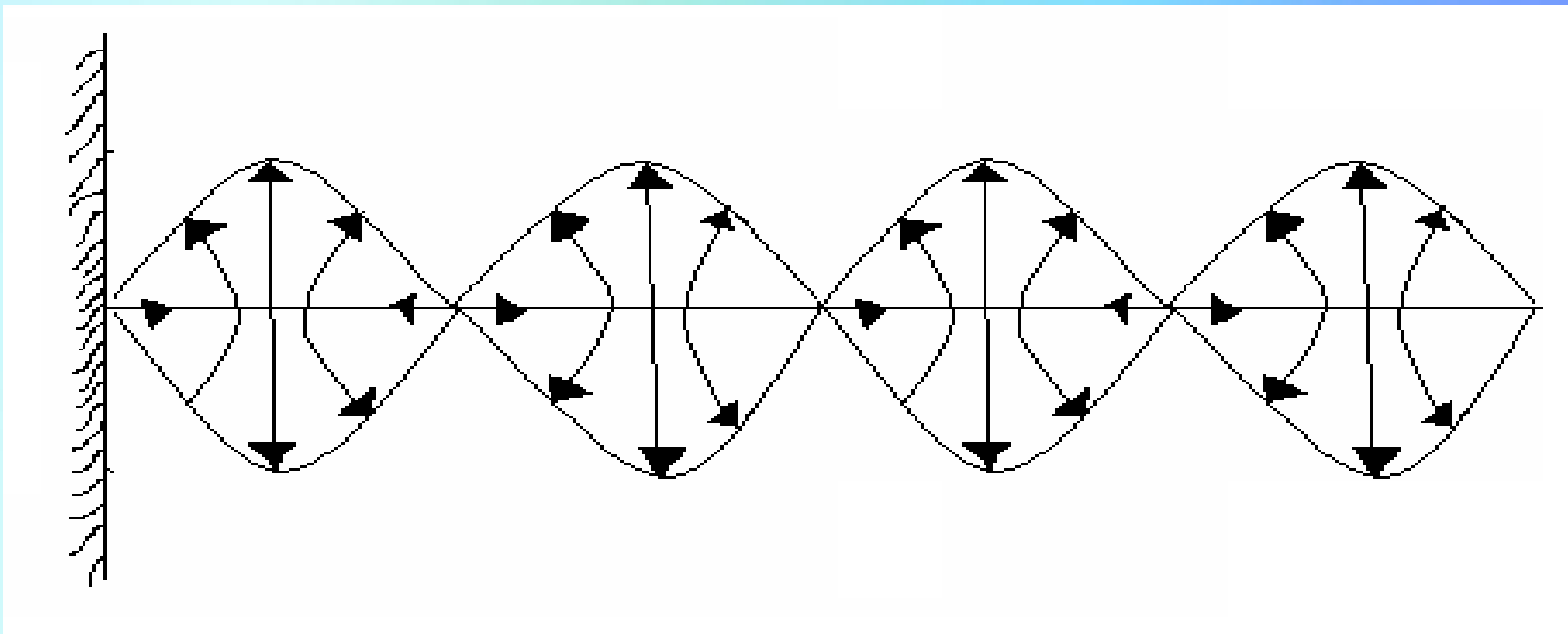
En zonas de convergencia de las líneas de fondo, la altura de ola se incrementa y en las de divergencia, se amortigua. Esto significa que en las costas convexas (Salientes, cabos, penínsulas etc.) la energía se concentra hacia los puntos más sobresalientes, mientras que las costas cóncavas (Entrantes, bahías de bolsa, ensenadas) favorecen la dispersión de la energía de las olas.



La Difracción se produce cuando al tren de olas lo intercepta un obstáculo (un arrecife, una construcción etc). La energía de la ola incidente se transfiere a lo largo de la cresta y el oleaje se reproduce en los extremos del objeto y hacia la parte opuesta al viento, aunque con altura más reducida. Si las pendientes son bruscas, el efecto es mucho mayor.



La Reflexión aparece cuando el oleaje choca con un obstáculo prácticamente vertical. Se produce una onda estacionaria. La ola no rompe, sino que continuamente golpea con fuerza en un punto, liberando su energía solo parcialmente en cada choque. Es raro en la naturaleza encontrar la reflexión de forma pura; generalmente se combina con alguna forma de rompiente del grupo de olas. En las construcciones costeras es un efecto bastante peligroso, puesto que la erosión afecta con mayor intensidad



Alturas técnicas de las olas

- Altura media - Altura promedio en un registro de “n” olas.
- Altura significativa – En un registro de 100 olas, es la altura promedio de un tercio de las más altas y del 13% de todo el registro. Coincide con la altura que se percibe en las observaciones visuales del estado de la superficie marina
- Altura máxima- Es la máxima en un registro de 100 olas y por tanto, coincide con el 1% y es más del doble de la altura media.

Relaciones entre las alturas técnicas

- *Altura significativa*

$$h_{sig} = 1.59 h_{med}$$

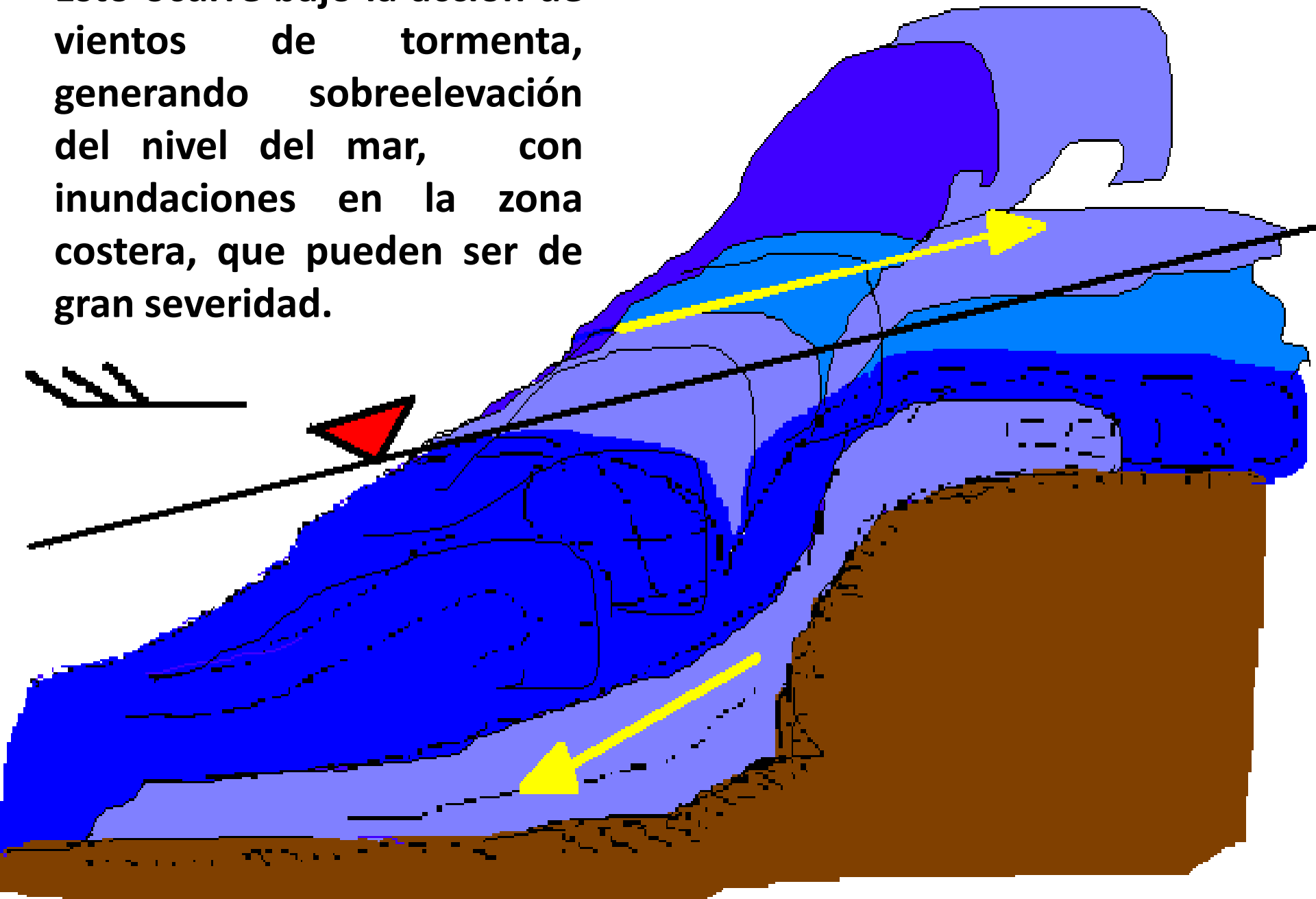
- *Altura máxima*

- $H_{max} = 2.3 h_{med} = 1.67 h_{sig}$

La sobreelevación del nivel del mar por rompiente de oleaje (wave setup) en la zona costera.

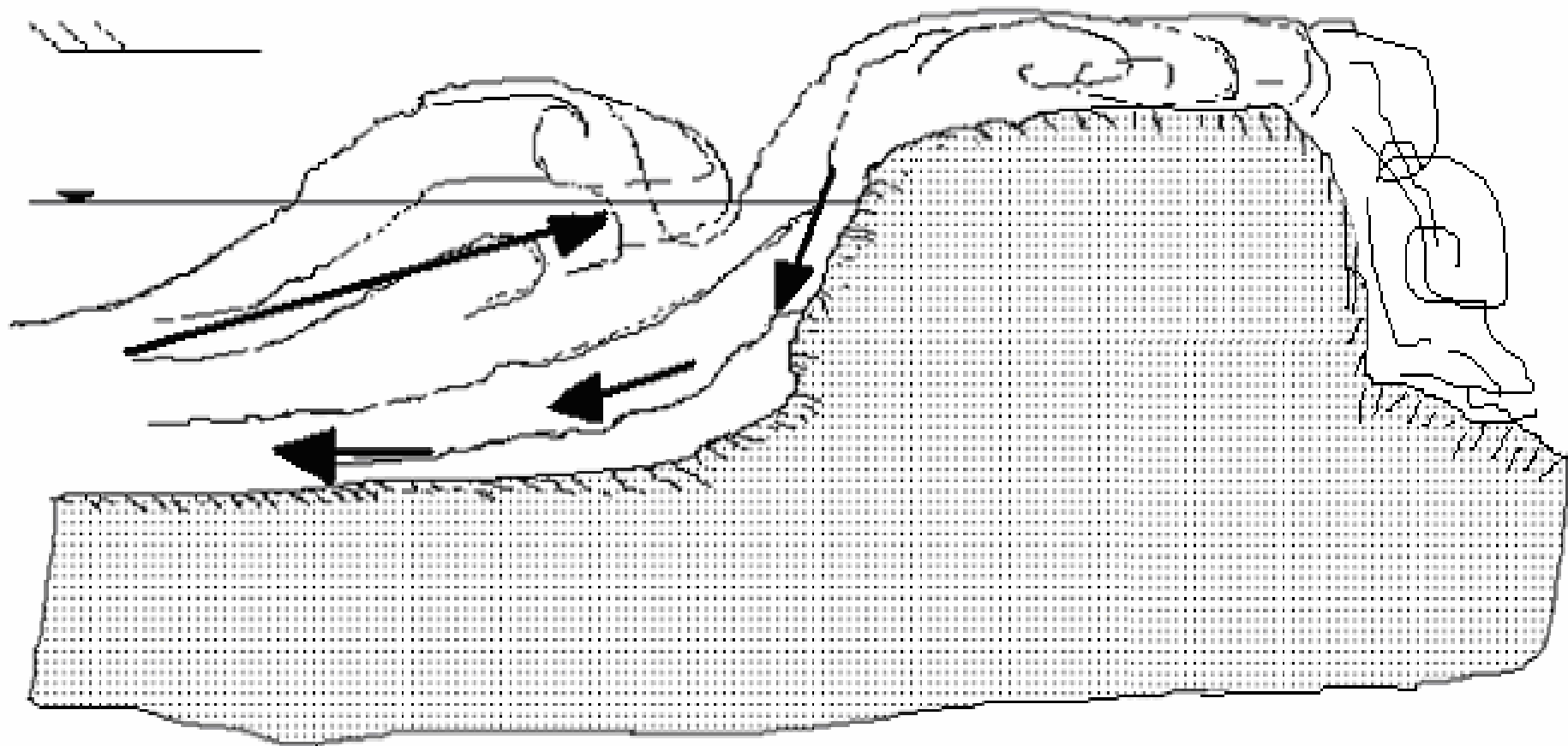
- Le son favorables las costas acantiladas, de pendientes abruptas.
- Las olas rompen en la franja costera y se vuelcan en la orilla.
- En condiciones habituales, el retorno de masa se produce por el efecto de cascada en la corriente del fondo marino, pero si la velocidad superficial del movimiento es mayor que la producida por el efecto de cascada del fondo, una parte de la masa de agua no retorna al mar, sino que se acumula en la costa.

Esto ocurre bajo la acción de vientos de tormenta, generando sobreelevación del nivel del mar, con inundaciones en la zona costera, que pueden ser de gran severidad.



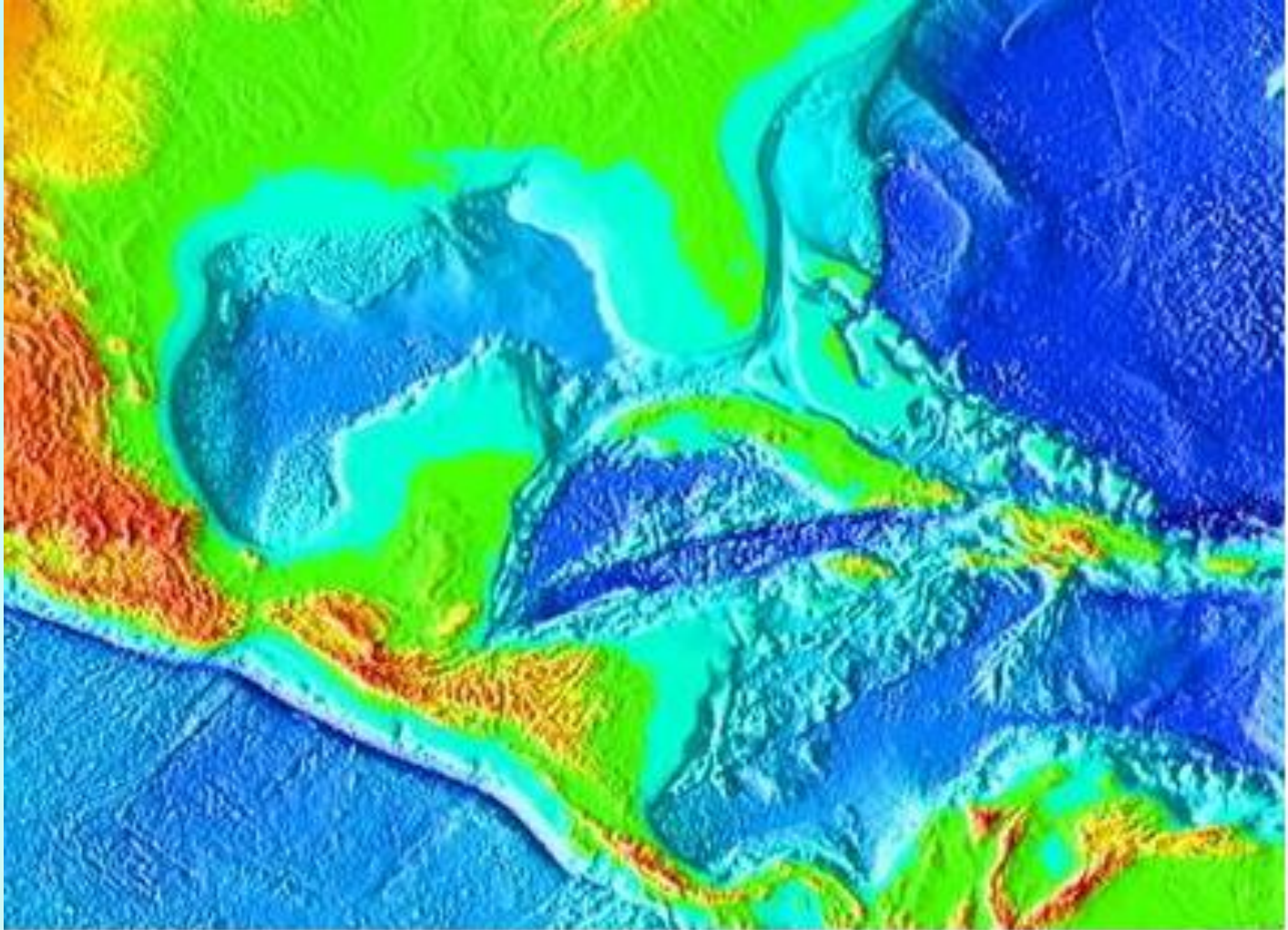
La situación se agrava con la presencia de obstáculos que impiden un drenaje efectivo.

Con mucha frecuencia, estos obstáculos son obra de la mano del hombre.



- Las inundaciones por oleaje, bajo la influencia de un huracán, pueden generarse por mar de viento o mar de fondo, en dependencia de la distancia en que se encuentre el huracán de la zona costera.
- También en dependencia de la distancia, la sobreelevación puede combinarse o no, con la marea de tormenta.
- Las formas de la batimetría y de la costa, son decisivas en la intensidad de la inundación.

Batimetría de los mares Interamericanos



Tomado de www.ngdc.noaa.gov/mgg/image/2minrelief.html

En la Ciudad de La Habana, se
recuerda la severa situación que
provocó el huracán “Juan” , el 28
de octubre de 1985



El 28 a las 1200 z, su centro se encontraba muy próximo al Estado de Louisiana, dando comienzo a un movimiento errático con descripción de dos lazos en un largo período de tiempo que osciló entre la madrugada del 28 de Octubre y la tarde del 29 del propio mes.

Este lento desplazamiento, unido al extenso campo bórico que cubría casi totalmente el área del Golfo de México, dieron lugar a la formación de zonas generadoras de oleaje, en su sector sur, sector noroeste y región de vientos máximos próxima al centro, las dos primeras favorables a la ocurrencia de inundaciones por penetraciones del mar en el Territorio Nacional.

Las olas afectaron al litoral en forma de mar de leva con alturas significativas de 4 a 6 metros.

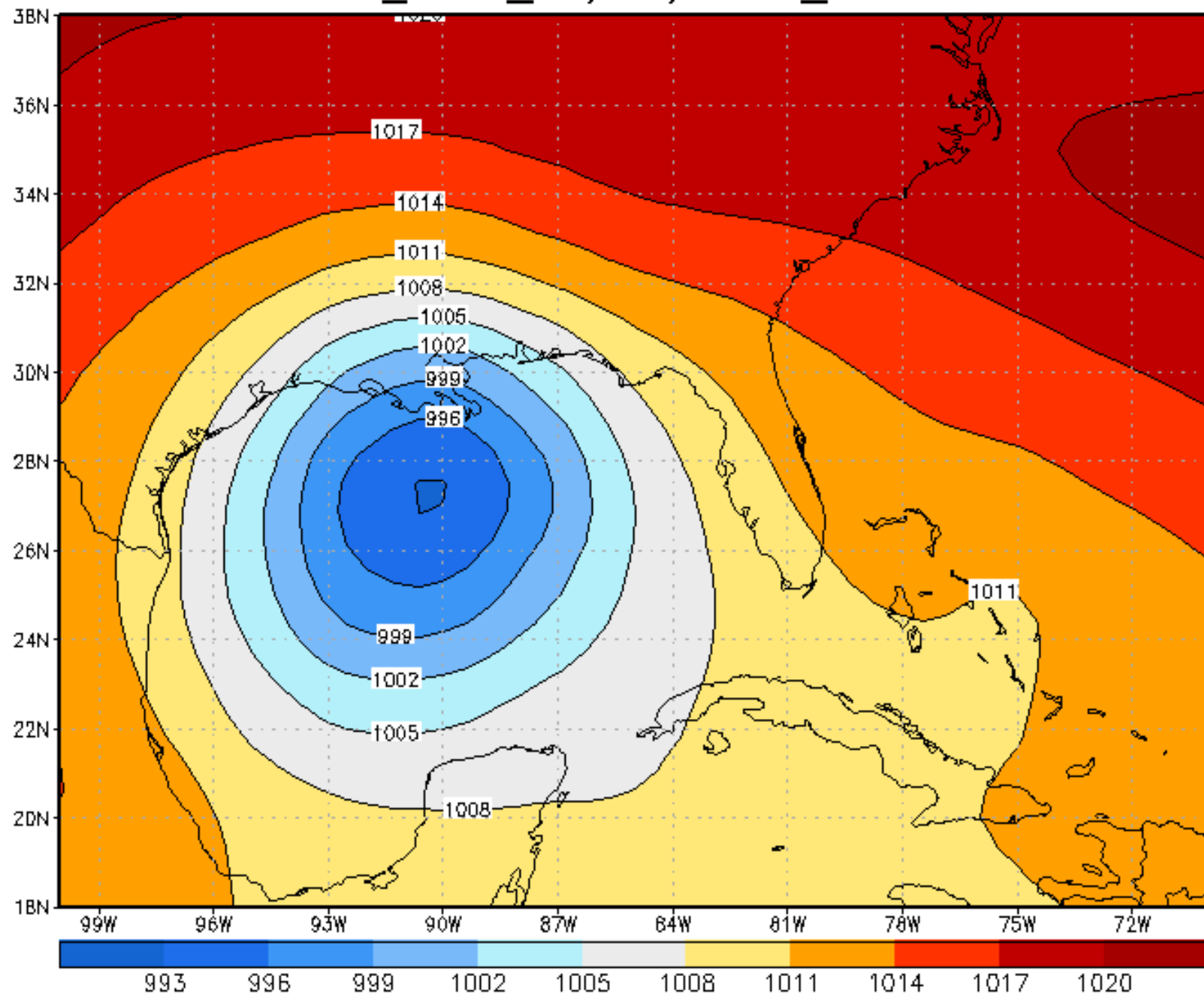
Durante el desplazamiento del mar de leva, ocurrieron procesos de amortiguamiento y de incremento al encontrarse los trenes de olas de diferente dirección provenientes de cada área generadora.

Tomado de los reportes del National Hurricane Center, www.nhc.noaa.gov y de los archivos del INSMET/Cuba

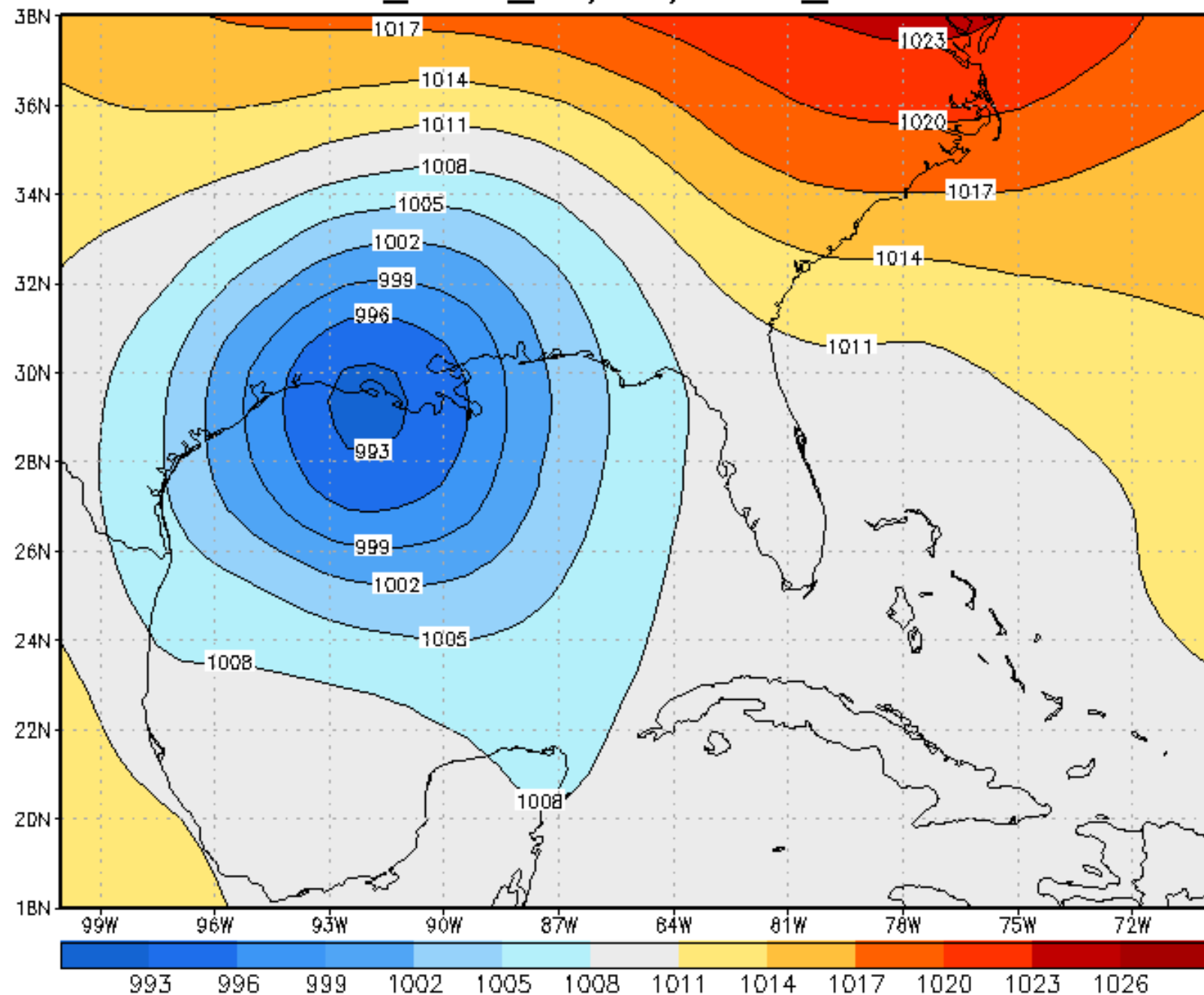
A modo de ilustración se mostrarán los campos báricos y de viento, obtenidos de los reanálisis disponibles en el sitio web

<http://nomads.ncdc.noaa.gov/ncep-data>

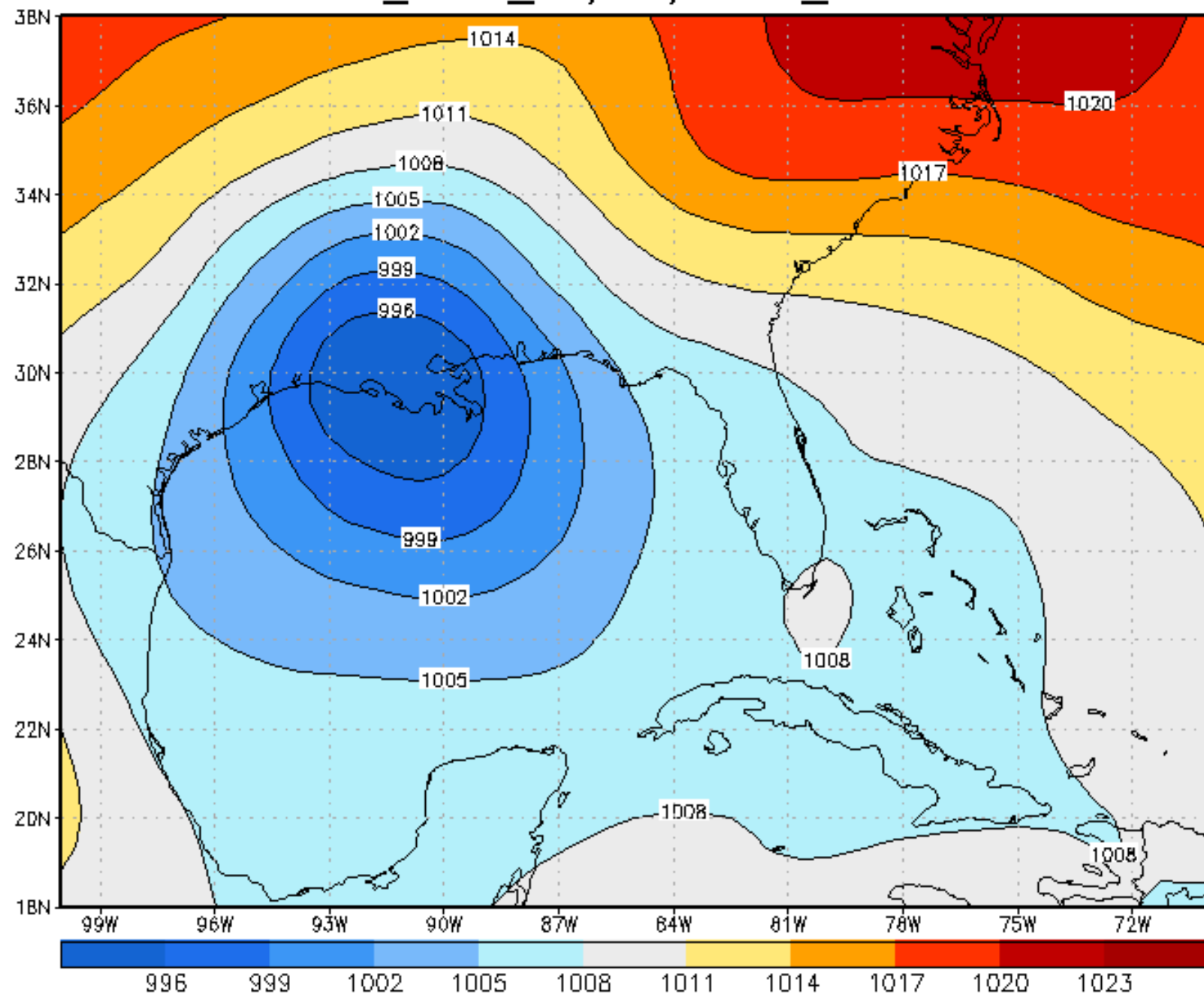
Juan_Pmsl_28/10/1985_00 UTC



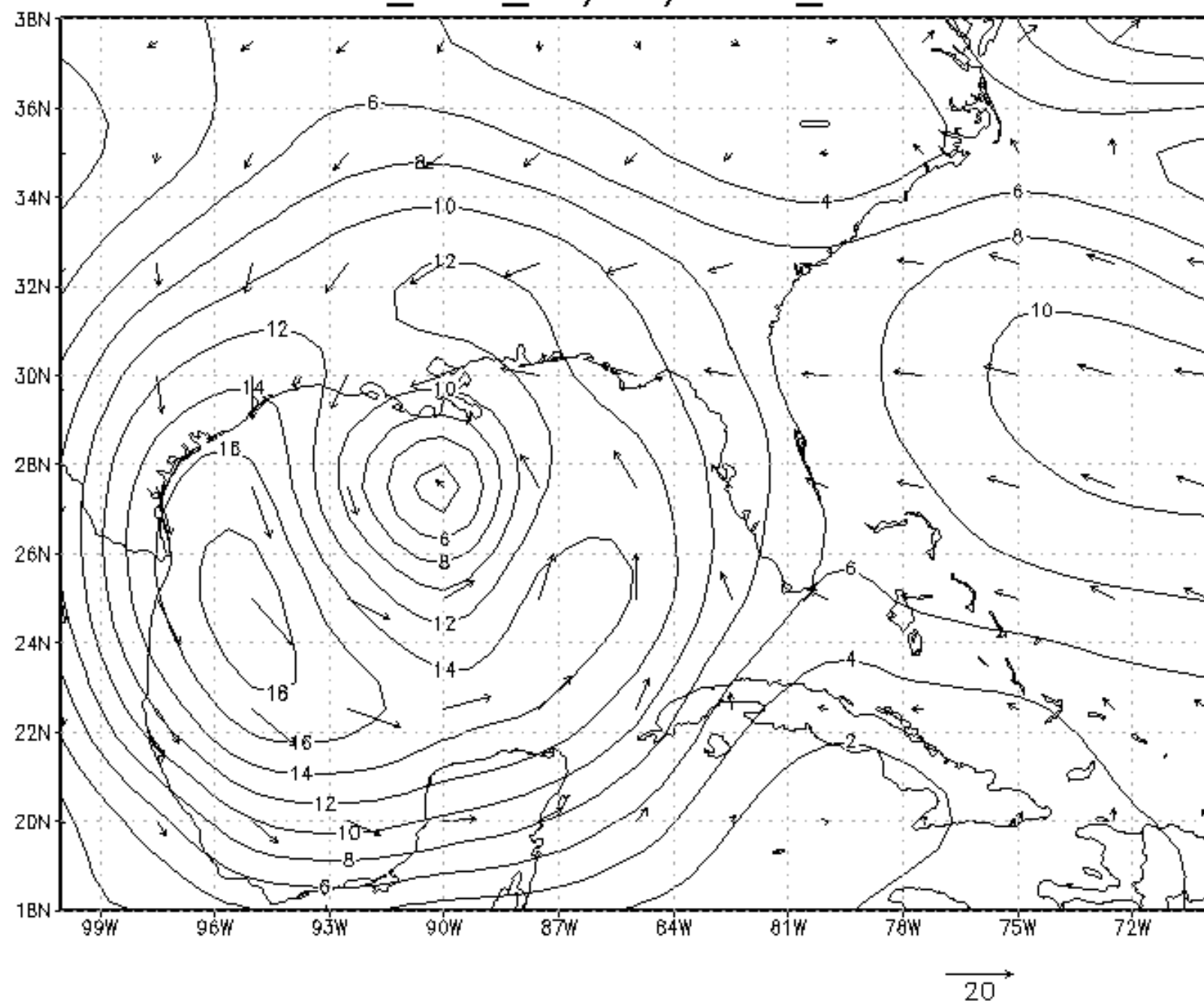
Juan_Pmsl_29/10/1985_00 UTC



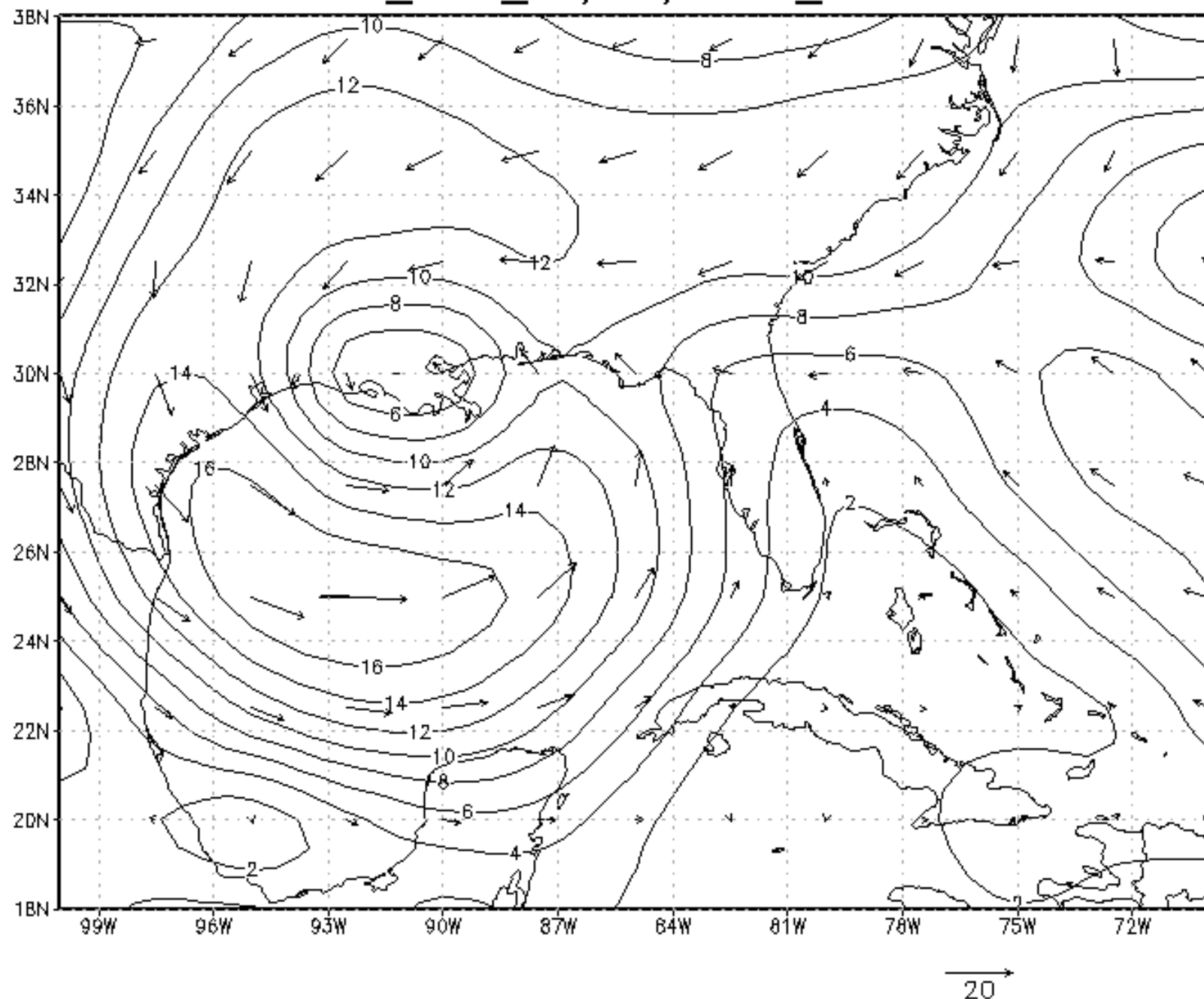
Juan_Pmsl_30/10/1985_00 UTC



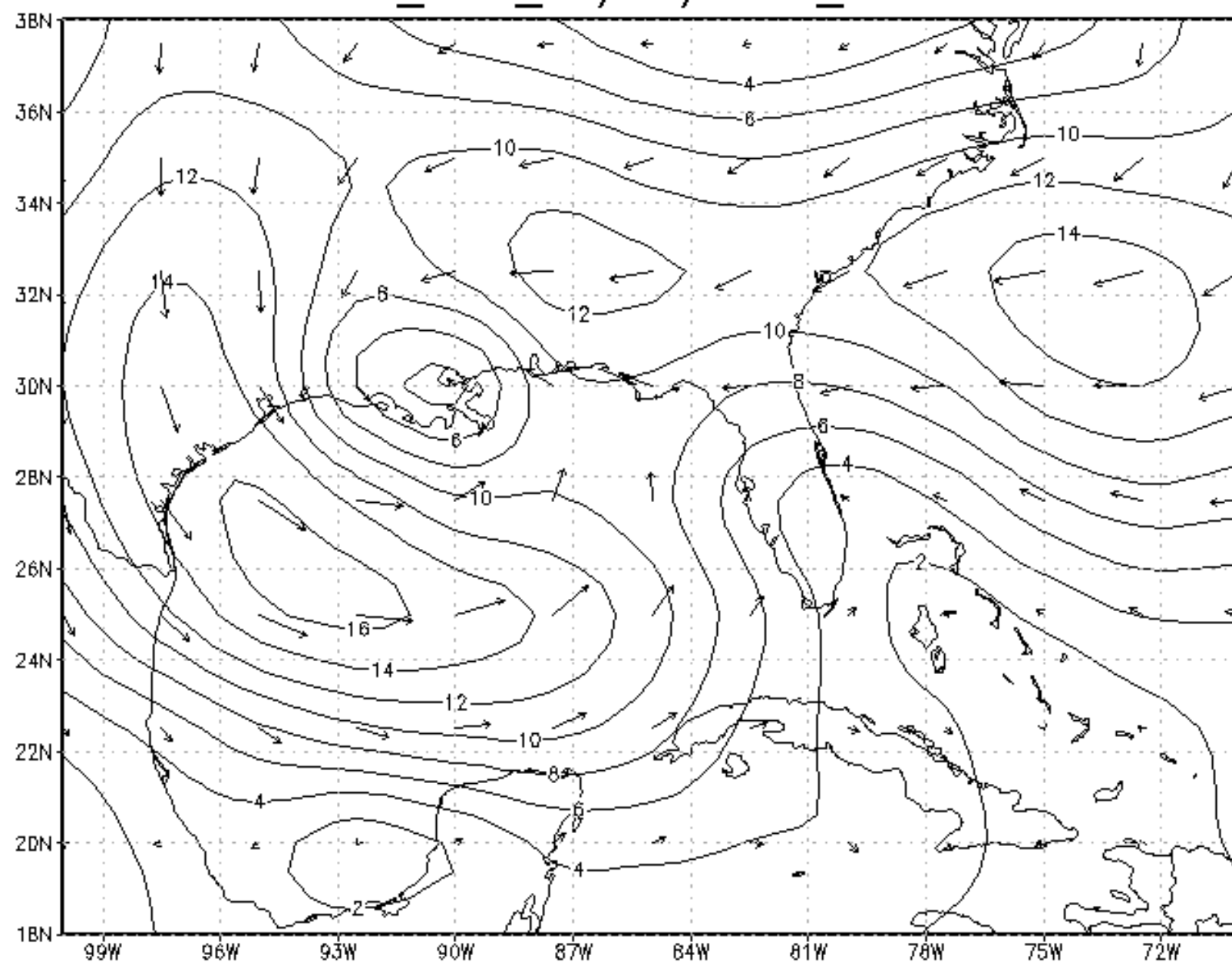
Juan_wind_28/10/1985_00 UTC



Juan_wind_29/10/1985_00 UTC



Juan_wind_30/10/1985_00 UTC

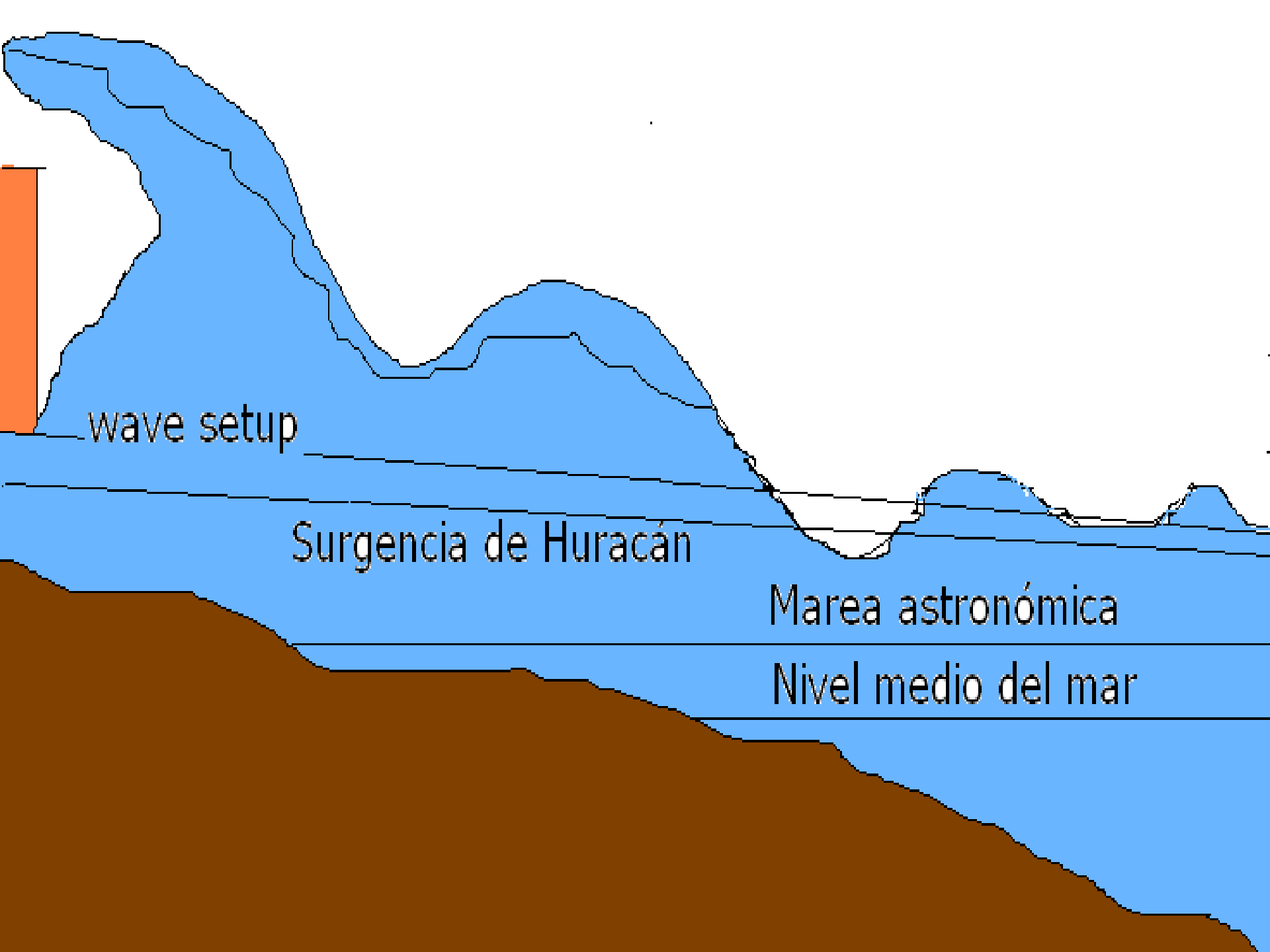




La inundación generada por el huracán
“Juan”, comenzó en la noche del 28 de
octubre y se amortiguó por completo el 31
de octubre, con más de
72 horas de afectación.

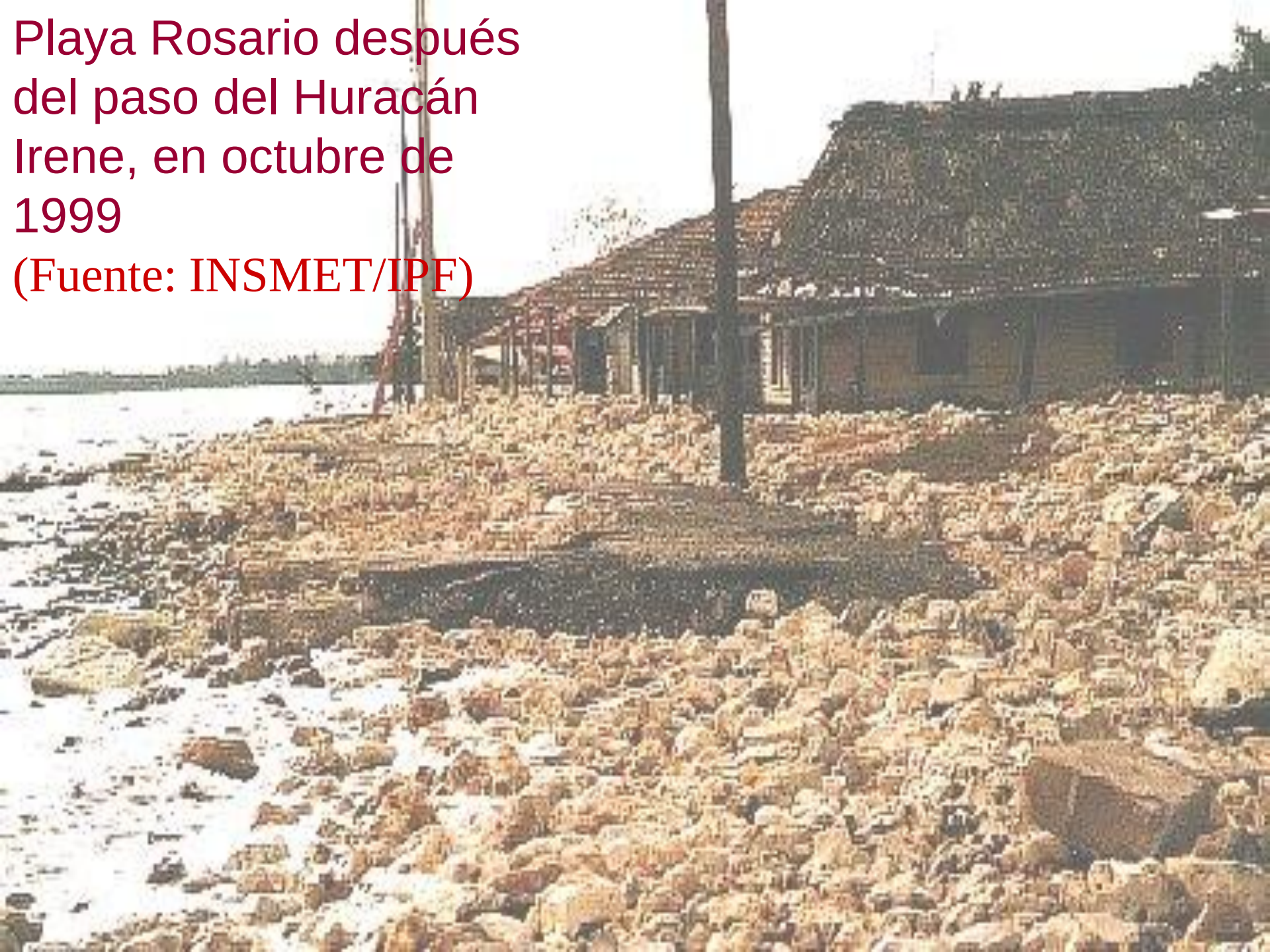
Ha sido la más prolongada de que se tiene
noticia y una de las que más daños han
causado en la Ciudad de La Habana

Pero la peor afectación ocurre cuando el huracán penetra en tierra. En ese caso, las olas se mueven por encima de la sobreelevación del nivel del mar generada por la surgencia. Este espesor de agua favorece la fuerza destructora del oleaje, cuya línea de rompiente se desplaza tierra adentro, destruyendo edificaciones y lanzando todo tipo de objetos.



Playa Rosario después
del paso del Huracán
Irene, en octubre de
1999

(Fuente: INSMET/IPF)



Los embates de estas combinaciones, las ha sufrido Cuba con muchos huracanes. Entre ellos se cuentan Wilma (2005), que se trasladó casi paralelo a la costa.

Wilma se formó el 15 de octubre de 2005 como la depresión tropical # 24, al sur de Jamaica. Ya el 18 de octubre había alcanzado la categoría de huracán. A su paso por el Caribe, se generaron inundaciones costeras en zonas bajas de la costa sur del territorio cubano, que fueron particularmente notables el 21 de octubre de 2005 en las costas del Golfo de Batabanó.

Después de su recurva sobre la Península de Yucatán, en el litoral de Ciudad de La Habana los días 23 y 24 ocurrieron grandes marejadas que produjeron acumulación de agua por rompiente de oleaje. Las olas alcanzaron alturas de más de 6 m. Al combinarse con el efecto de la surgencia de huracán y el llenante de la marea astronómica, ocurrieron fuertes inundaciones costeras por penetraciones del mar que abarcaron cinco de los seis municipios costeros de la Ciudad. Se estima que la sobreelevación total estuvo en el entorno de los dos metros, con mayor o menor valor en algunos puntos, en dependencia de la configuración costera y topografía del terreno. La inundación duró hasta la mañana del día 25 y en algunos puntos, hasta la tarde.

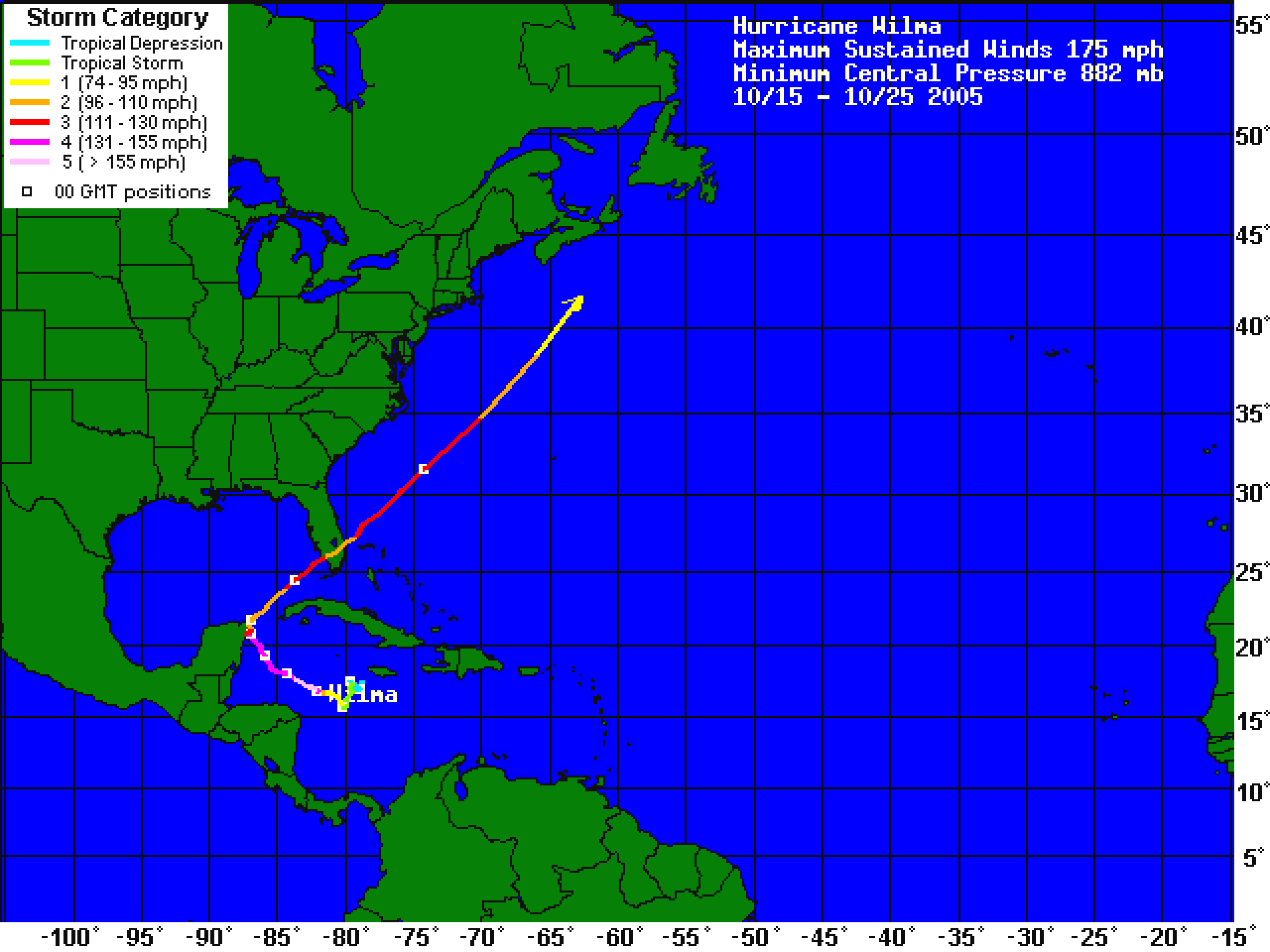
Tomado de los reportes del National Hurricane Center ,
www.nhc.noaa.gov, Pash et al.(2006) y de los archivos del
INSMET/Cuba

Storm Category

- Tropical Depression
- Tropical Storm
- 1 (74 - 95 mph)
- 2 (96 - 110 mph)
- 3 (111 - 130 mph)
- 4 (131 - 155 mph)
- 5 (> 155 mph)

□ 00 GMT positions

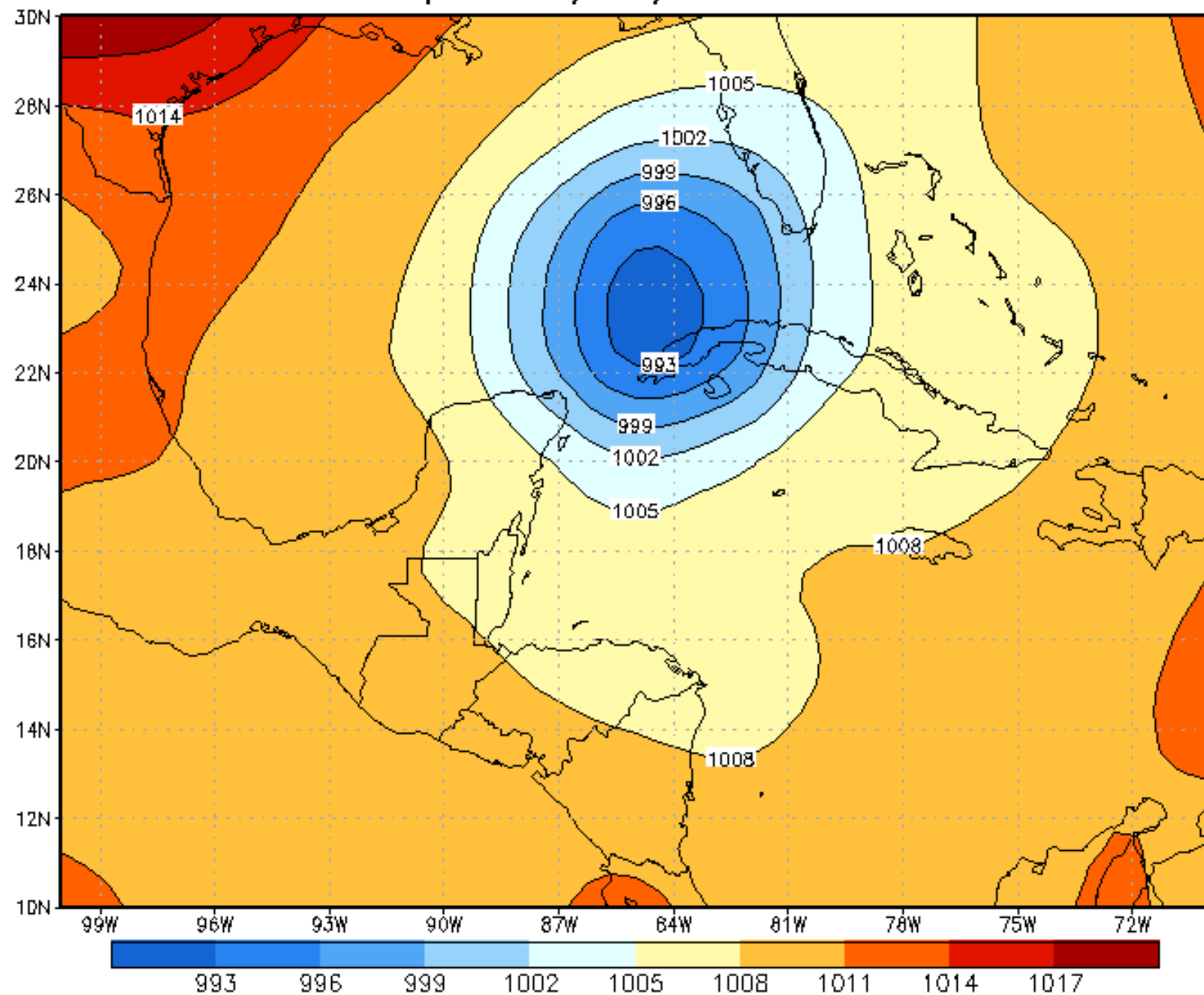
Hurricane Wilma
Maximum Sustained Winds 175 mph
Minimum Central Pressure 882 mb
10/15 - 10/25 2005



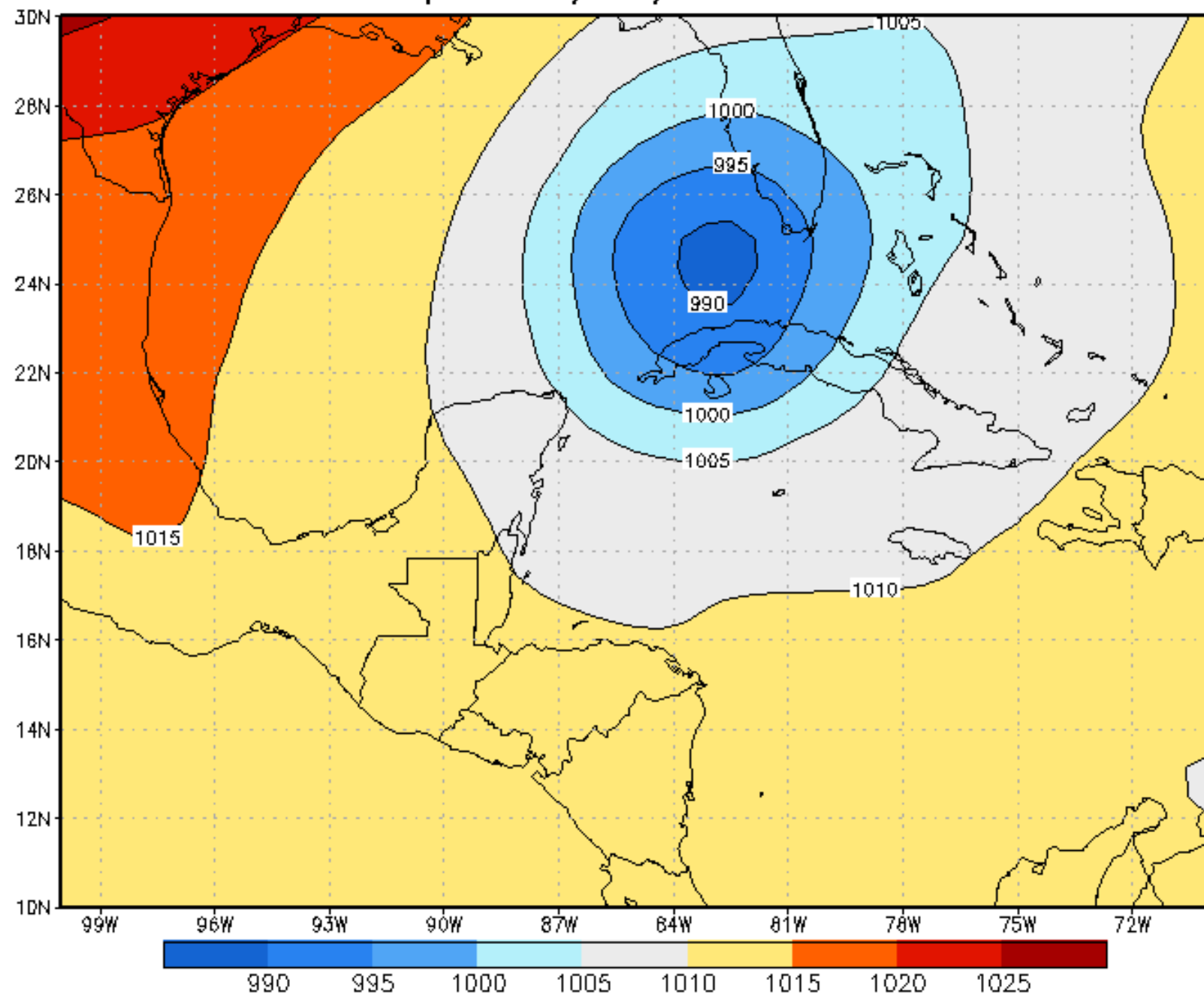
A continuación, los campos básicos y de viento, obtenidos de los reanálisis disponibles en el sitio web

<http://nomads.ncdc.noaa.gov/ncep-data>

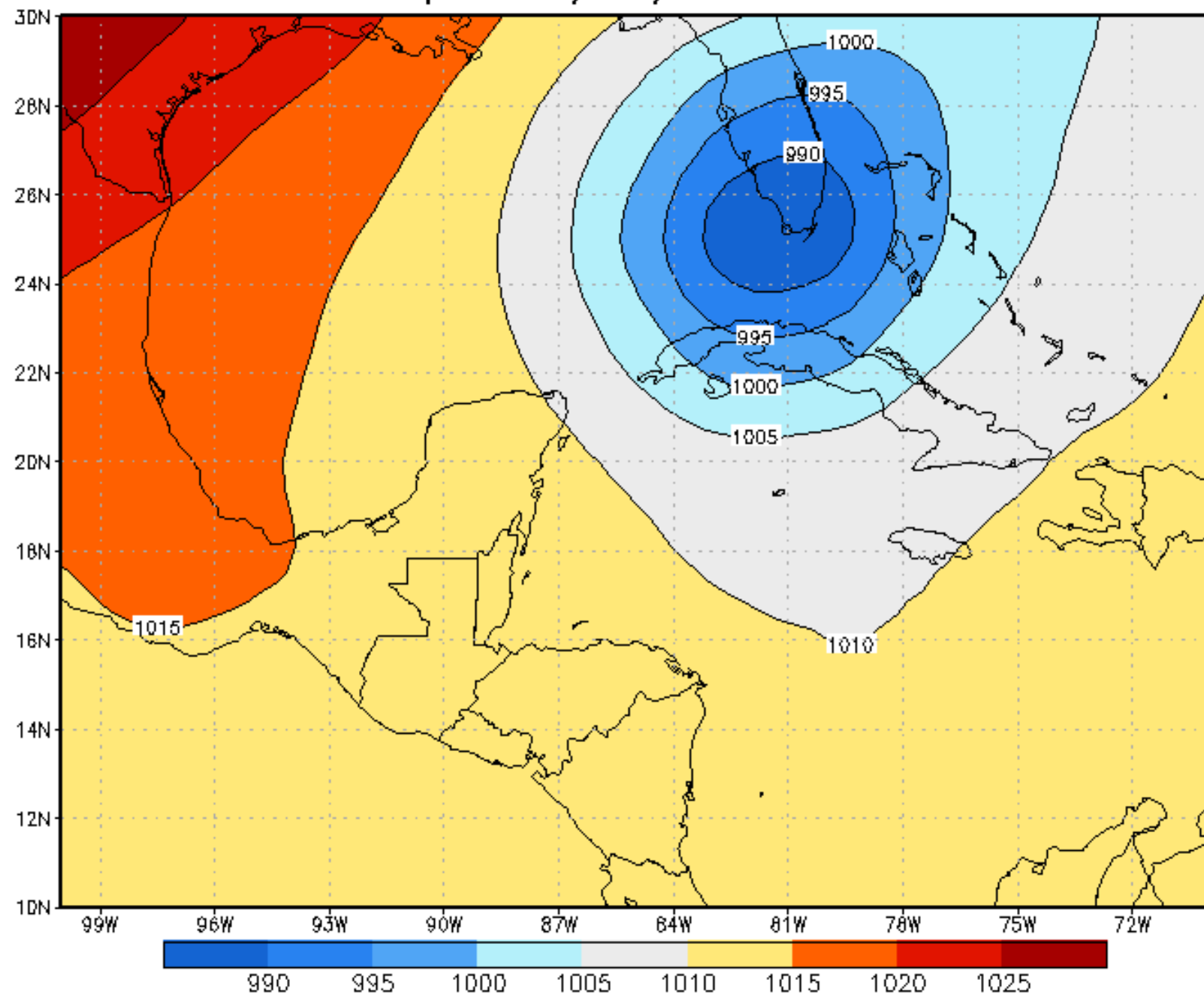
Wilma ps 24/10/2005 00 UTC



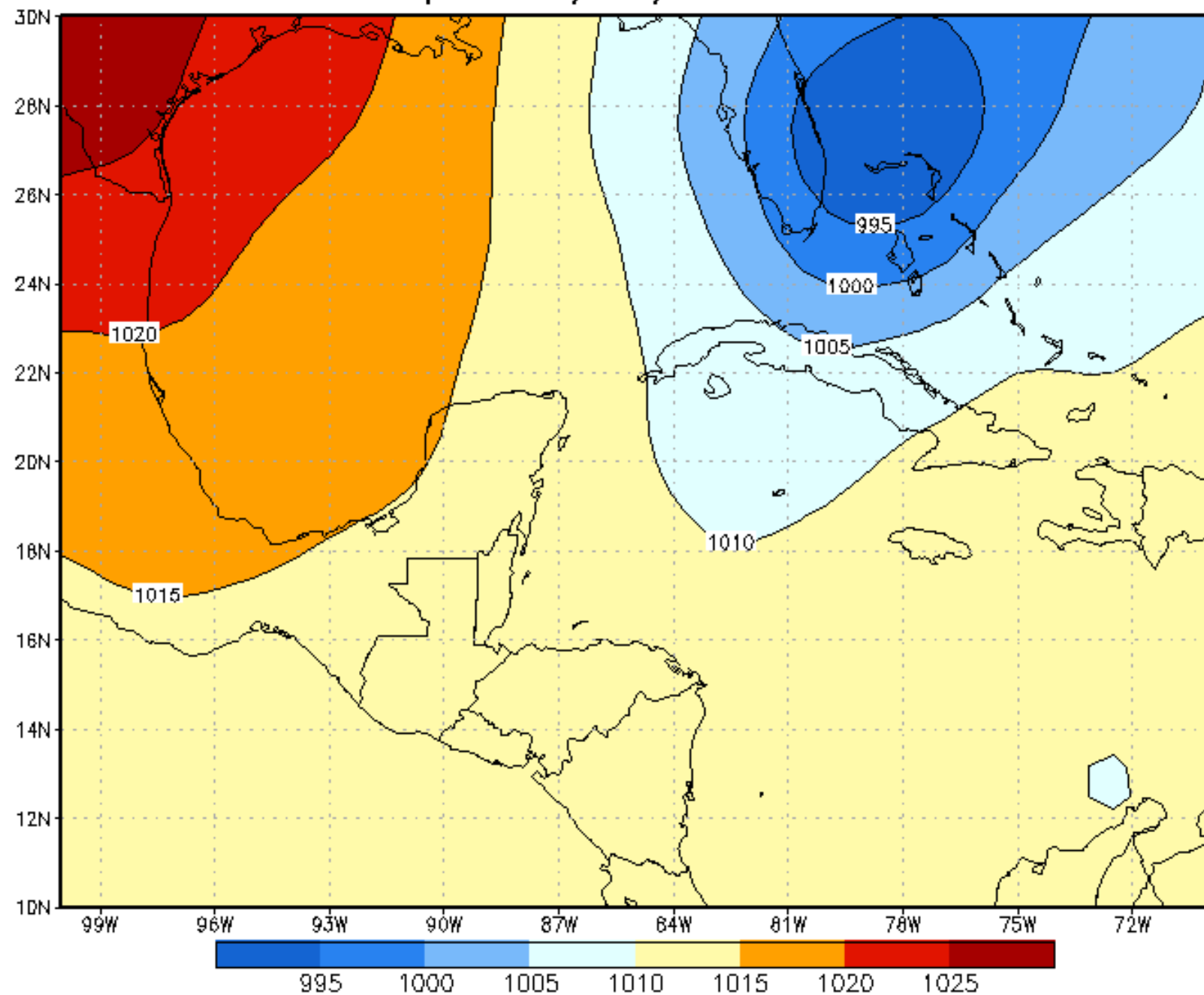
Wilma ps 24/10/2005 06 UTC



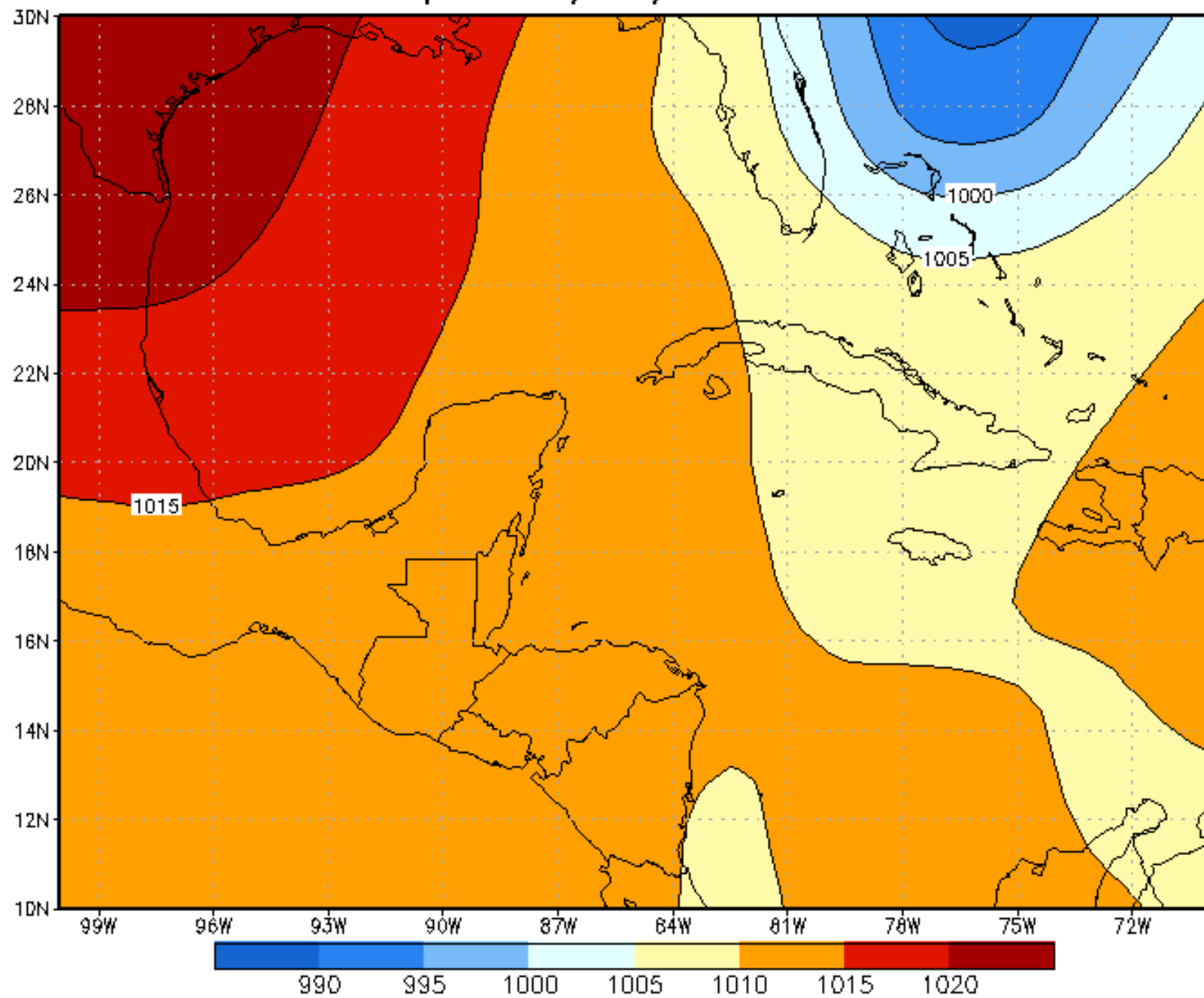
Wilma ps 24/10/2005 12 UTC



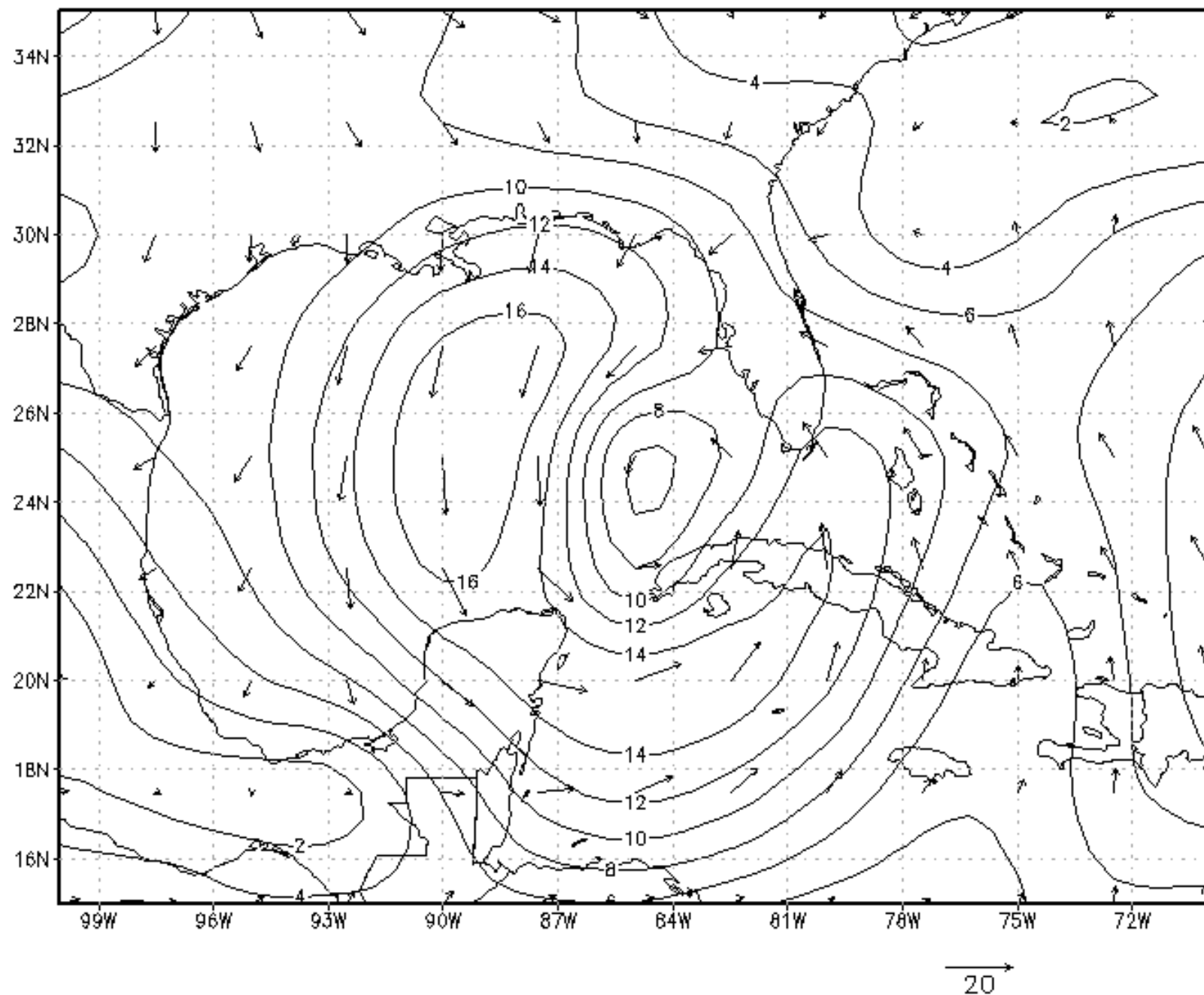
Wilma ps 24/10/2005 18 UTC



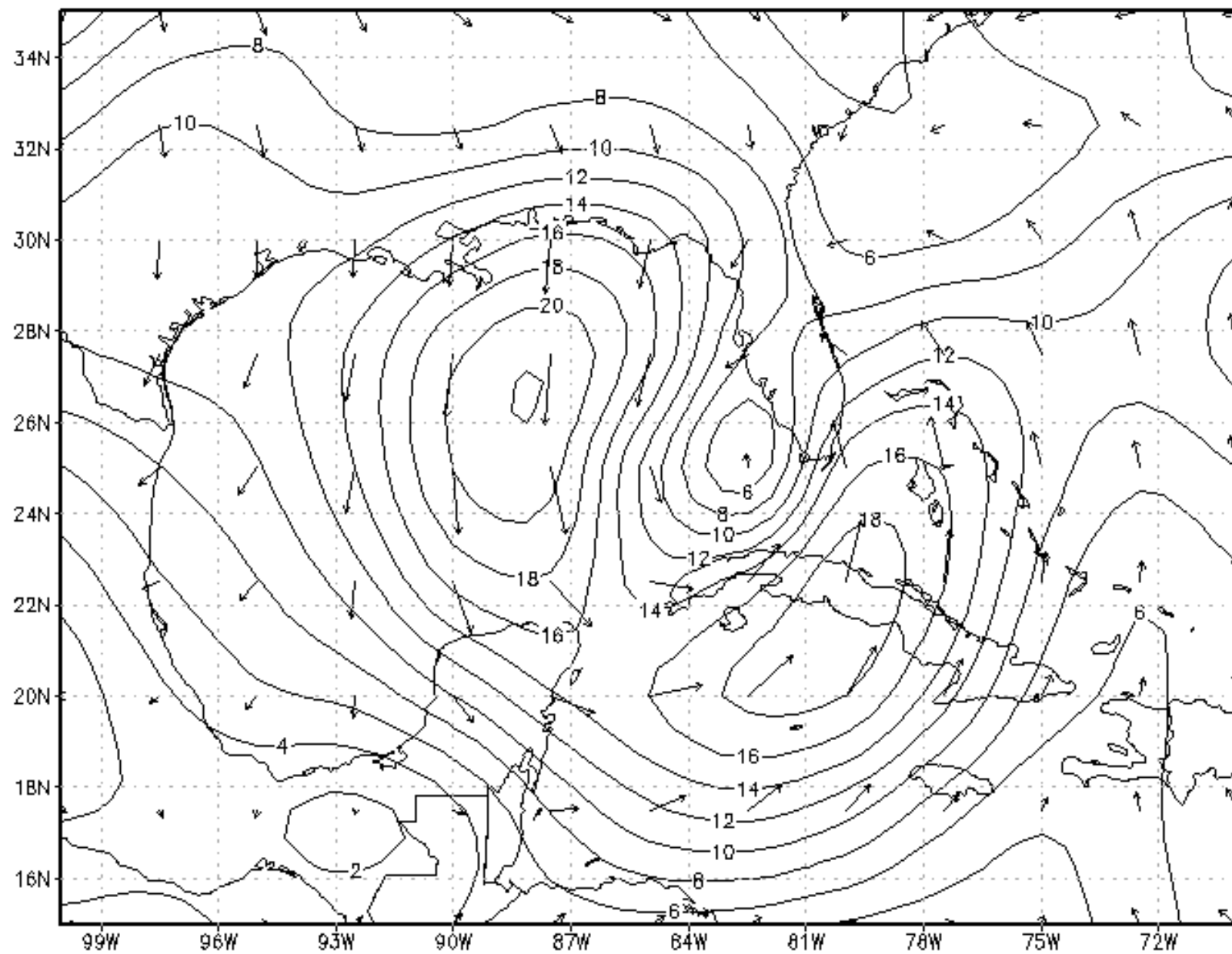
Wilma ps 25/10/2005 00 UTC



wilma wind 24/10/2005 00 UTC

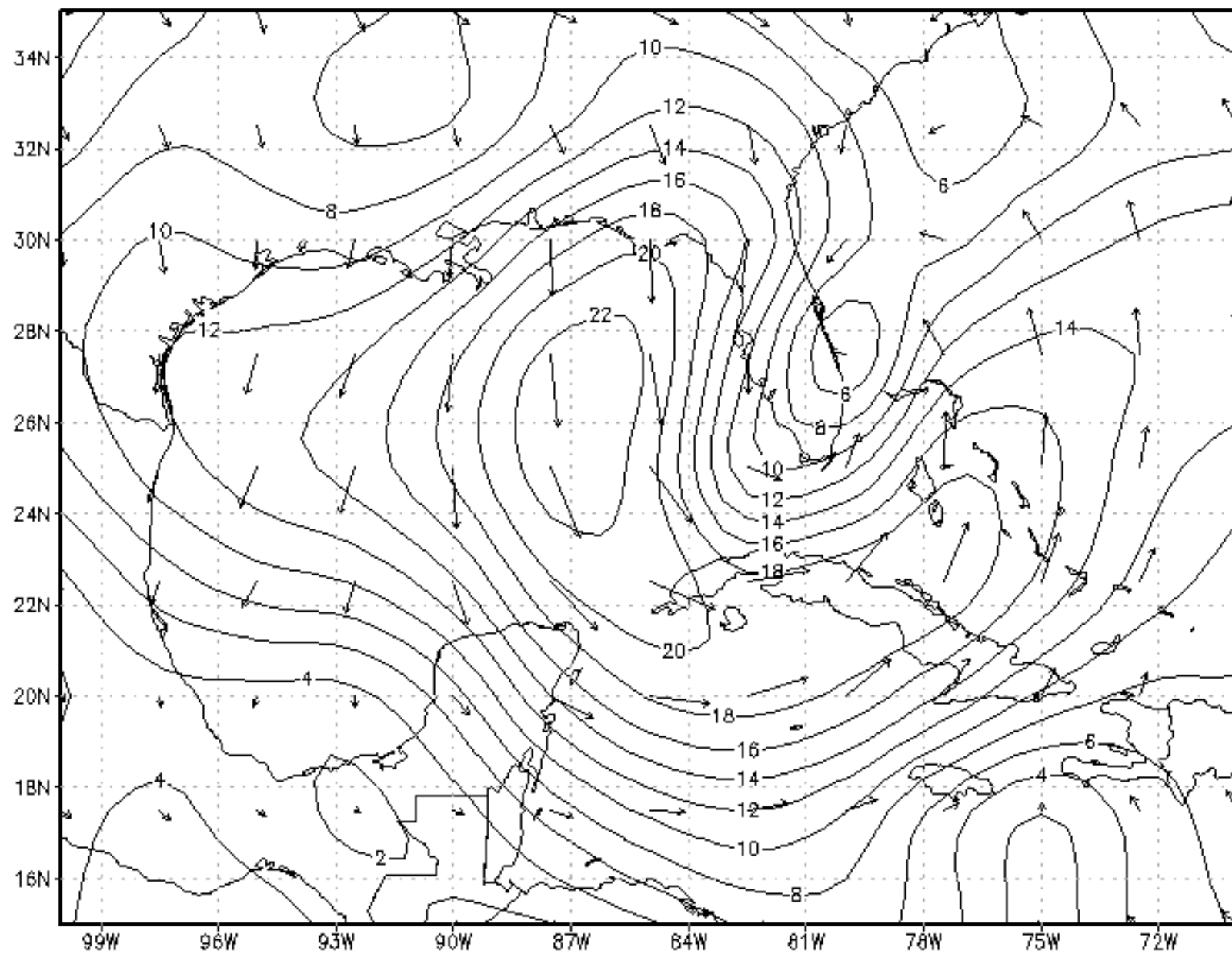


wilma_wind_24/10/2005_06 UTC



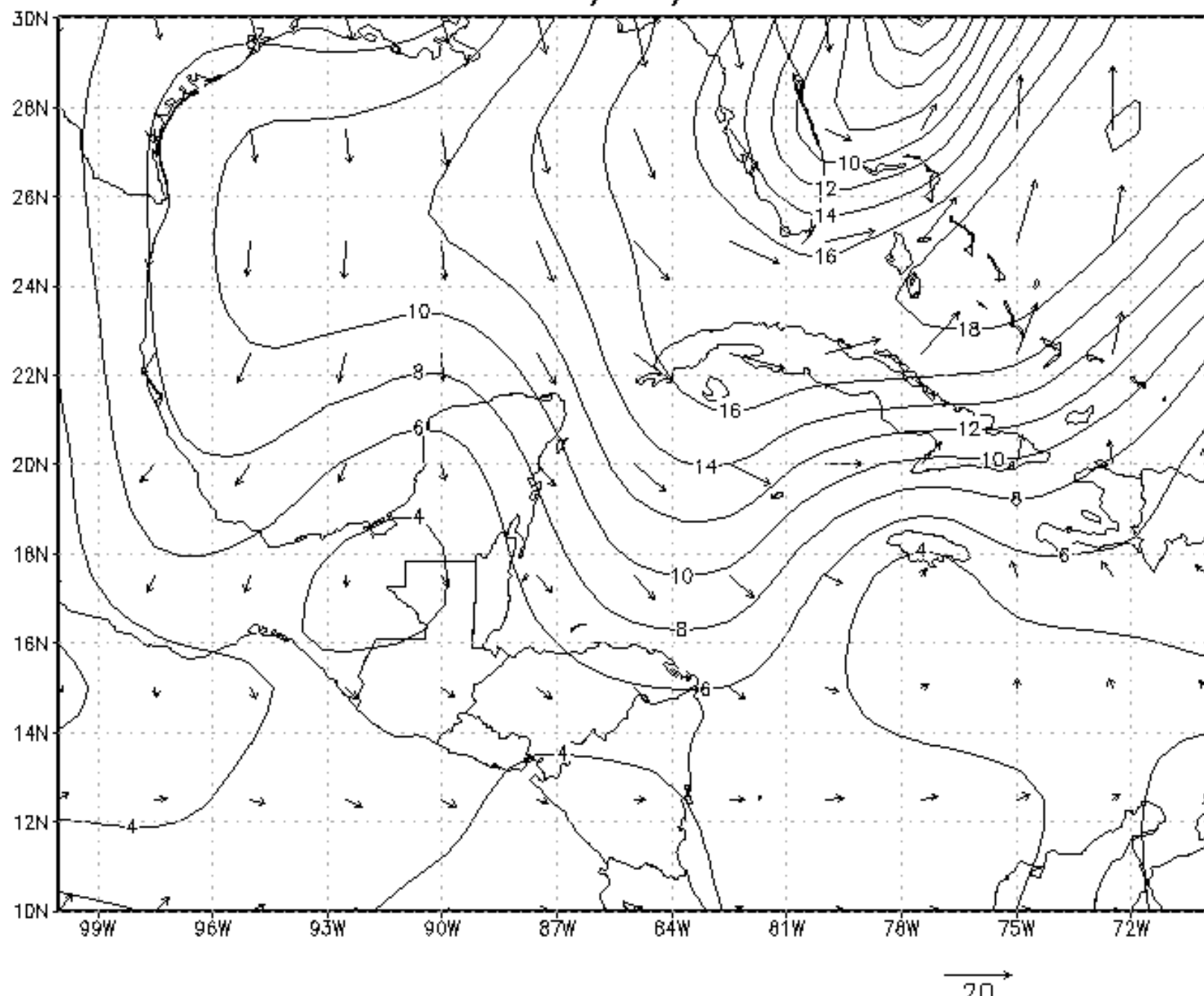
→
20

wilma_wind_24/10/2005_12 UTC

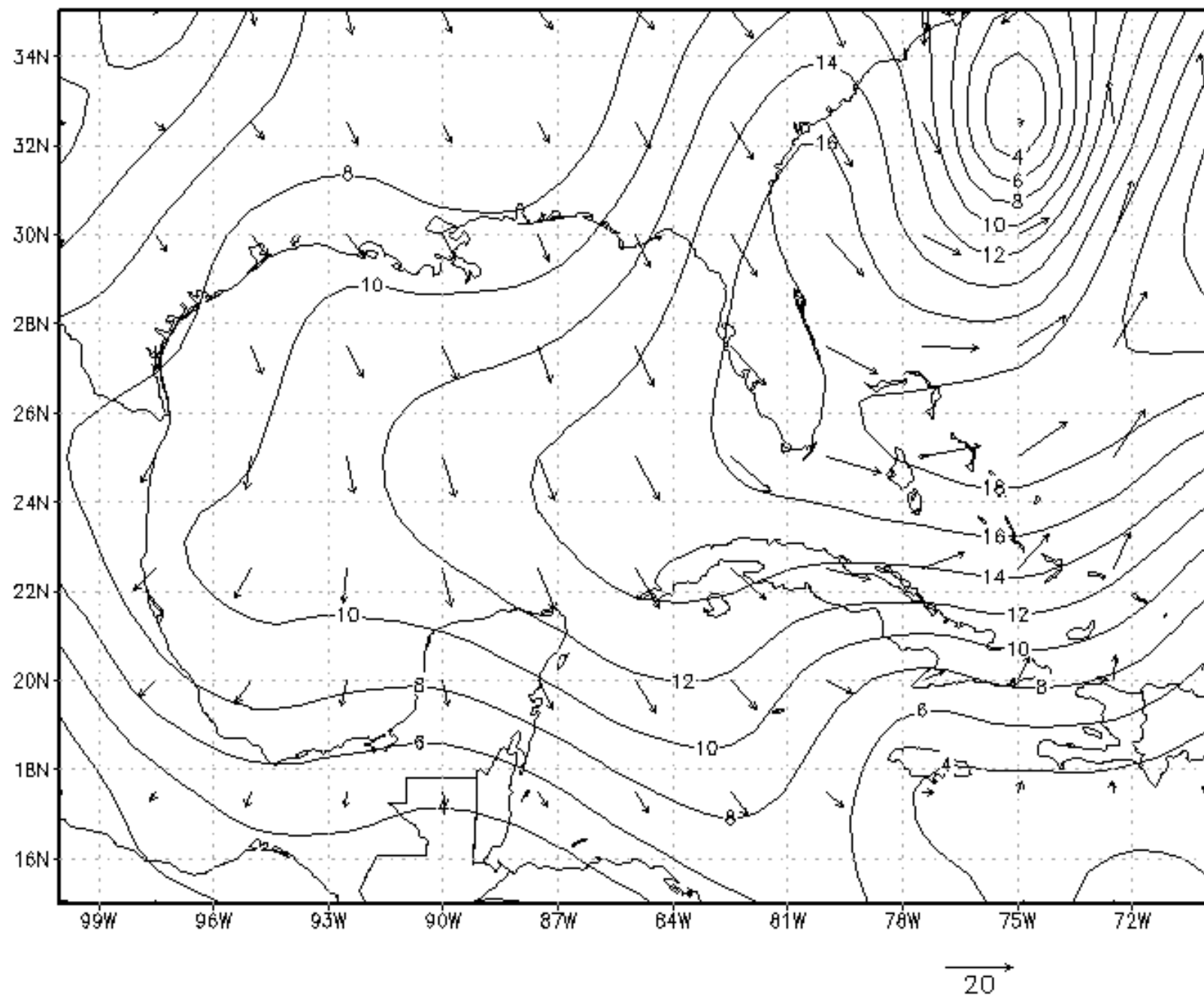


→
20

Wilma wind 24/10/2005 18 UTC



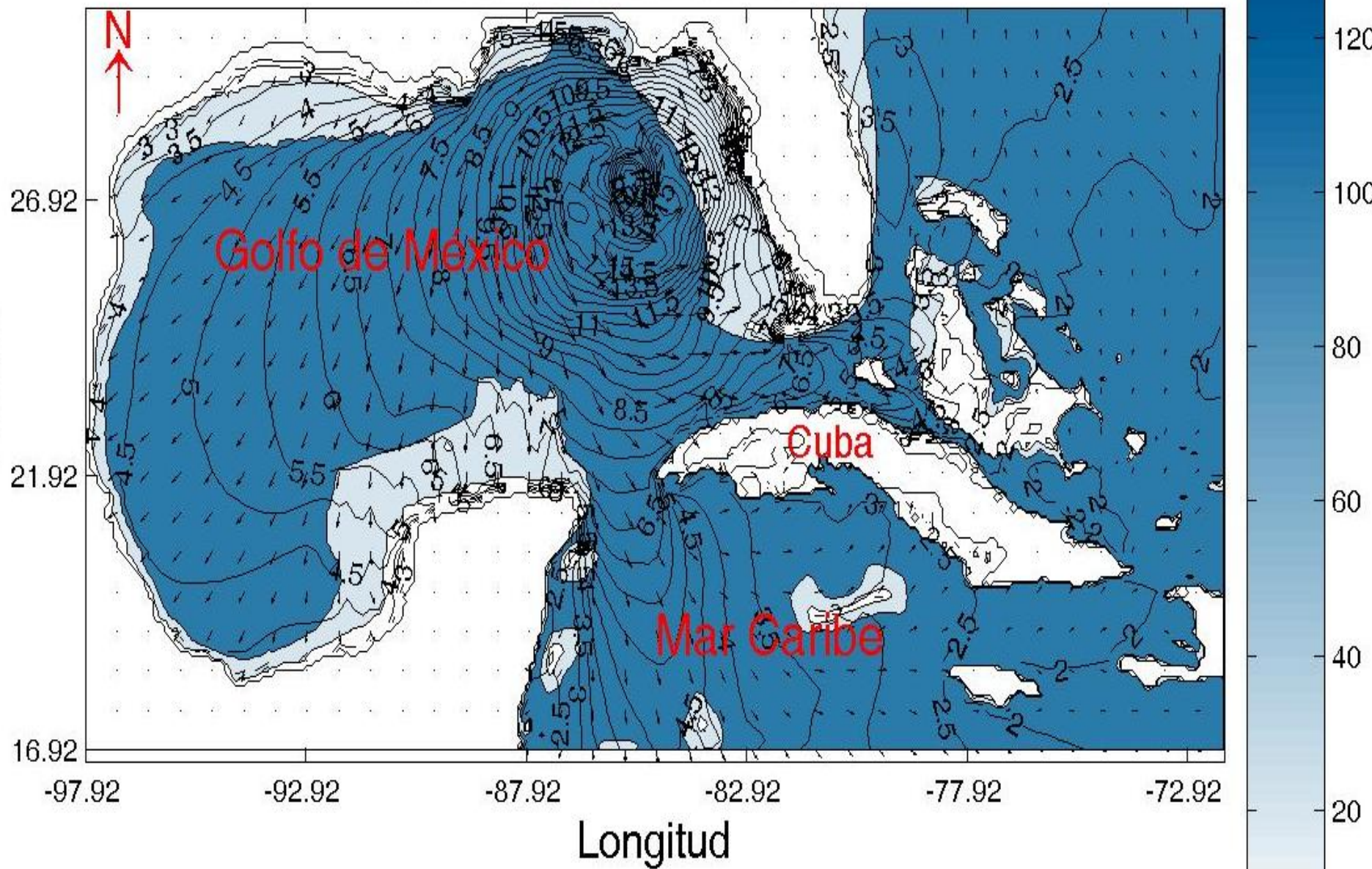
wilma_wind_25/10/2005_00 UTC



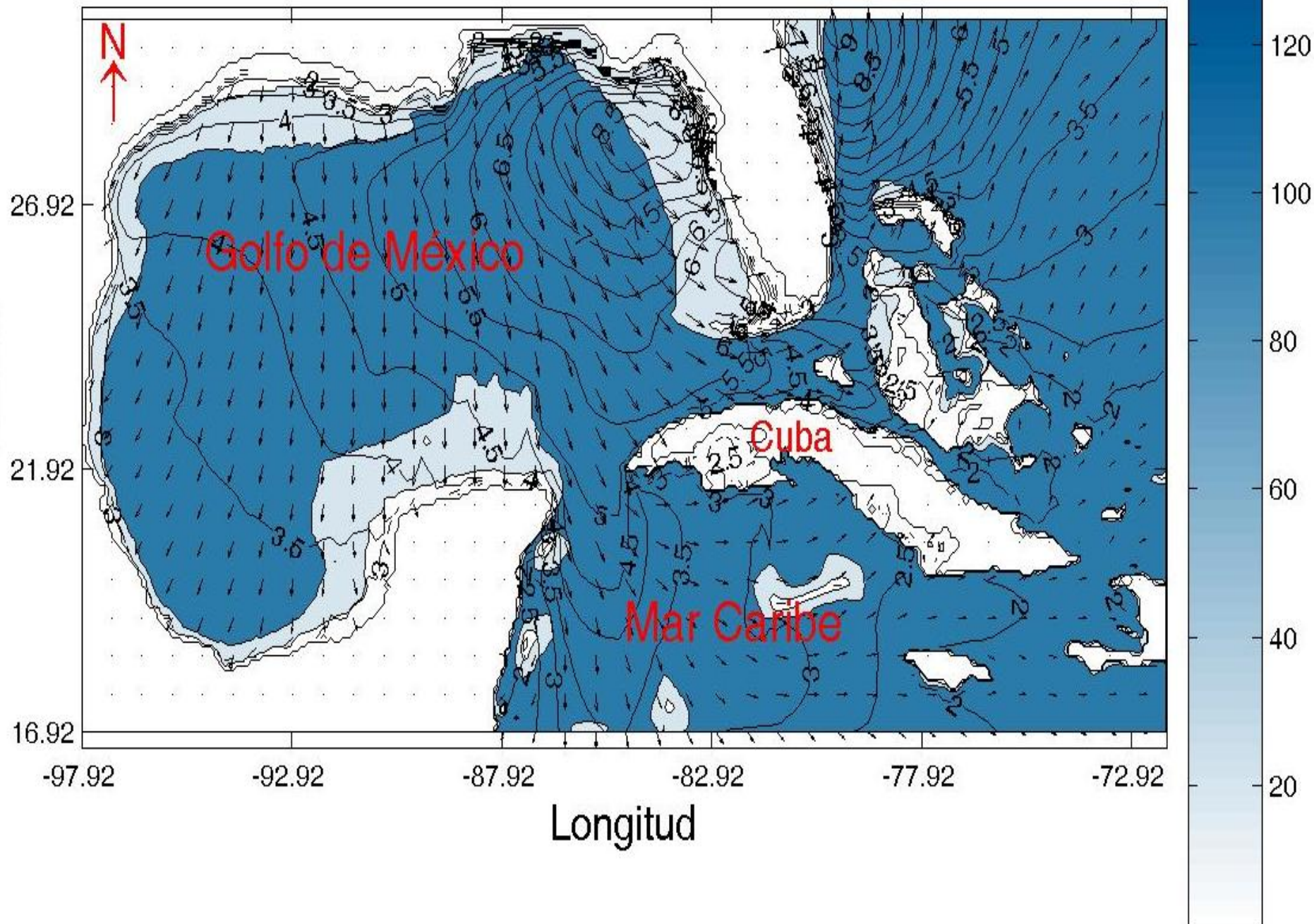
A continuación algunas simulaciones hechas con el modelo SWAN, con datos de reanálisis, disponibles en el sitio web del modelo GFS y resolución de $0,5^\circ$ de latitud

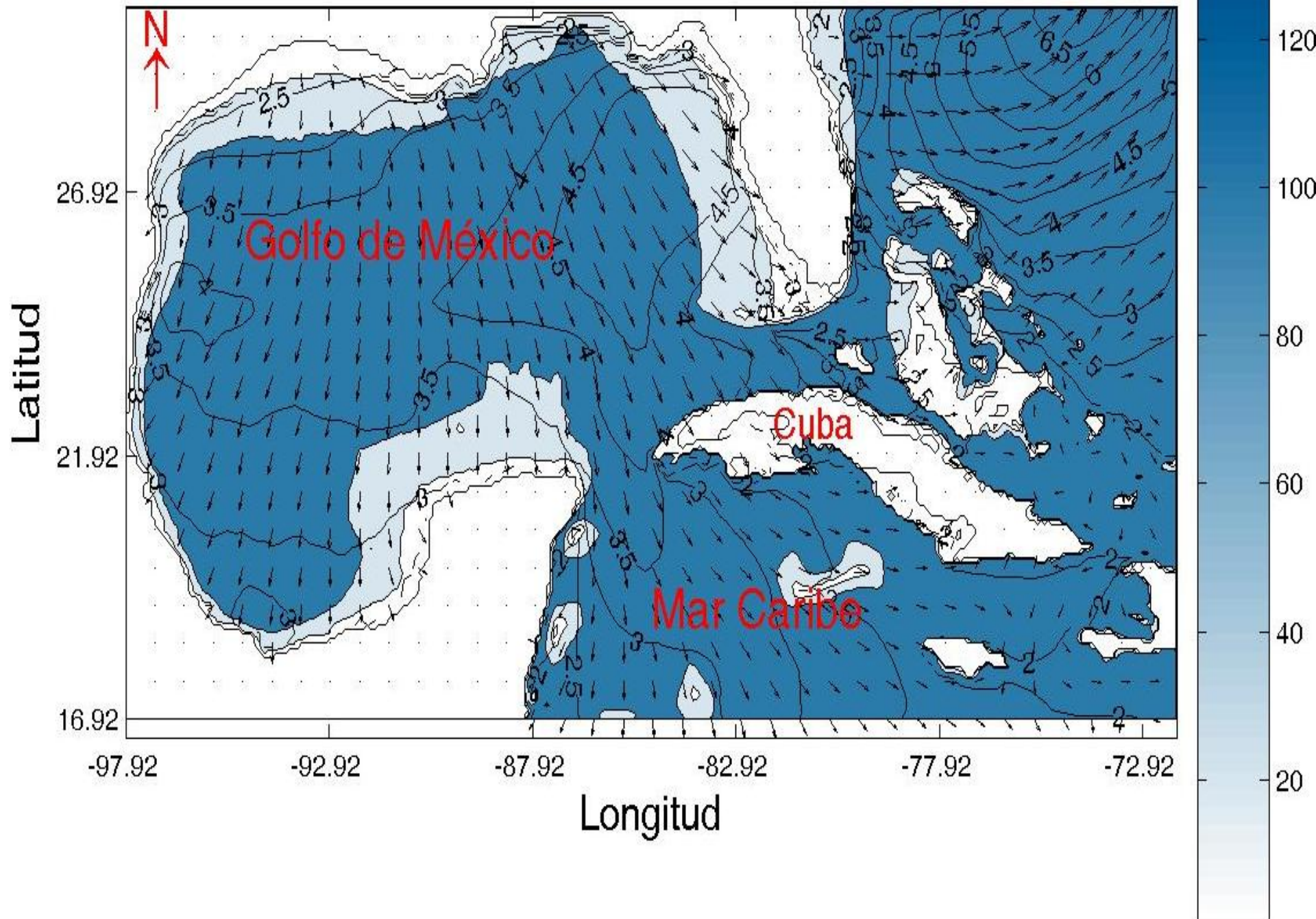
Son cortesía de la Dra. Yunit Juantorena Allen y del Lic. Osvaldo Enrique Pérez López, investigadores del Instituto de Meteorología de Cuba

Latitud



Latitud





Cortesía de especialistas del
INSMET



24 10 2005

Cortesía de especialistas del
INSMET



Cortesía de
especialistas del
INSMET



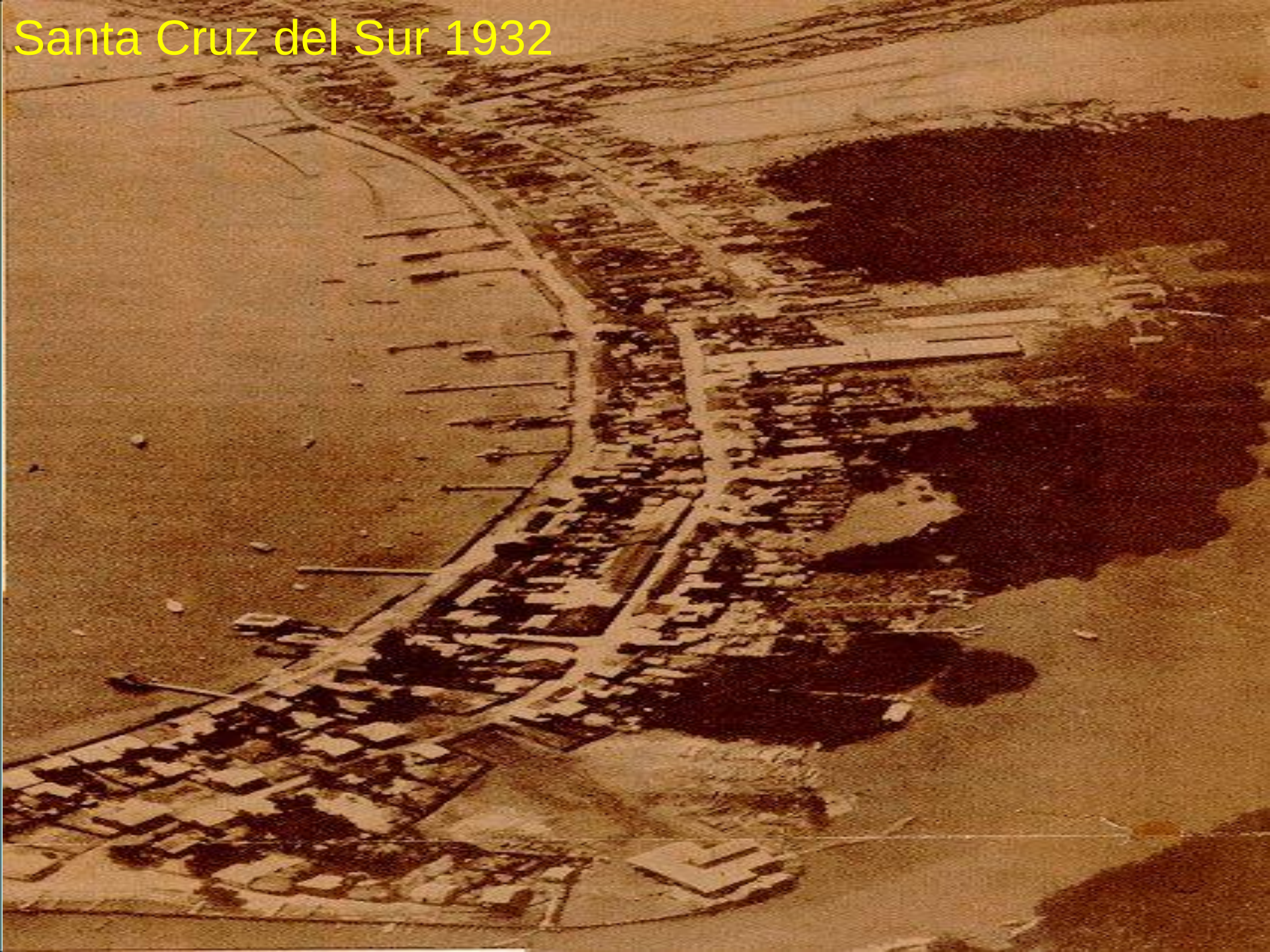
25 8:46AM

En ocasiones ocurre que en las costas bajas, que no son favorables a las inundaciones por predominio de wave set up, la surgencia del huracán contribuye a que el oleaje se desarrolle y genere daños considerables.

A modo de ejemplo se pueden citar el ya mencionado “Irene”, de 1999 y “Paloma”, del 2008, entre muchos otros.

“Paloma” tuvo la particularidad de prácticamente repetir el 9 de noviembre del 2008, la trayectoria del huracán del 9 de noviembre de 1932, aunque este último fue mucho más dañino, con una sobreelevación total del nivel del mar de más de 6 m y 3303 víctimas, mientras que la de “Paloma”, fue del orden de 2 m y no hubo fallecidos.

Santa Cruz del Sur 1932



9/noviembre/1932 3303 fallecidos

El peor desastre natural de que se
tiene noticia en la historia de Cuba

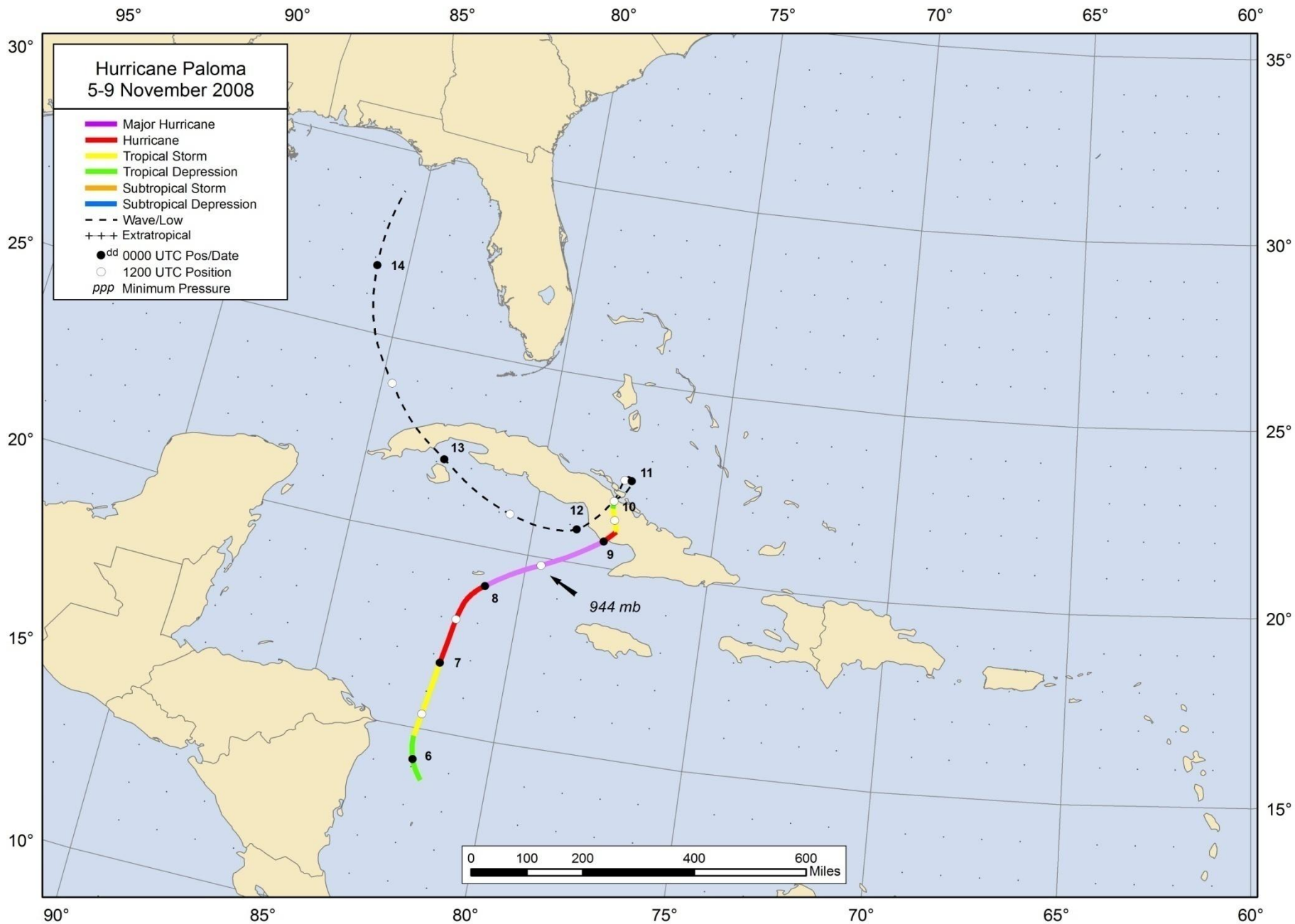


“Paloma ” se originó de un área de disturbios en la zona suroccidental del Caribe, el 1 /11/2008. El sistema gana en organización en los días siguientes y el 5 /11 a las 1800 UTC ya es una depresión tropical, que se mueve por las cercanías de Nicaragua y Honduras. El 6/11, a las 0600 UTC alcanza el estatus de tormenta tropical. Se vuelve hacia el norte y el día 7, en las cercanías de Gran Cayman, ya es un huracán de categoría 2 que se profundiza muy rápido. Su máxima intensidad la adquiere al sudeste de las islas Little Cayman y Cayman Brac, hasta llegar a categoría 4 y convertirse en el segundo huracán más fuerte del mes de noviembre en esta región del planeta. En este momento, se estima que las olas alcanzaron de 4 a 6 m de altura en el área del huracán.

Entre el 8 y el 9/11 se debilita. El 9/11 a las 0100 UTC, penetra en tierra por las cercanías de Santa Cruz del Sur, Cuba, con categoría 2. La sobre elevación del nivel del mar es de más de 2m y las olas, de más de 3 m.

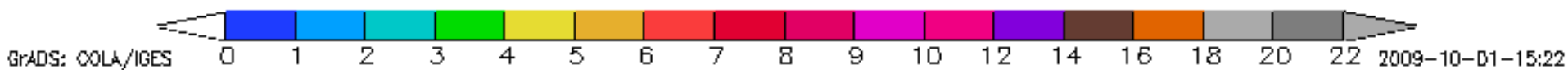
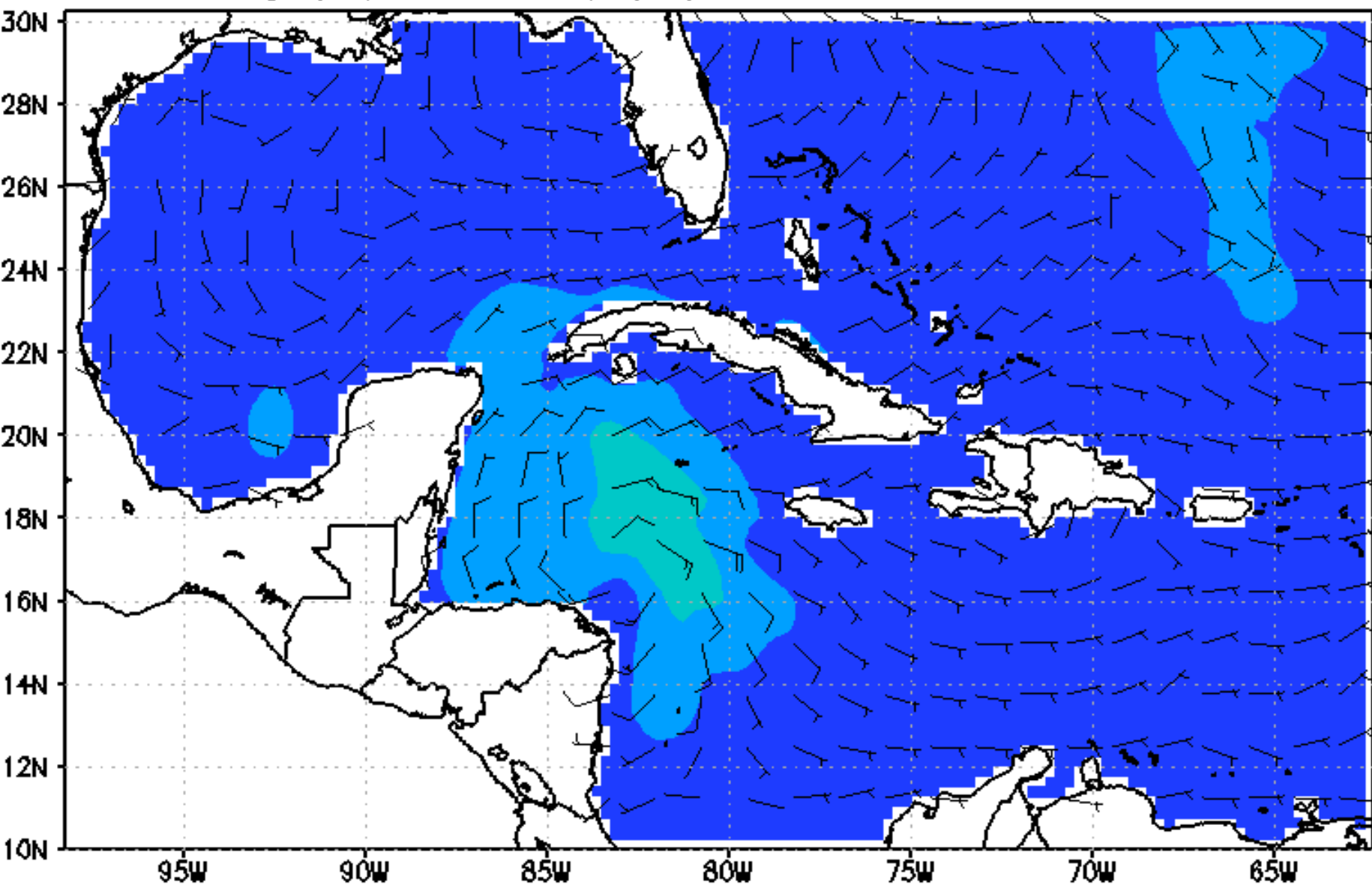
Sale por la zona central de Cuba el 10/11 muy debilitado y se disipa. Los remanentes de “Paloma” se mueven hacia el norte con lentitud y se desvanecen totalmente en las cercanías de la Florida, el 14 /11/2008.

Tomado del sitio web www.nhc.noaa.gov, del reporte de Brennan U.J. (2009) y archivos del INSMET

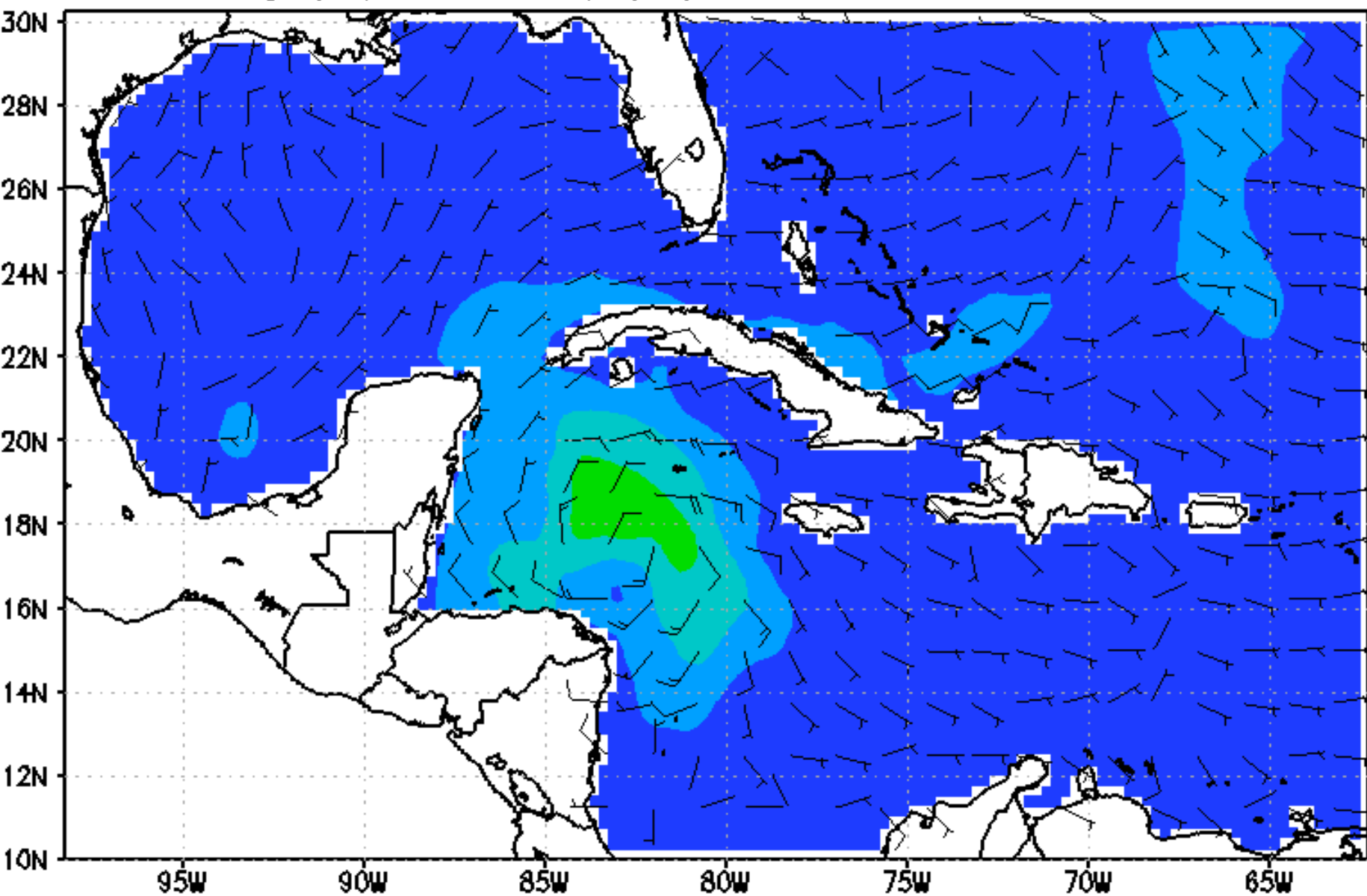


A continuación, una simulación MM5- WW3, del oleaje generado por Paloma entre el 7/11/08 a las 00 UTC y el 9/11/08 a las 00 UTC. Se muestra el campo de altura de ola significativa y encima, el de viento.

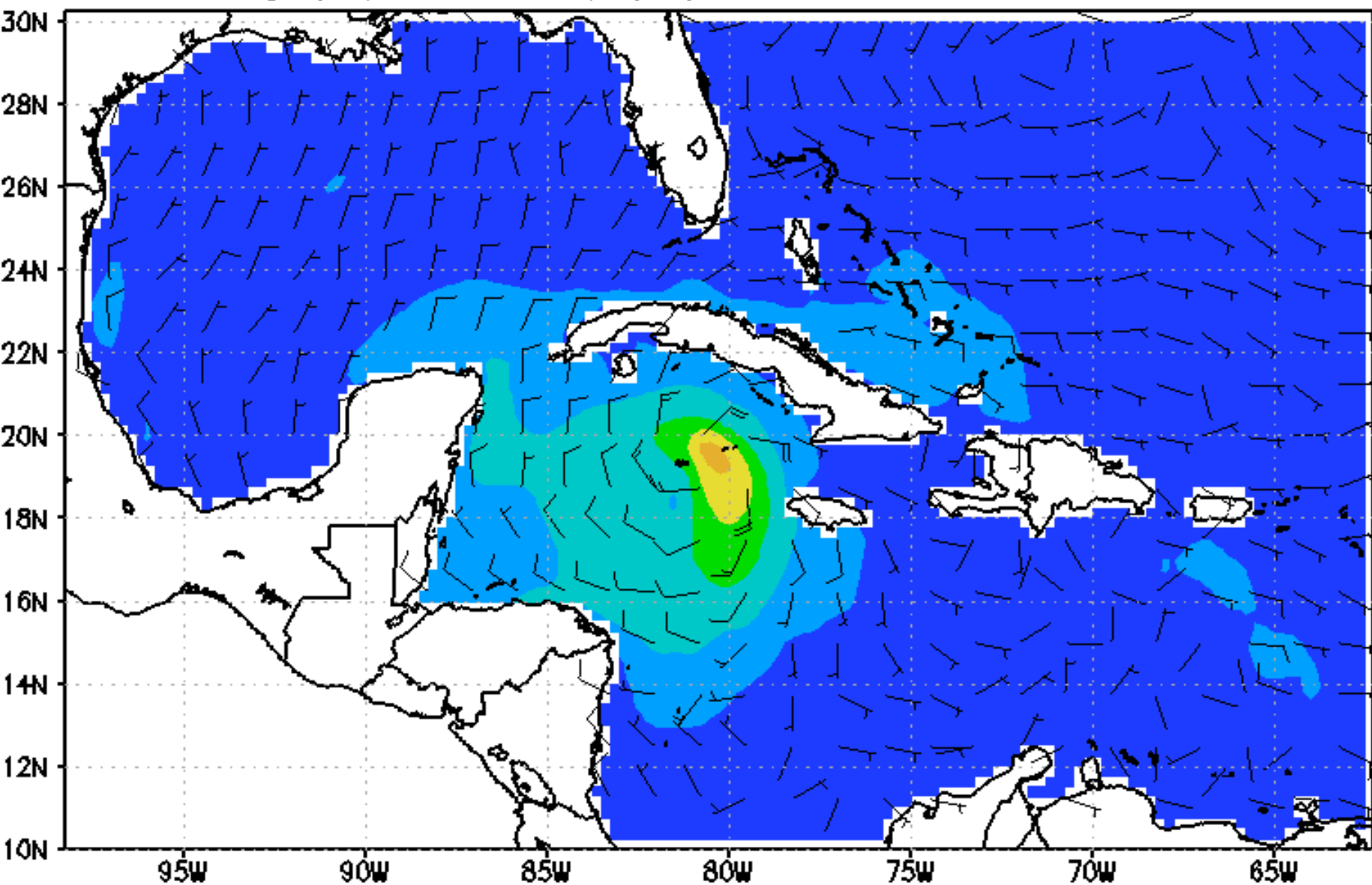
Hsig (m) & wind (m/s) 20081107 Hora=12 UTC



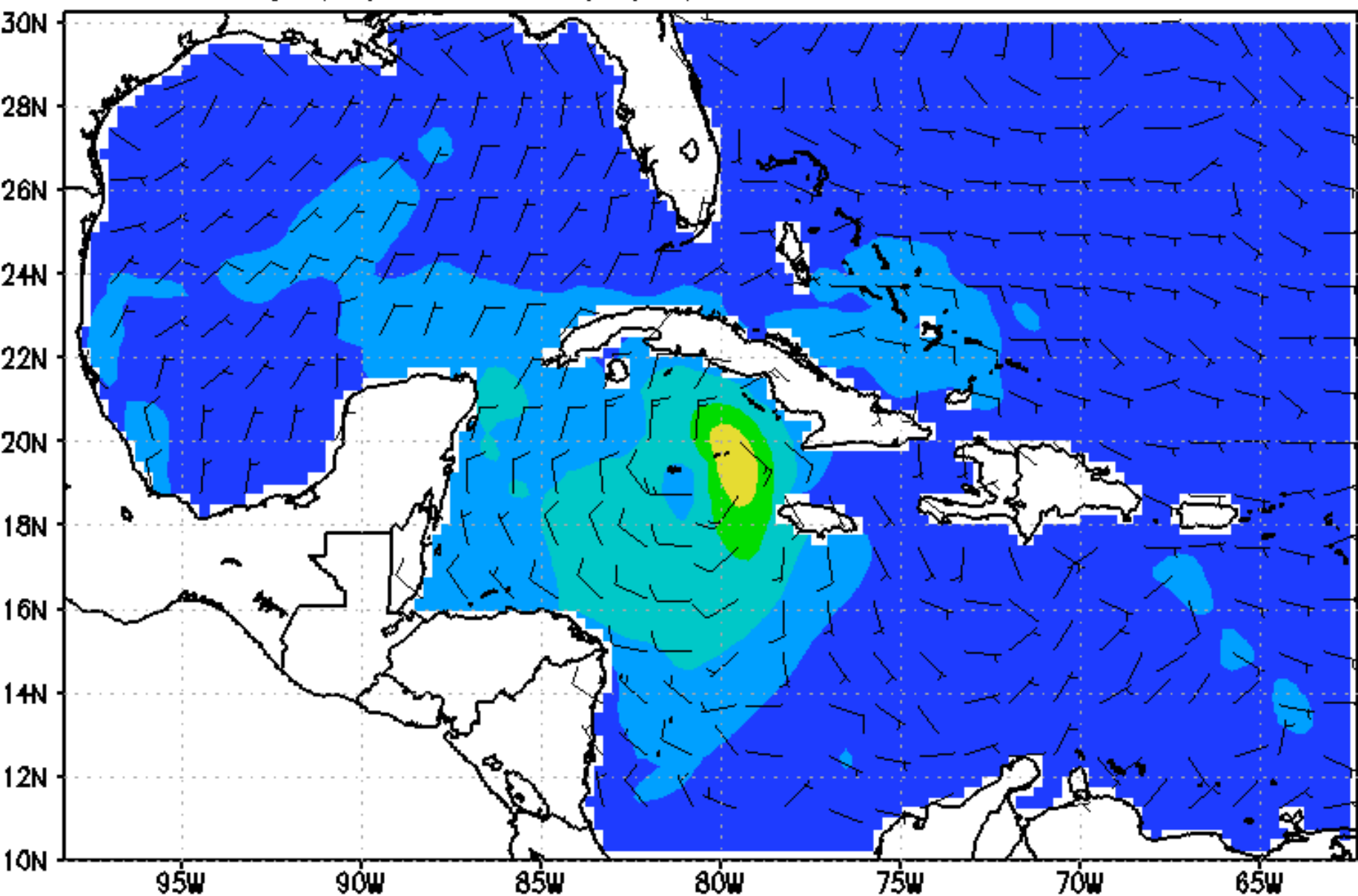
Hsig (m) & wind (m/s) 20081107 Hora=18 UTC



Hsig (m) & wind (m/s) 20081108 Hora=18 UTC



Hsig (m) & wind (m/s) 20081109 Hora=0. UTC



IMAGÉNES DEL 11 DE NOVIEMBRE DEL 2008 DESPUÉS DEL PASO DE PALOMA



Los recursos actuales de computación, permiten la combinación de diferentes modelos numéricos capaces de pronosticar con gran efectividad los campos de olas. Entre los modelos de oleaje más utilizados, se cuentan WW3 y SWAN

SWAN (Simulating WAve Nearshore) – Este modelo fue elaborado por especialistas de la Universidad Tecnológica de Delft, Países Bajos. Permite la modelación del oleaje en aguas profundas e intermedias, pero con mayor detalle en las aguas costeras, conocidos la topografía, los campos de viento, presión, batimetría y corrientes. Se incluyen todos los efectos de deformación: refracción, difracción, reflexión y shoaling.

Permite cumplir las siguientes tareas:

- Pronóstico del estado dinámico de la superficie marina
- Oleaje en zona costera y puertos.
- Efecto del oleaje sobre las instalaciones costeras

Wave WATCH III - Ha sido creado por especialistas del Environmental Modeling Center/Marine Modeling and Analysis Branch at the National Centers of Environmental Prediction/National Ocean and Atmospheric Administration (NOAA/NCEP). Asume que las propiedades del medio ambiente son variables en el tiempo (las corrientes marinas y el nivel del mar) y que el campo de olas en general varía en escalas temporales y espaciales mayores que las de una onda solitaria.

Ello implica que las parametrizaciones no limitan de forma rígida a la evolución del oleaje en relación con la batimetría y que el modelo pueda utilizarse con dominios anidados desde la costa.

Se presenta como limitación, que el modelo no refleja con efectividad el oleaje cuyo factor limitante más fuerte sea la profundidad del mar.

Una manera muy eficiente para pronosticar el oleaje es la combinación:

“modelo atmosférico” - WW3- SWAN

Recursos como este permiten proteger mejor las vidas humanas.



Cortesía de Antonio del Cristo INSMET.Cuba

GRACIAS POR LA ATENCIÓN PRESTADA!!!!