

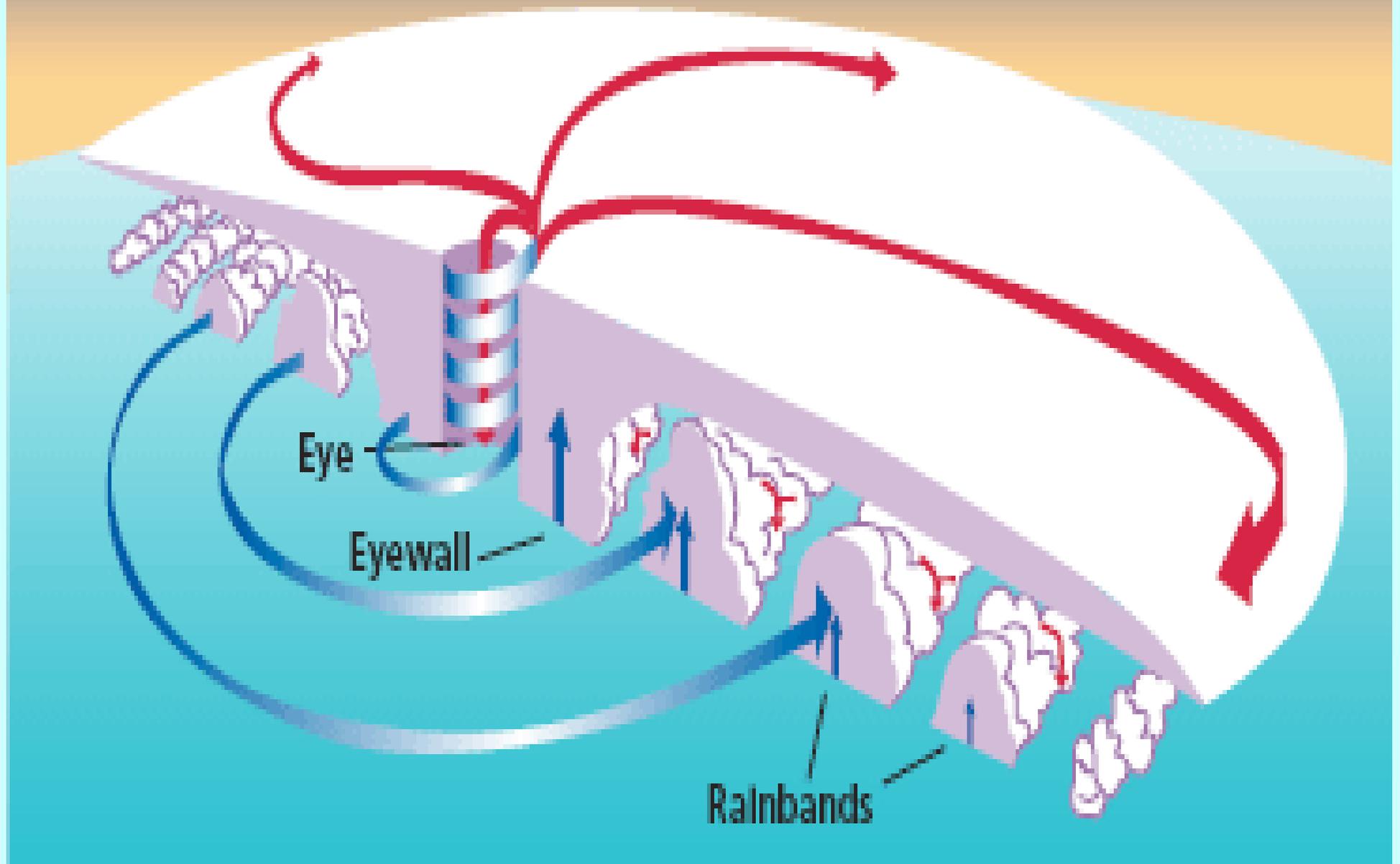
RESPUESTA DEL OCÉANO AL PASO DE LOS CICLONES TROPICALES

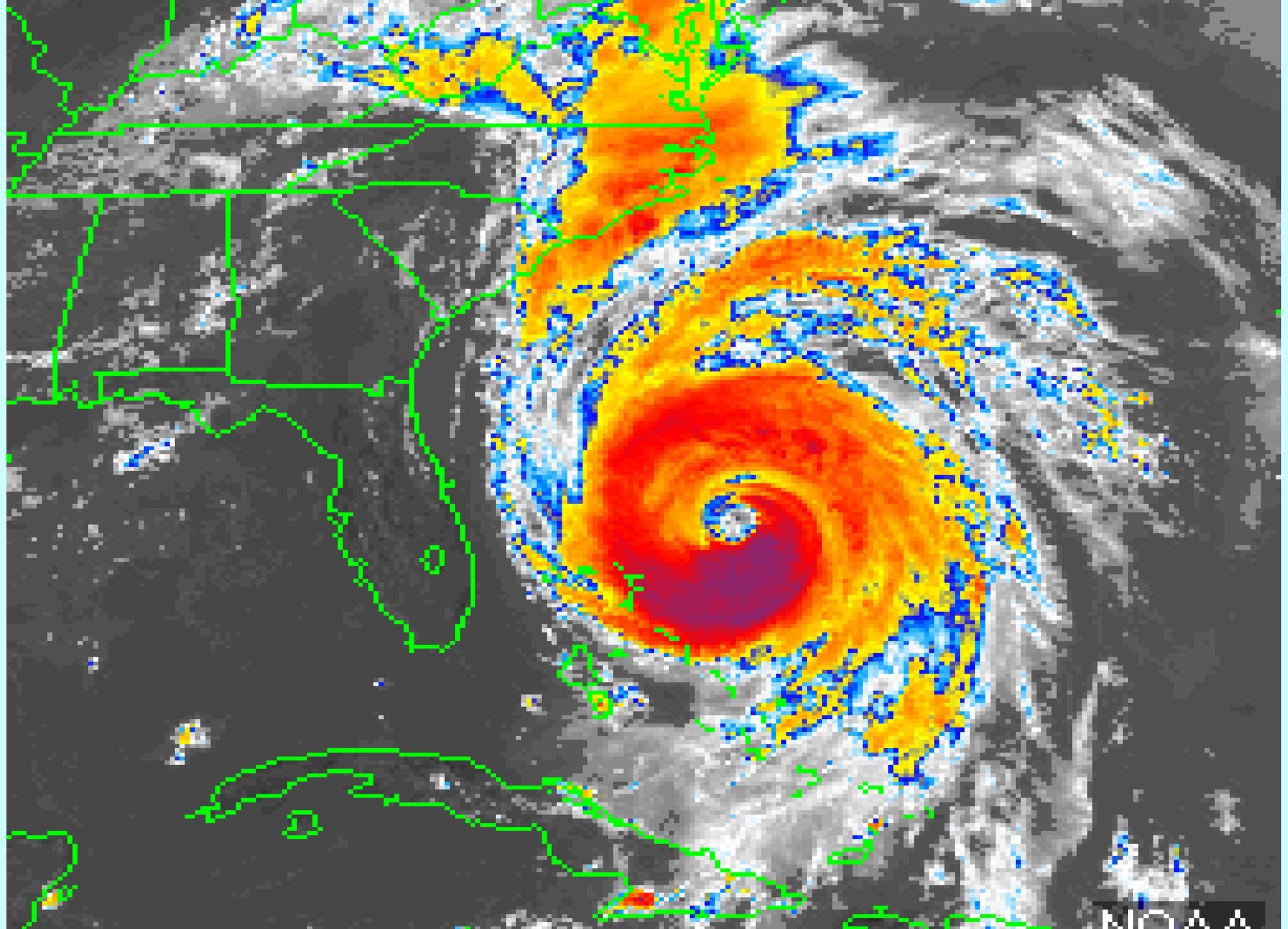
**Dra. Ida Mitrani Arenal
CFA/INSMET**

Recordemos que:

Los ciclones tropicales (CT) son definidos como centros de bajas presiones que se desarrollan sobre aguas tropicales o subtropicales, en una masa de aire húmedo y caliente (OMM 1985).

Cortesía de la NOAA



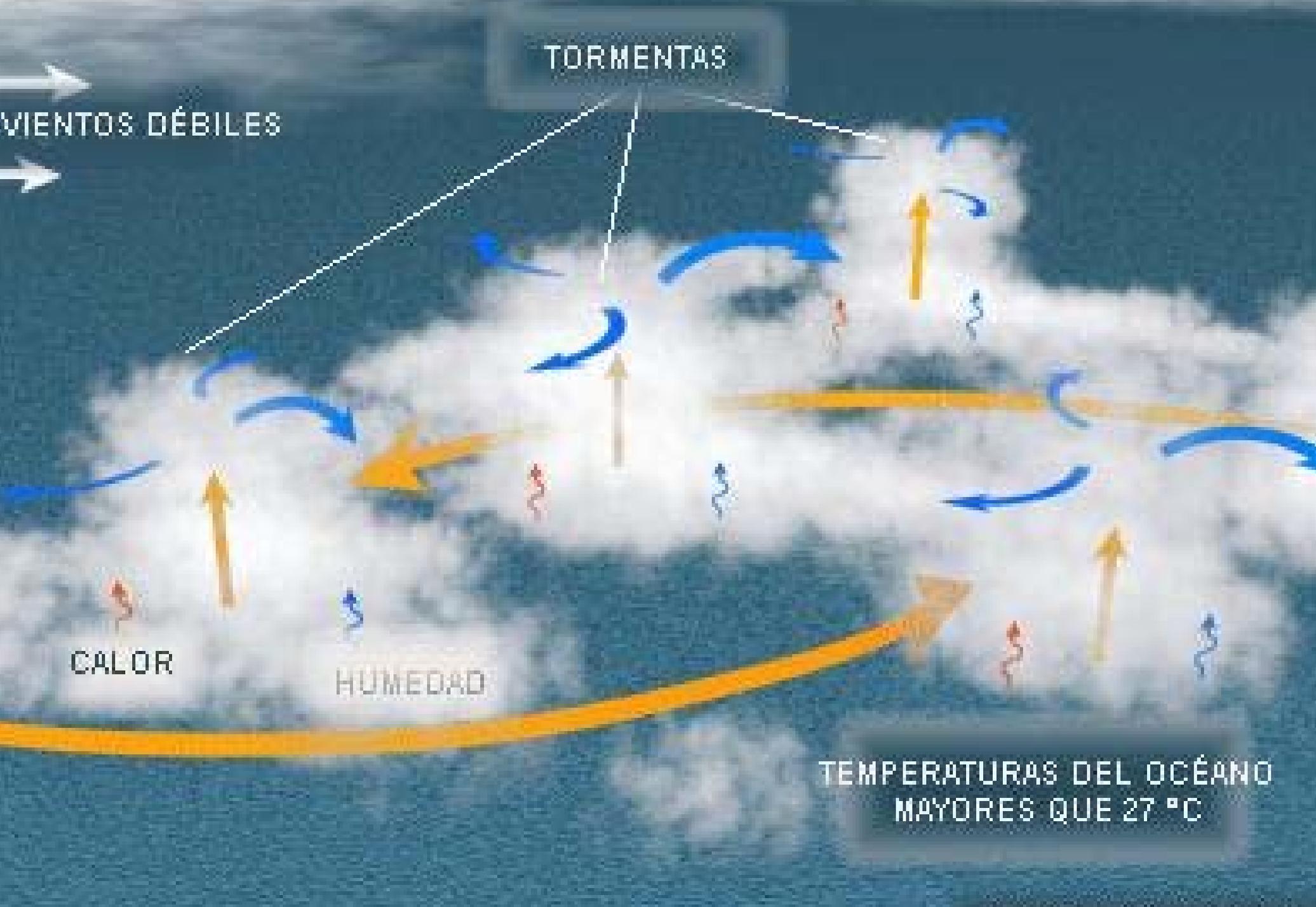


Las condiciones necesarias para su desarrollo son:

- . La presencia de un disturbio inicial**
- . Latitudes entre 5° y 35° .**
- . Débil cizalladura vertical**
- . Vorticidad favorable a los movimientos ascendentes del aire**
- . Vientos débiles en las capas más altas de la atmósfera**
- . La temperatura de la superficie marina mayor que un valor crítico ($26-27^{\circ}\text{C}$)**
- . El espesor de la capa isotérmica oceánica con varias decenas de metros.**

Áreas de ciclogénesis:





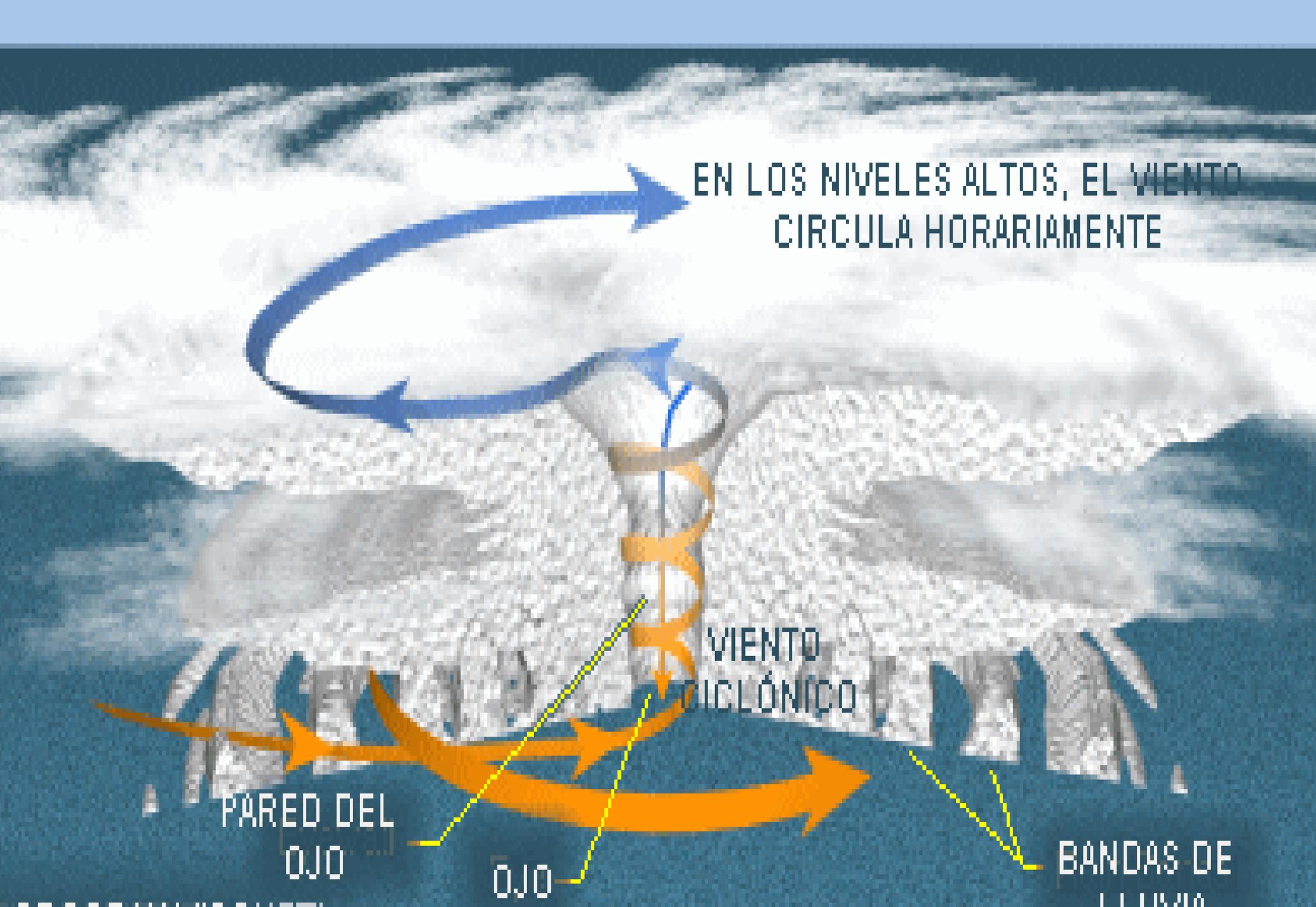
TORMENTAS

VIENTOS DÉBILES

CALOR

HUMEDAD

TEMPERATURAS DEL OCÉANO
MAYORES QUE 27 °C



EN LOS NIVELES ALTOS, EL VIENTO CIRCULA HORARIAMENTE

VIENTO CICLÓNICO

PARED DEL OJO

OJO

BANDAS DE LLUVIA

Influencia del CT

- **Significativo gradiente b́arico.**
- **Fuertes vientos convergentes.**
- **Pronunciados movimientos convectivos**
- **Intensas lluvias**

Respuesta Oceánica

- **Sobreelevación del nivel del mar.**
- **Fuerte Oleaje**
- **Cambios en el sistema de circulación de las aguas.**
- **Intensa entrega de calor sensible y latente.**
- **Cambios en la estructura thermohalina.**

La sobreelevación del nivel del mar se comporta de forma diferente en dependencia de la profundidad de las aguas. Es distinto para aguas profundas, someras o costeras

La sobreelevación del nivel del mar se manifiesta por:

- Surgencia de tormenta (Storm surge).
- Acumulación de agua por arrastre del viento (Wind set up).
- Acumulación de agua por rompiente de oleaje (Wave set up).

Concepto de MAREA DE TORMENTA (Storm tide):

Es la sobreelevación total, por encima del nivel medio del mar, de la componente meteorológica más la marea astronómica (Jelesniansky, 2008).

La surgencia de tormenta (Storm Surge):

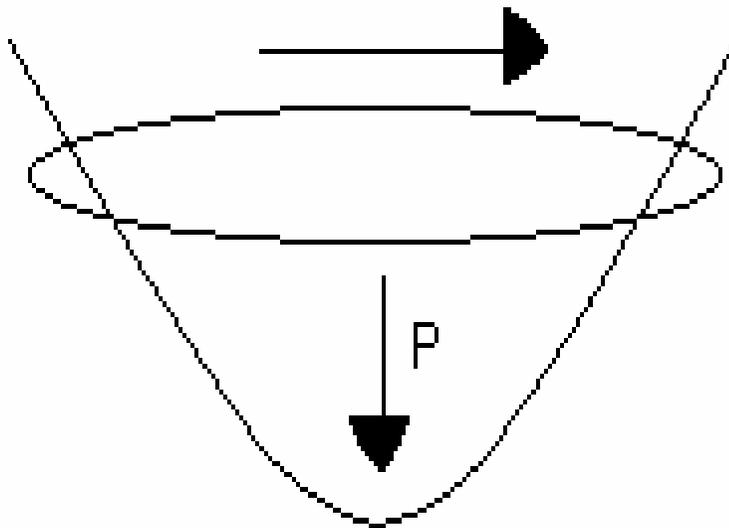
- ❖ **Es una onda gravitacional muy larga , con longitud comparable a las dimensiones del evento que la generó, que aparece hacia la zona central de las circulaciones ciclónicas, por la combinación del campo convergente de los vientos de gran intensidad y del efecto de barómetro invertido.**
- ❖ **La longitud aproximada de la onda equivale 4 veces al radio de vientos máximos.**
- ❖ **Usualmente es una onda solitaria que se mueve con el CT, aunque al desplazarse paralelo a una franja costera se pueden producir ondas secundarias o resurgencias.**

En aguas profundas, lejos de la costa, la tensión del viento sobre la superficie oceánica crea un apilamiento rotatorio de agua (un vórtice), que es como una continuación del vórtice ciclónico atmosférico, pero la sobreelevación es relativamente baja, del orden del efecto de barómetro invertido, que se manifiesta como el aumento del nivel del mar en 1 cm. por cada hPa en que desciende la presión central con respecto a la periférica.

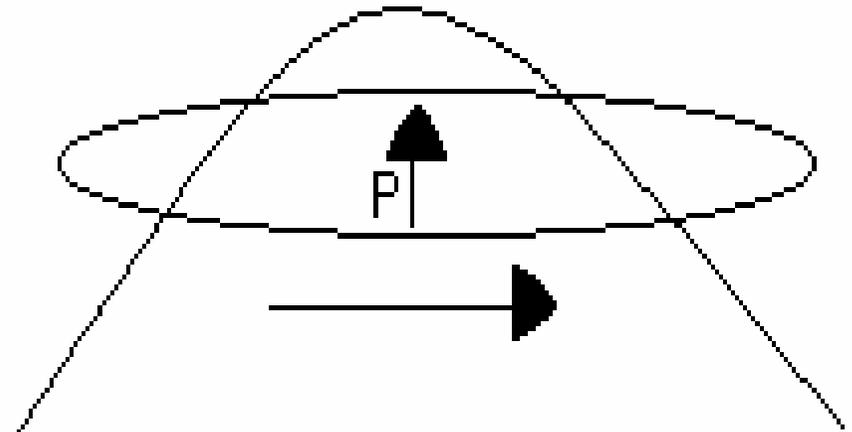
(Jelesniansky 2008)

EL EFECTO DE BARÓMETRO INVERTIDO:

-1 hPa = 1 cm H₂O



CIRCULACION ANTICICLONICA



CIRCULACION CICLONICA

Por ejemplo, el huracán "Camille", uno de los más intensos y catastróficos del presente siglo, tuvo una presión mínima central de 905 hPa, con una presión periférica de 1013 hPa; la sobreelevación por efecto de barómetro invertido sería solamente de 1,08 m. En cambio, la altura de la surgencia en la costa sobrepasó ampliamente ese valor (más de 6 m, según datos de NHC).

En aguas costeras, la sobreelevación del nivel del mar se incrementa por:

- La tendencia a la conservación de la vorticidad potencial del ojo, que implica el desarrollo de una marcada divergencia. Depende de la velocidad de traslación y la velocidad del viento. Se genera un notable efecto por el arrastre del viento.**
- Amplificación de la onda por efecto del fondo marino. Depende de la batimetría, la pendiente y la rugosidad.**
- Los efectos de reflexión en la línea costera, que generan nuevos sistemas de ondas. Dependen del ángulo entre la línea costera y la trayectoria del CT.**
- Los efectos del oleaje**

-Cuando el CT se mueve hacia la costa, en la línea costera se manifiesta la sobreelevación del nivel de mar por arrastre de masa y rompiente de oleaje.

-Sobre la línea costera, todas las sobreelevaciones ocurren a la vez, pero predominan unas u otras en dependencia del tipo de costa y de la orientación del movimiento del CT

-La surgencia y el arrastre son favorecidas por las pendientes suaves.

-La rompiente de oleaje, por las pendientes abruptas.

-La mayor sobreelevación ocurre cuando el CT se mueve hacia tierra, debido a la mayor amplificación de la surgencia.

-Cuando el CT se mueve algo alejado de la costa, se manifiestan los efectos de arrastre y rompiente.

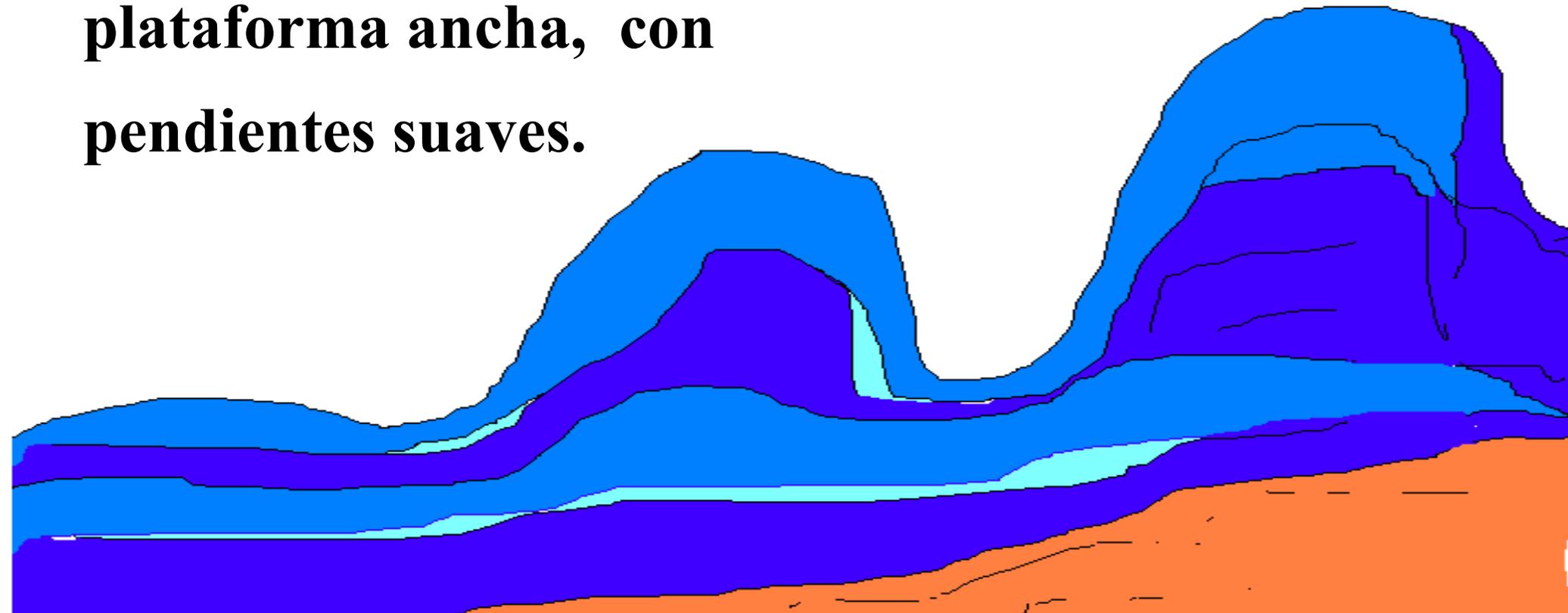
-En ocasiones, un CT muy alejado de la costa, puede generar una inundación por oleaje en forma de mar de

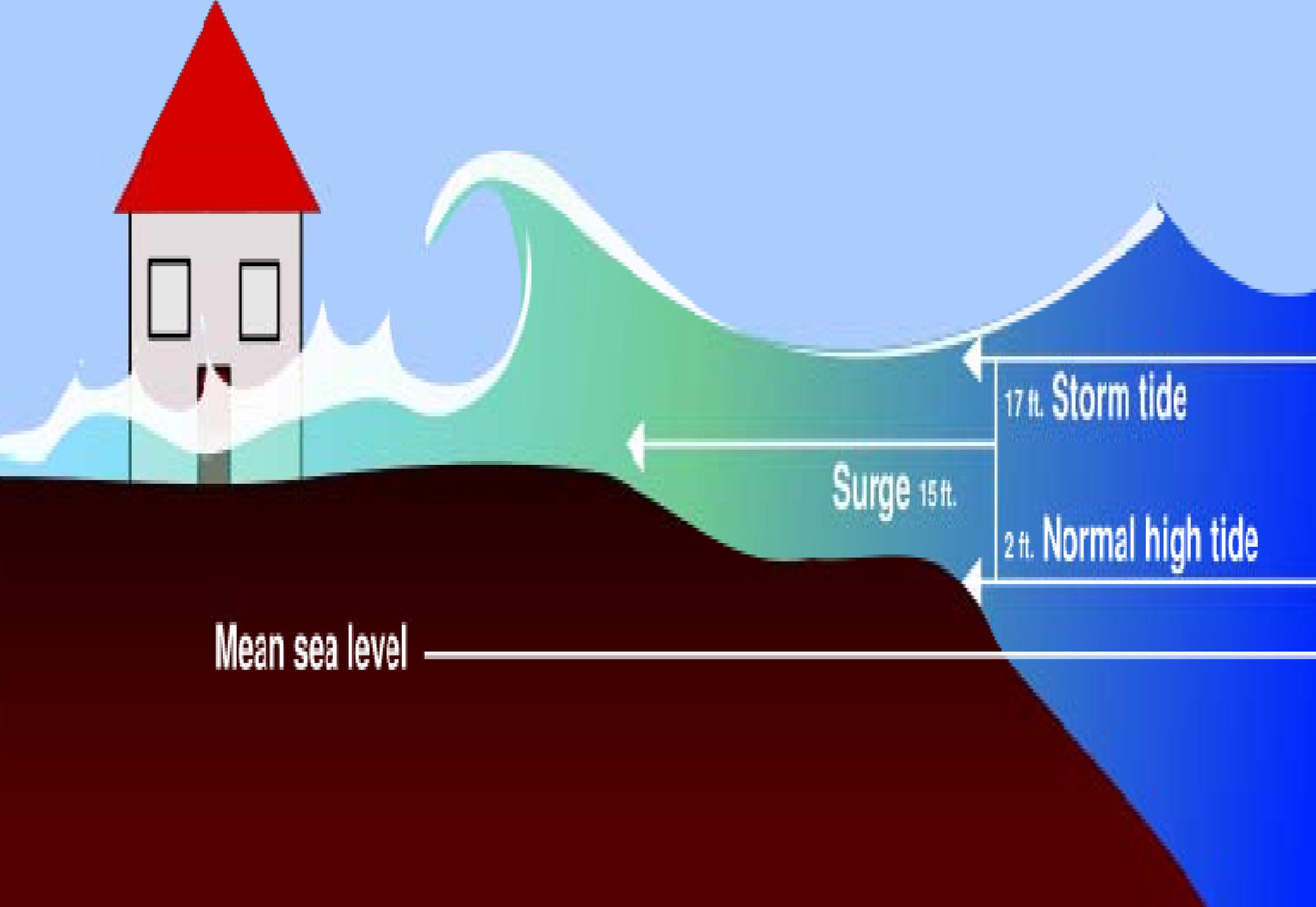
El efecto del fondo marino (en inglés, shoaling)

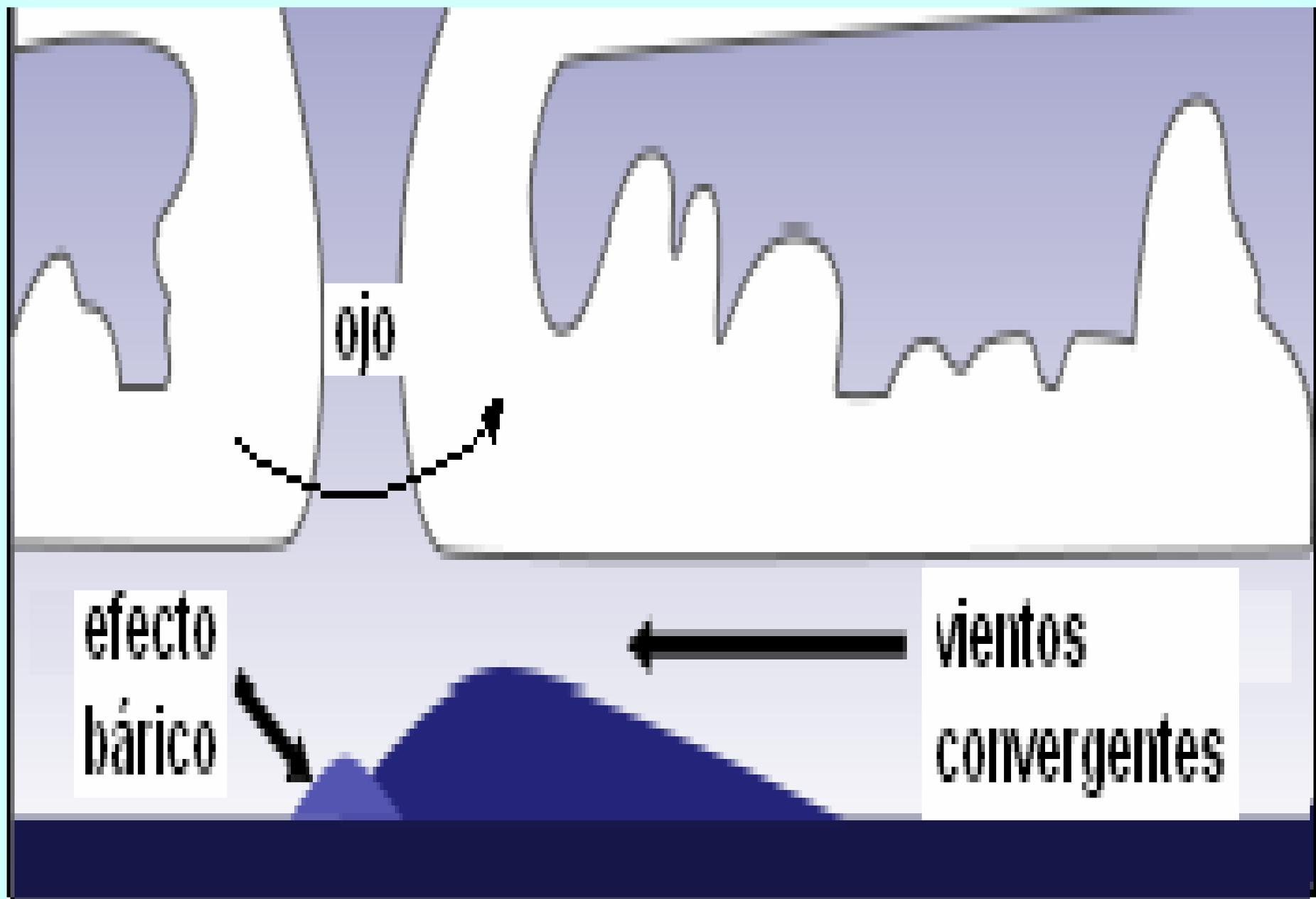
La velocidad de traslación disminuye por fricción; la longitud de onda disminuye, por lo que la tendencia de conservación de la energía interna hace

que la altura aumente. **Es favorecido por la**

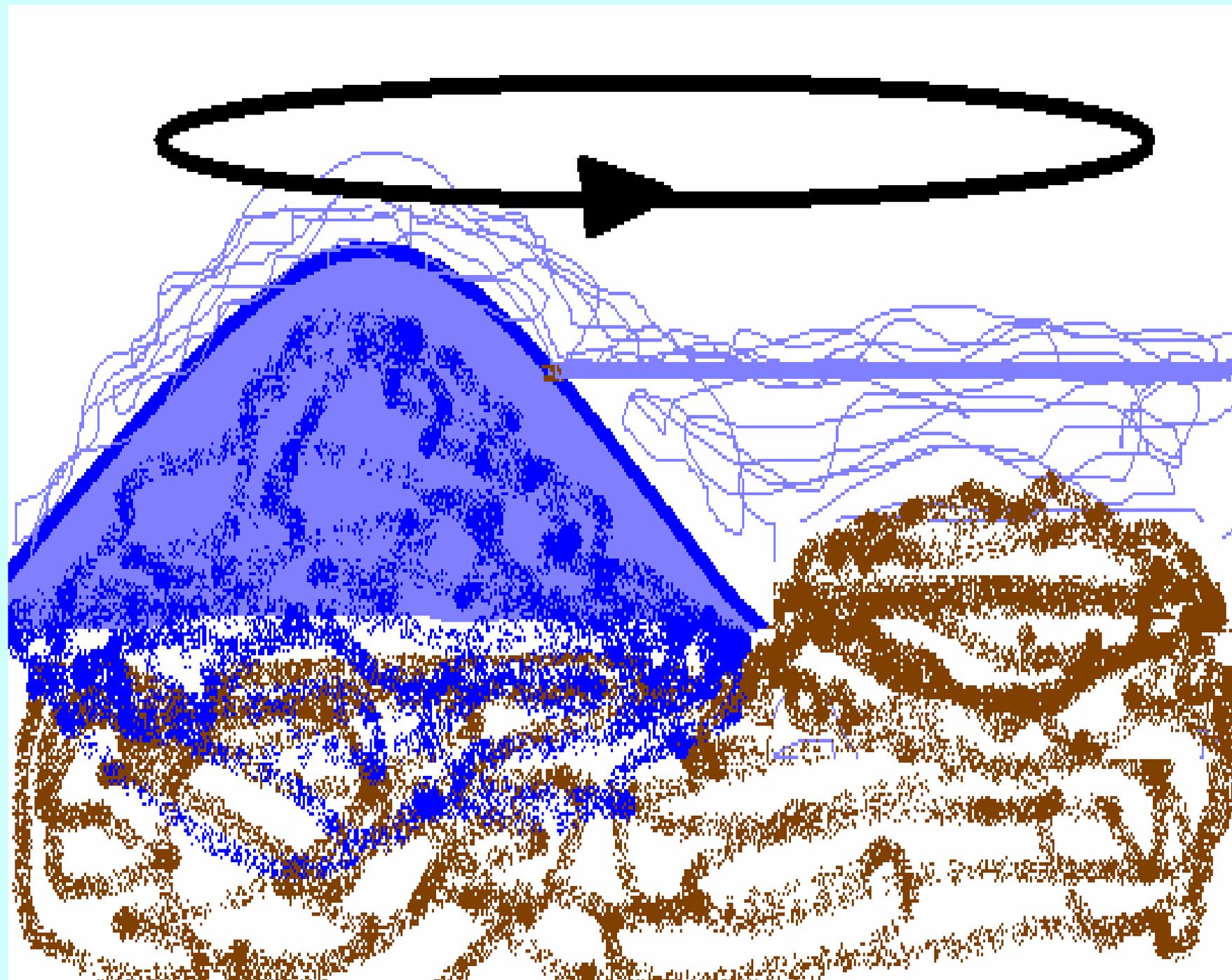
**plataforma ancha, con
pendientes suaves.**







- En la zona costera, se puede apreciar una “surgencia positiva” a la derecha del CT (sobreelevación) y “negativa” a la izquierda, es decir, un retiro del mar. Esto se debe a la diferencia en la dirección de los vientos.



Ejemplo de sobreelevaciones muy significativas:

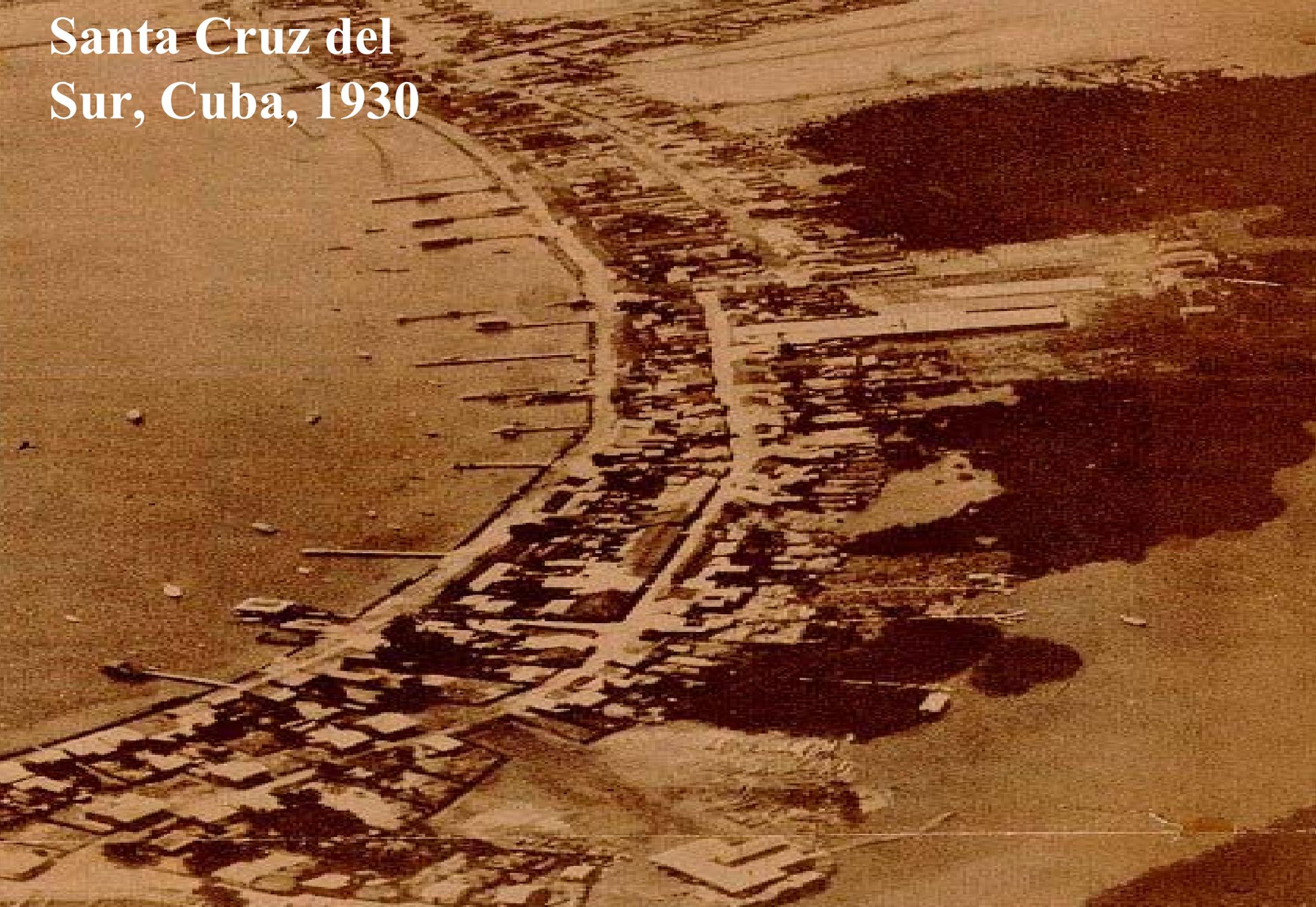
- 7/octubre/1737 y 1/noviembre/1876 - Golfo de Bengala, con más de 12 m (IMD, 2004)**
- 17/agosto/1969- Corpus Cristi, Mississippi, producida por el huracán "Camille", con 8 m (Morton, 2004).**
- 25/31 agosto/2005-Sur de la Florida, Mississippi y Alabama, producida por el huracán "Katrina", con un estimado de más de 8 m de altura (Graumann et al 2006).**
- 9/noviembre/1932- Santa Cruz del Sur, Cuba, con más de 6 m (Ortiz y García 1989)**
- El Golfo de Batabanó, Cuba, del 17 al 18 de octubre de 1944, con más de 6 m. (Salas et al.2004)**

En resumen, en la intensidad de la inundación costera influyen los siguientes factores:

- **La velocidad del viento convergente.**
- **La velocidad de desplazamiento de la tormenta.**
- **El gradiente bórico.**
- **El ángulo de entrada del evento con respecto a la línea costera.**
- **La batimetría del acuífero.**
- **La configuración costera.**

(CEM, 2001)

**Santa Cruz del
Sur, Cuba, 1930**



- Santa Cruz del Sur,
Cuba,
- 9/noviembre de 1932



Playa "El Cajío" después del paso de Charley en el 2004

Fuente: INSMET/IPF

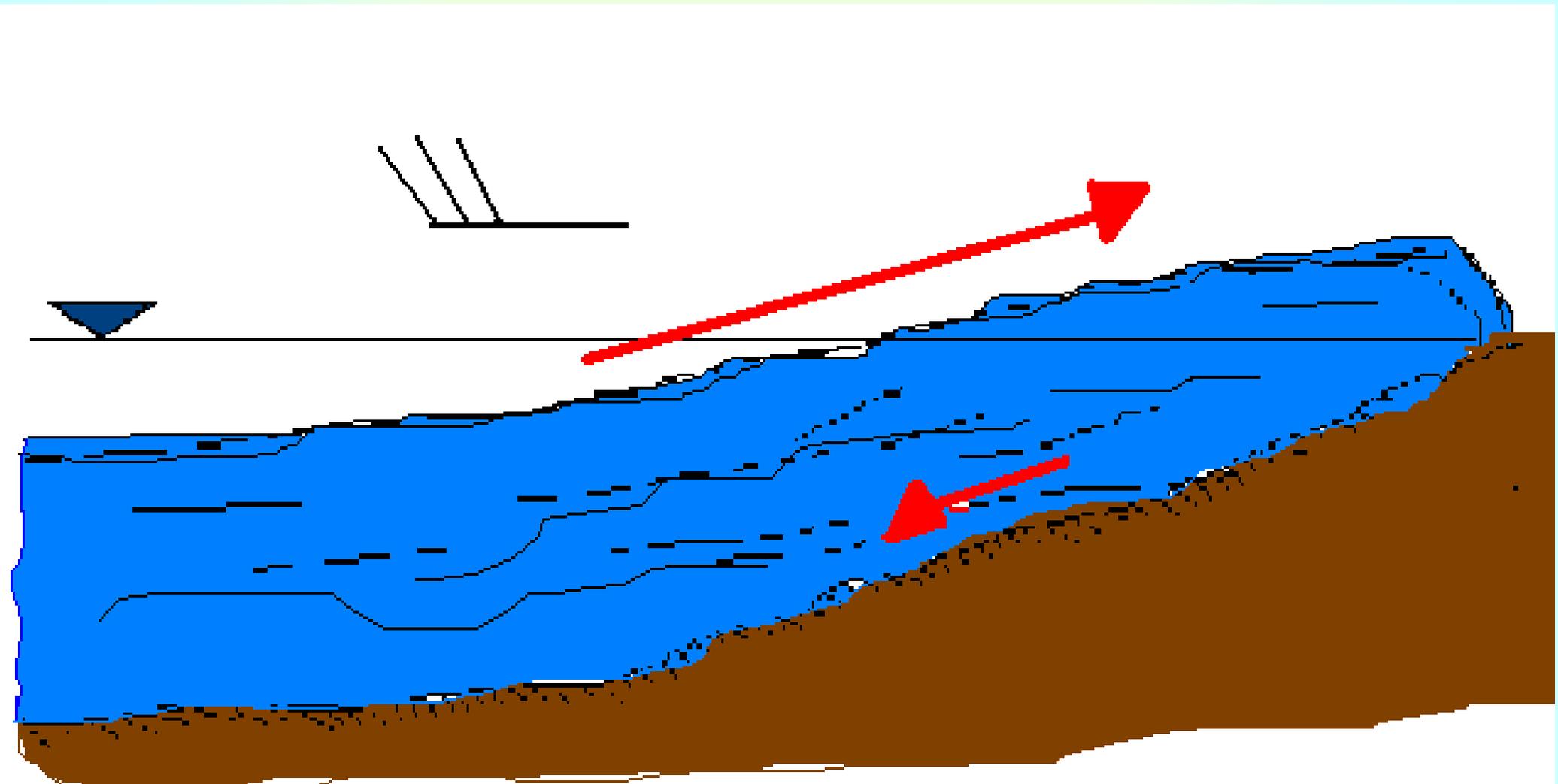


**Marca de agua en
un consultorio de
familia en
Batabanó, después
que pasó Charley
(13/08/2004).**

**(Cortesía del Dr. Pérez
Parrado, INSMET)**



Sobreelevación por arrastre del viento (wind set up).



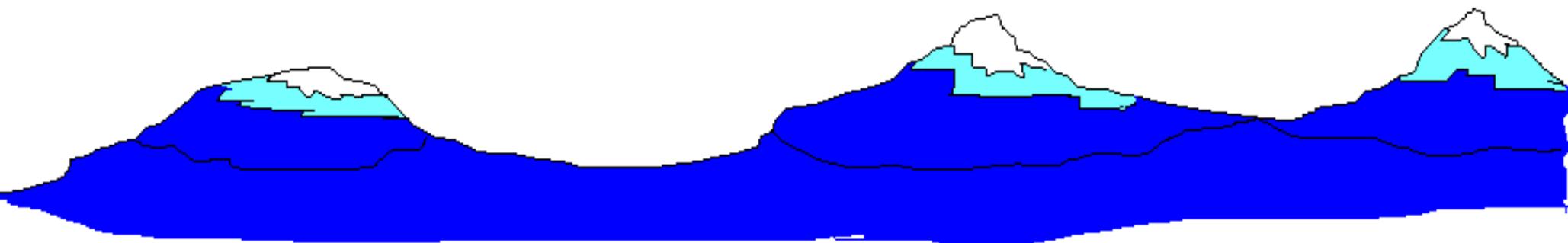
•La sobreelevación por arrastre del viento (wind set up) es favorecida por las costas de pendiente muy suave acompañadas por una amplia plataforma de fondo casi plano. La acumulación de agua se produce cuando la velocidad del movimiento generado por el viento en superficie es tal, que se rompe el equilibrio habitual de desagüe por la corriente del fondo. El avance de la masa de agua se prolonga tierra adentro y solo comienza a amortiguarse cuando disminuye la velocidad del viento. Puede aparecer con velocidades del viento relativamente bajas.

El oleaje es la deformación ondulada que aparece sobre la superficie marina bajo la acción de la tensión del viento y, como fuerza recuperadora, la de gravedad. Se clasifica como:

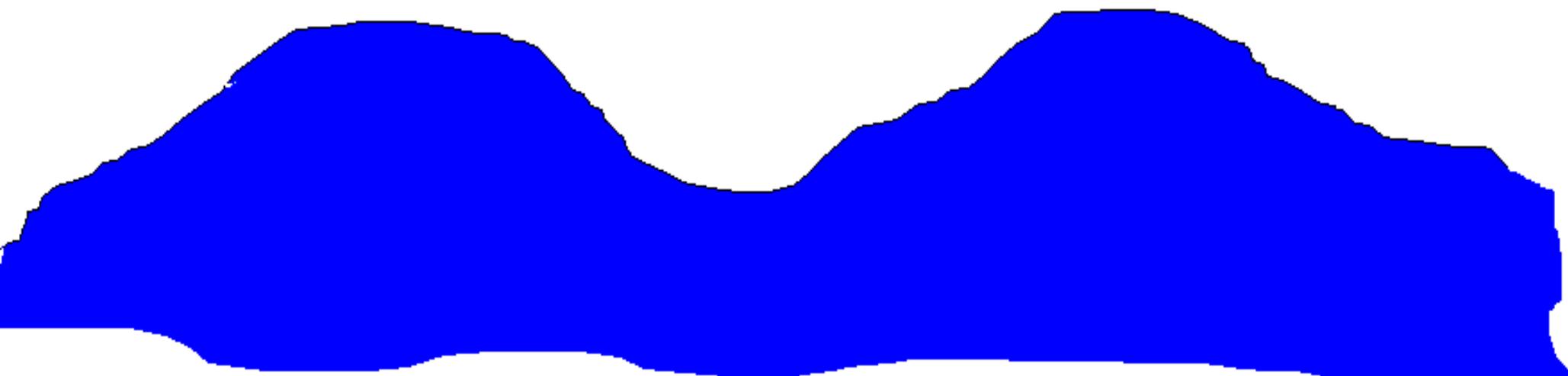
Mar de viento – Es el oleaje producido por el campo de viento actuante (Sea waves).

Mar de leva o de fondo– Es el oleaje que se trasladó desde otra área de generación o que fue generado por un campo de viento que ya se amortiguó (Swell wave).

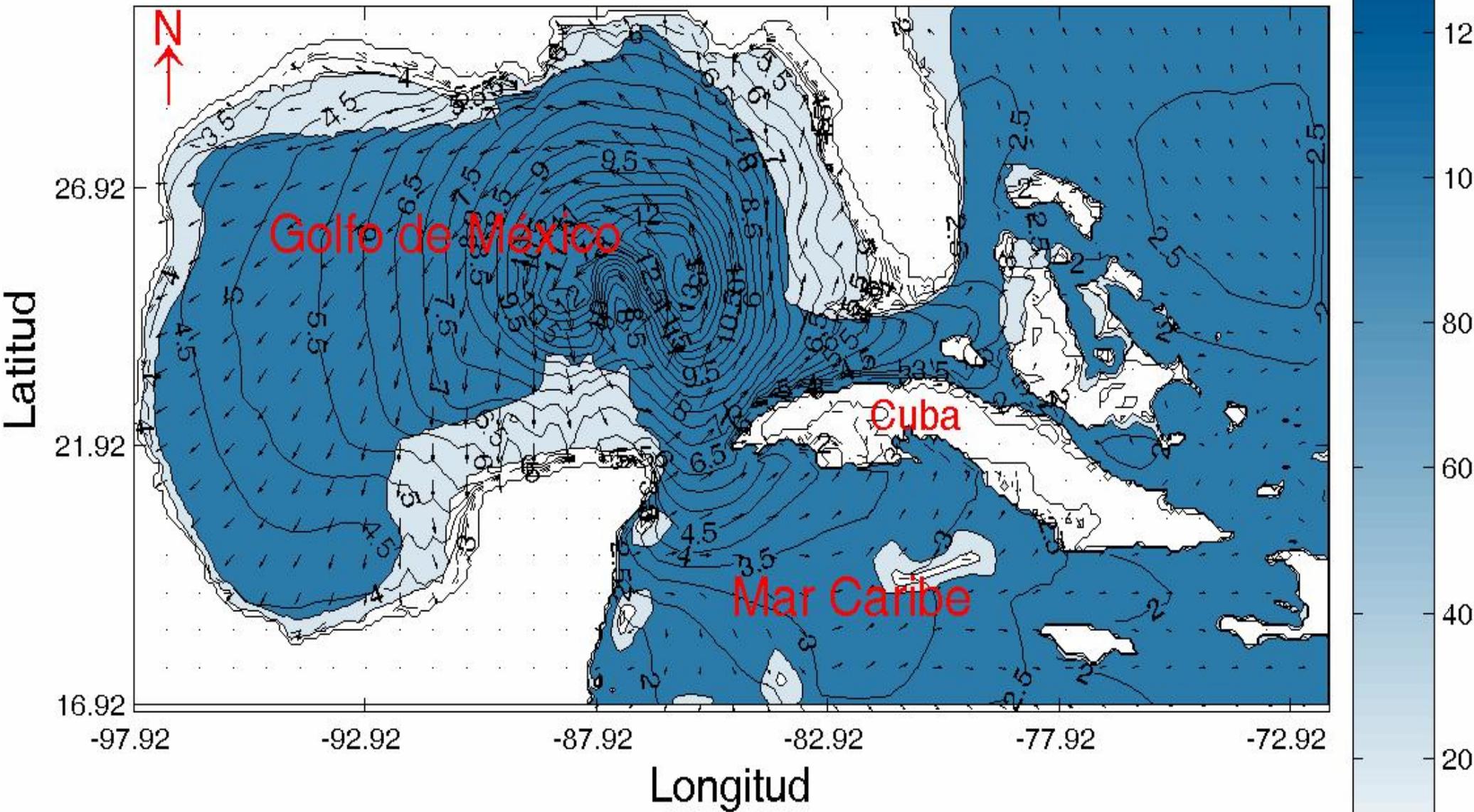
•Mar de viento



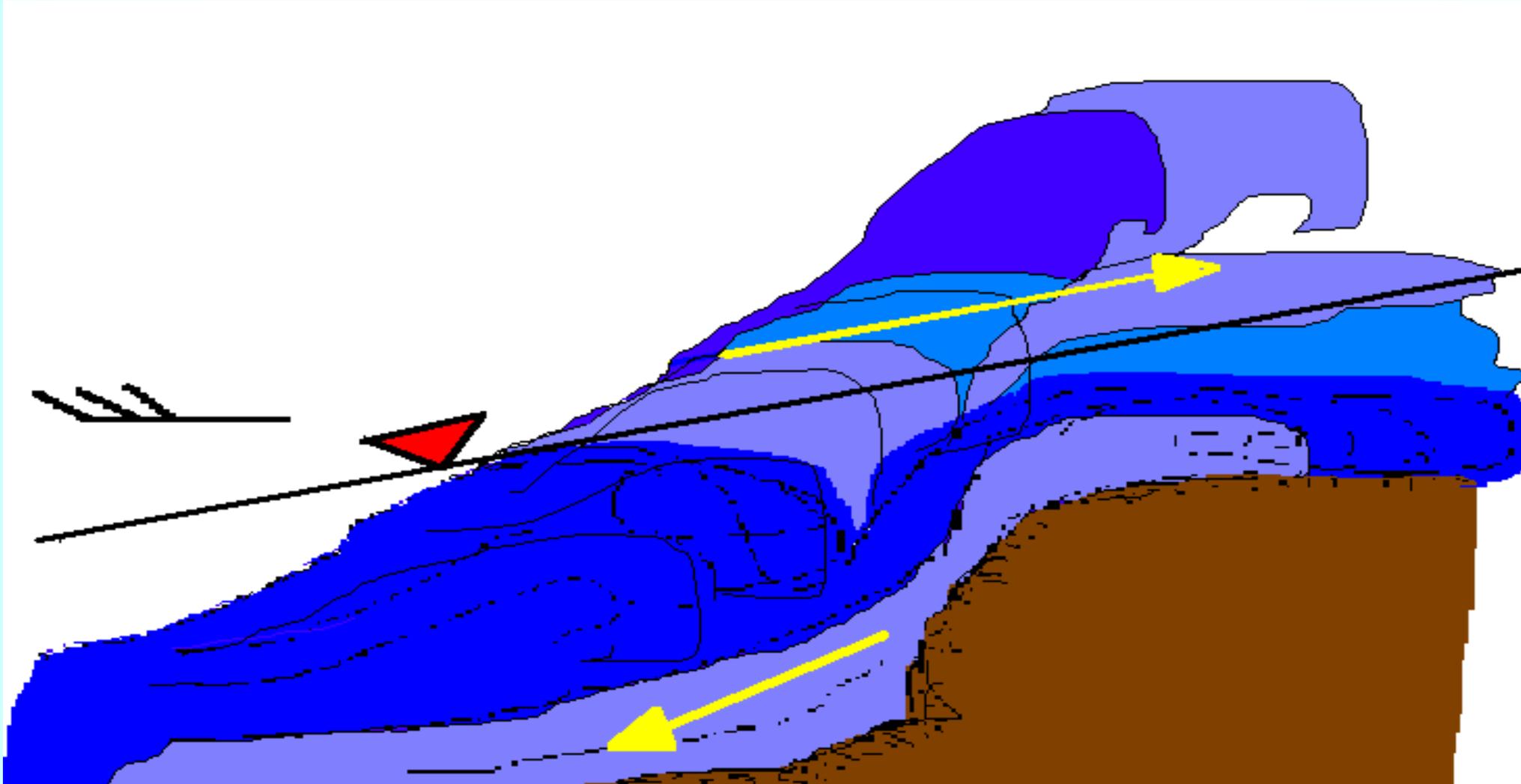
•Mar de leva



Altura de ola Huracán Wilma Fecha:20051023 Hora GMT:06



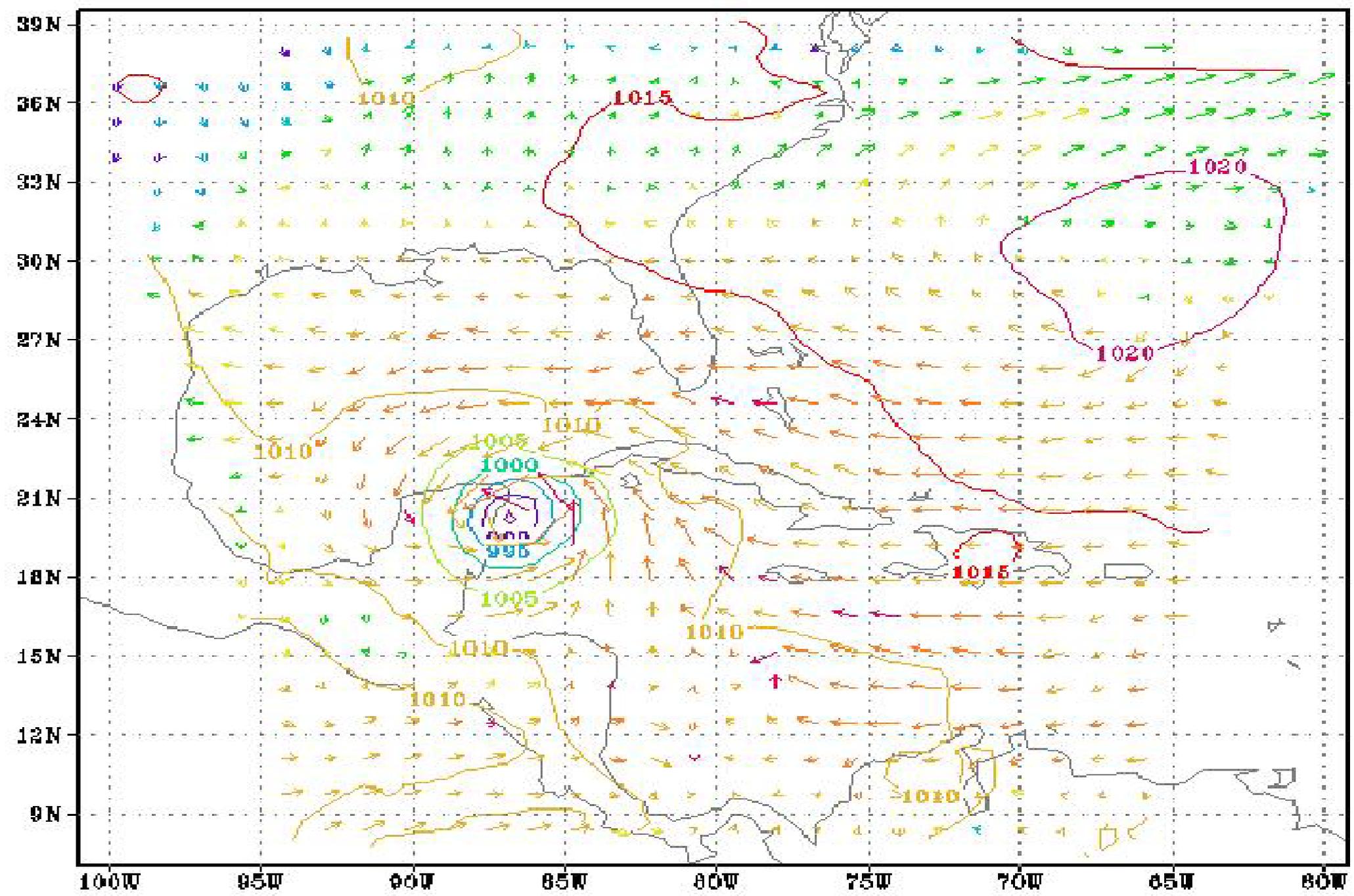
Sobreelevación por rompiente de oleaje (wave set up):

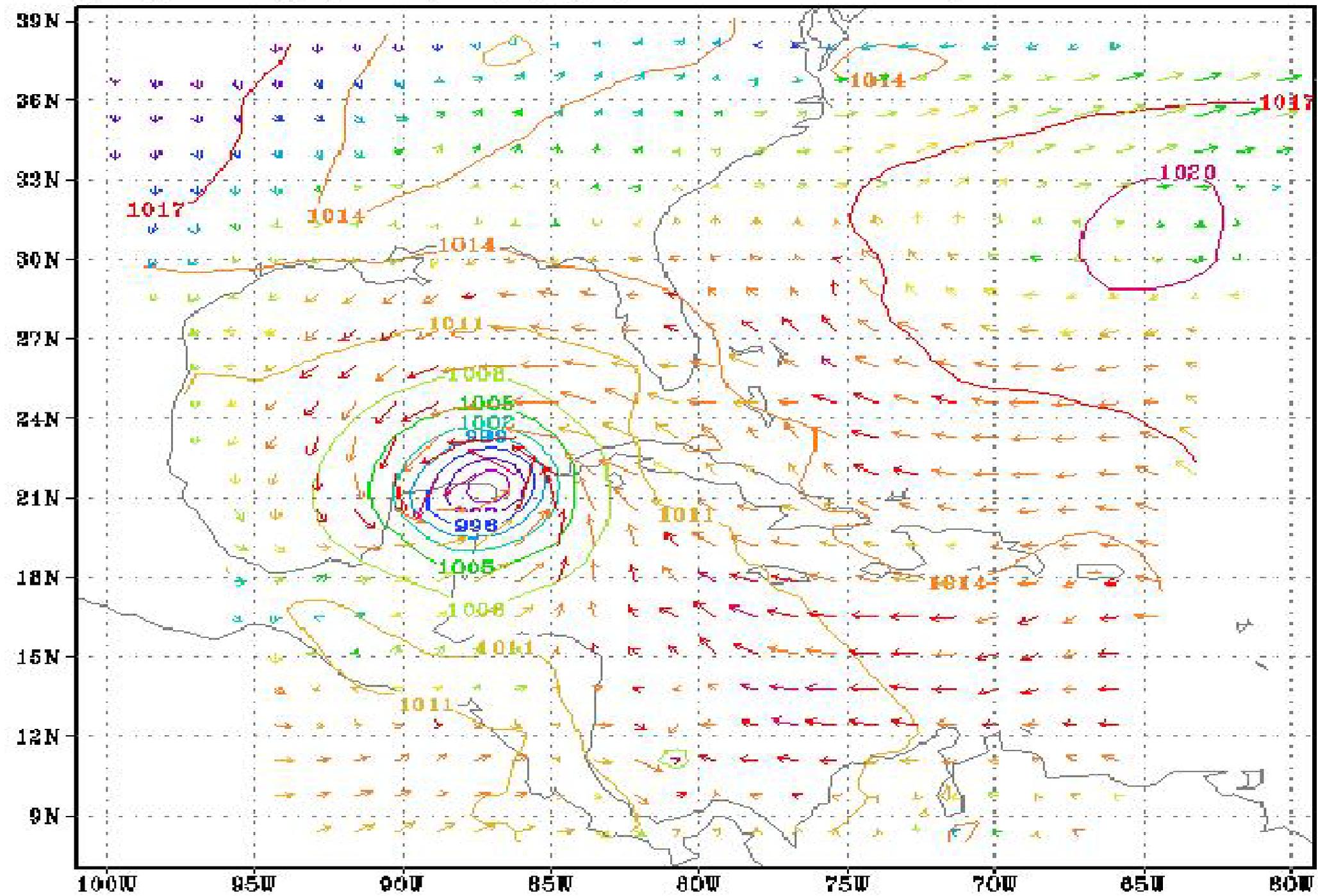


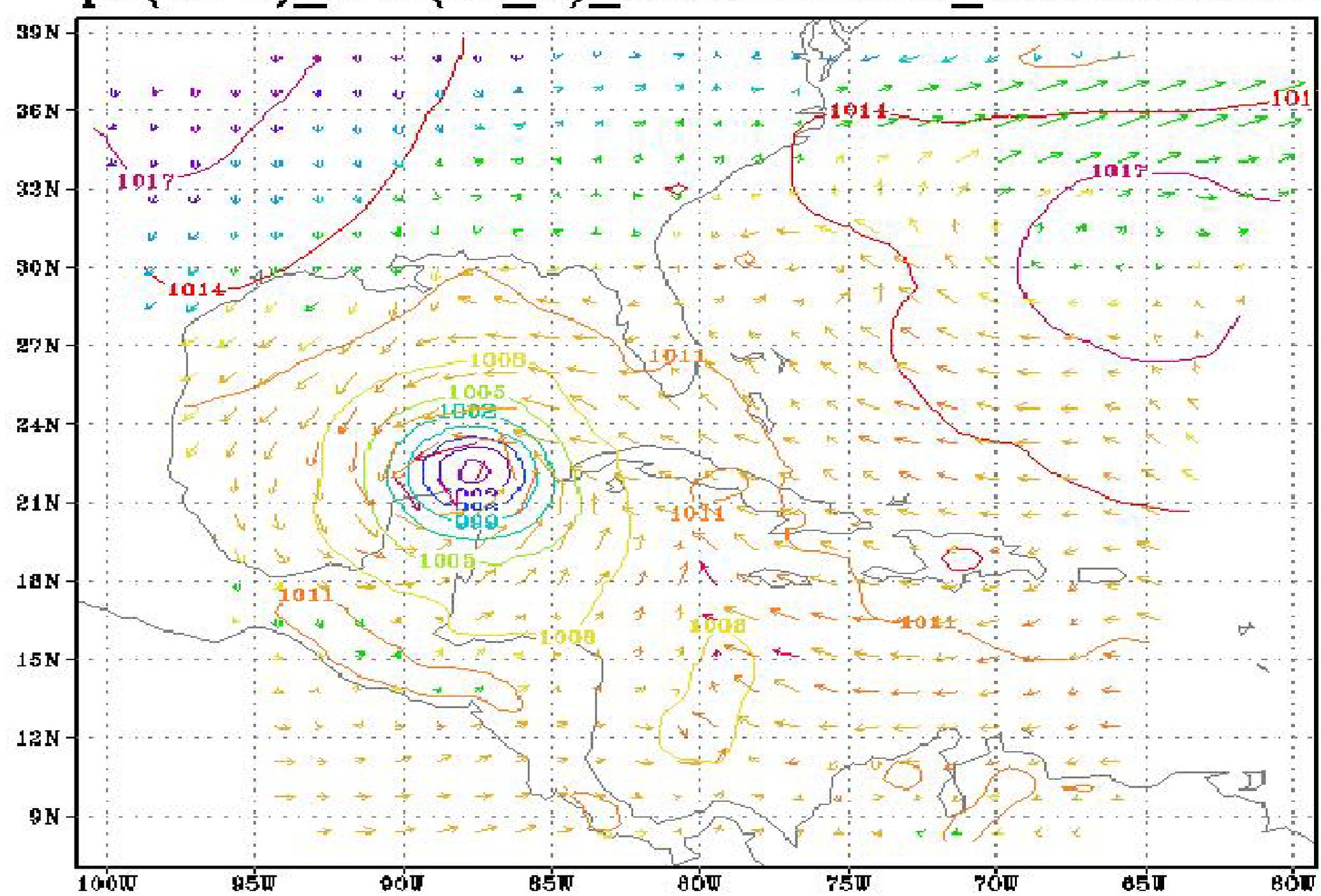
•La acumulación de agua por rompiente de oleaje (wave setup) es favorecida por las costas acantiladas, de pendientes abruptas. Después de amplificarse por efecto de fondo (shoaling), las olas rompen en la franja costera y se vuelcan en la orilla. El retorno se produce por el efecto de cascada de la corriente de fondo, pero a veces este equilibrio desaparece porque la corriente superficial es mucho más rápida, debido a que el oleaje fue generado por vientos de tormenta.

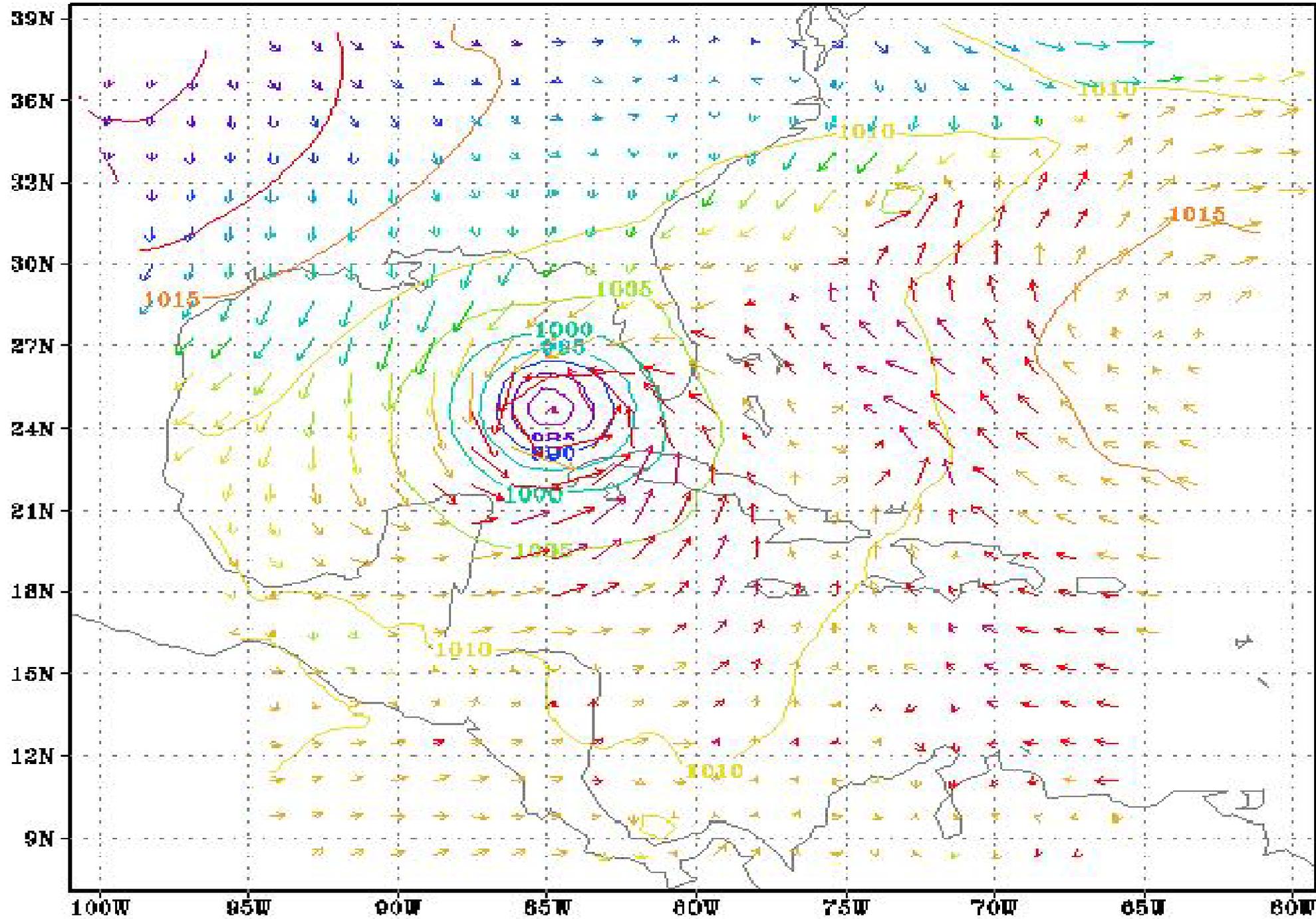
•A veces existen obstáculos que impiden un escape efectivo. Con mucha frecuencia, estos son obra de la mano del hombre.

•La inundación cesa cuando el oleaje se amortigua

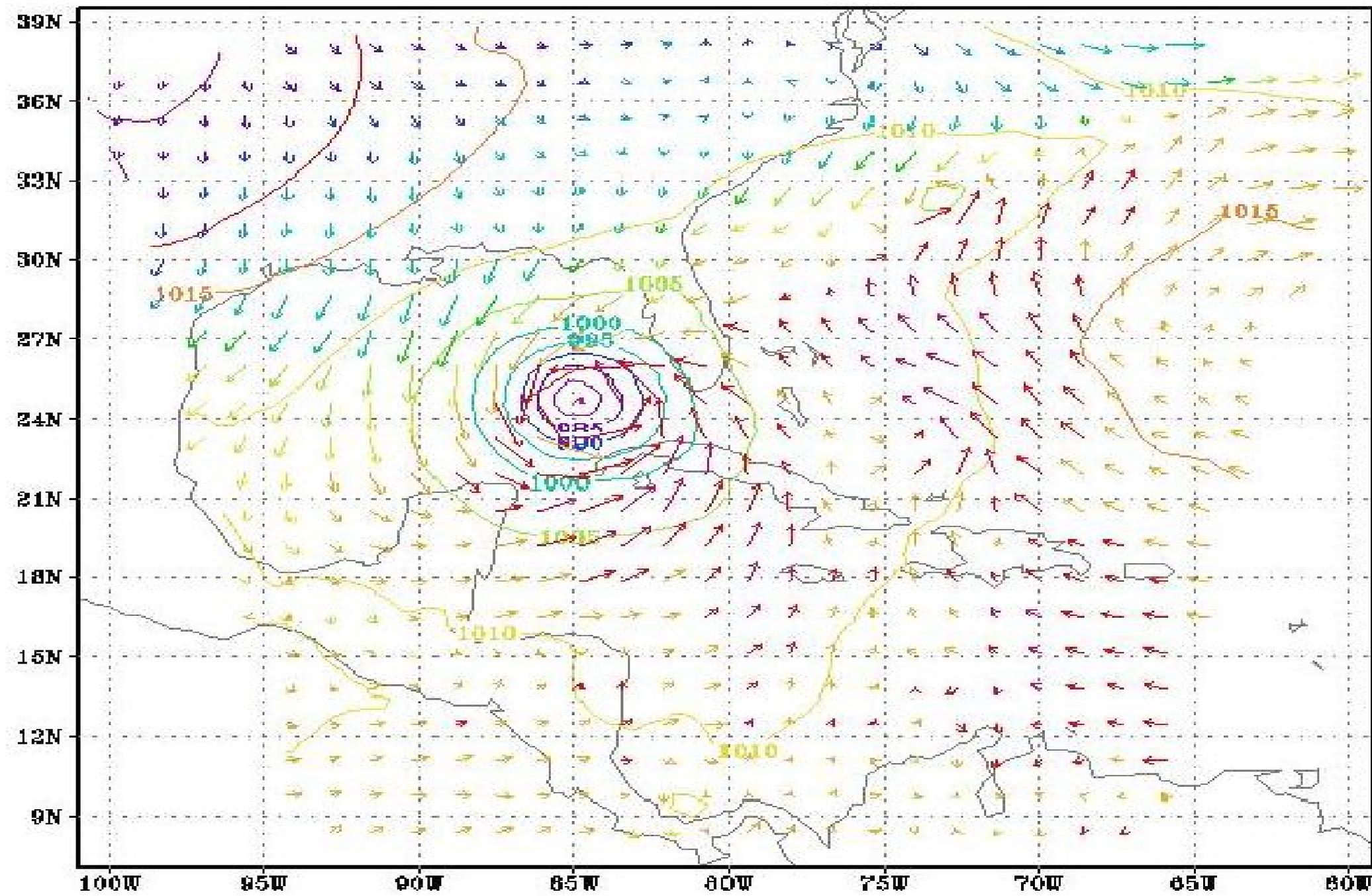


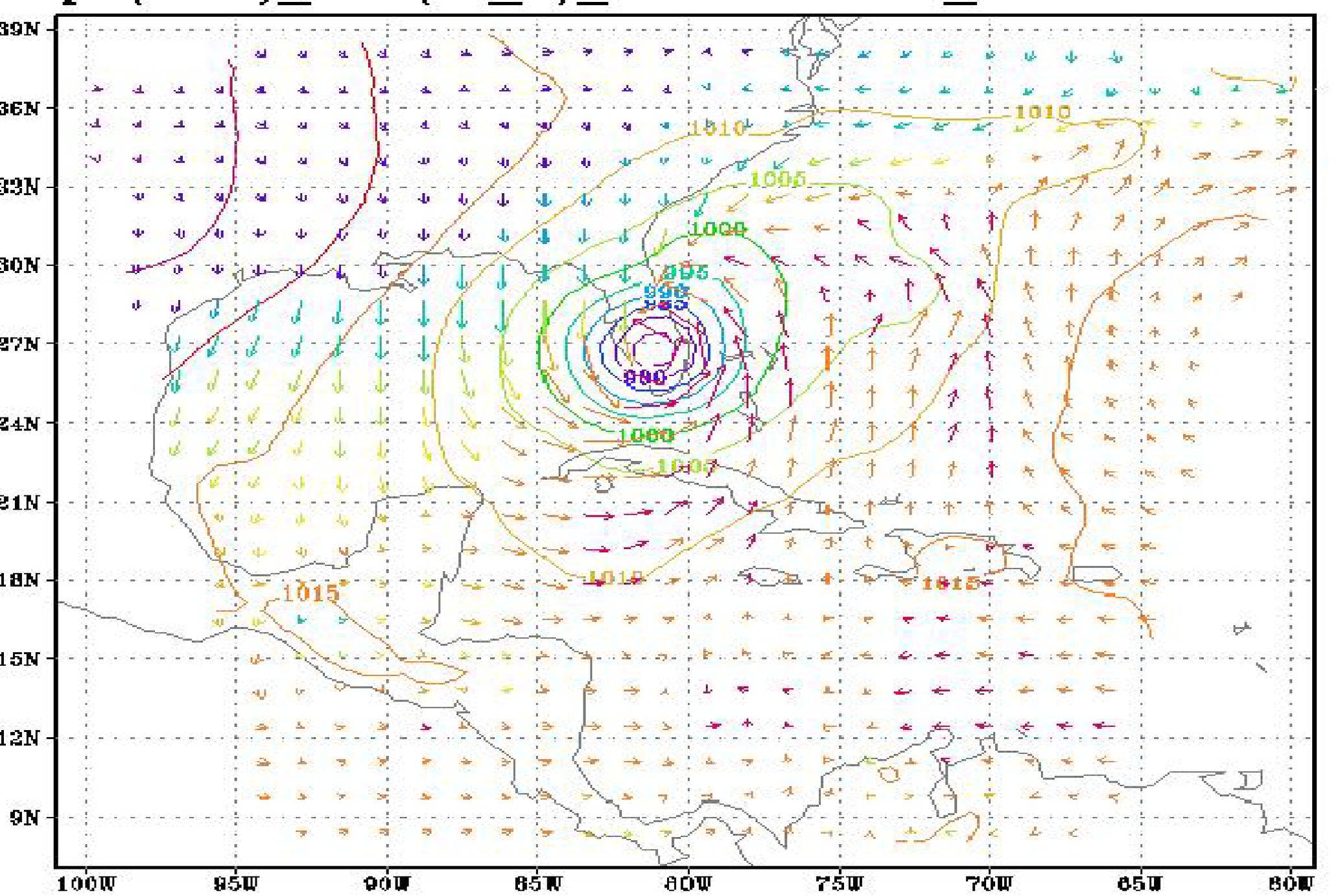




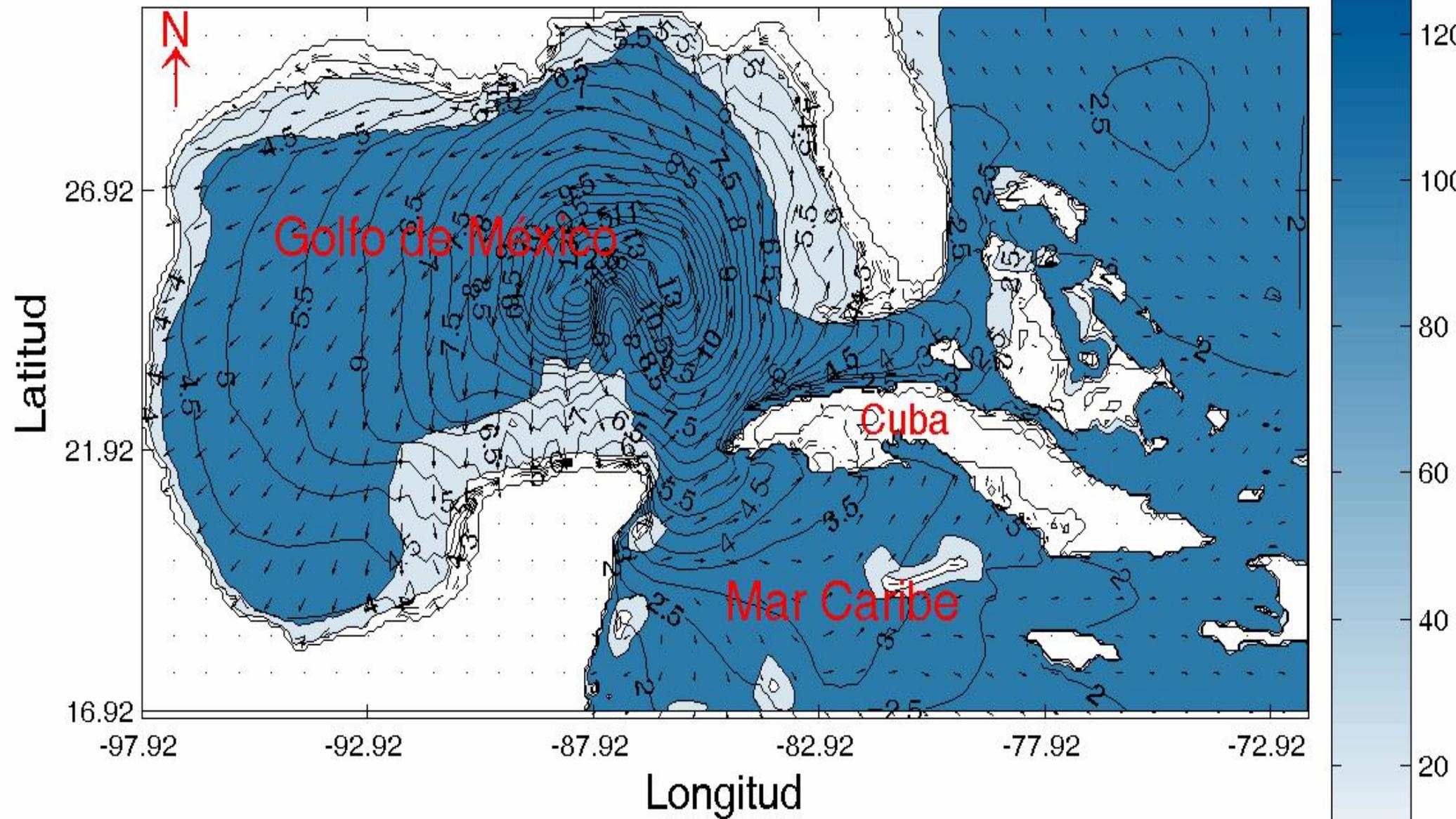


Wilam Presion y Viento 24 10 2005 00z

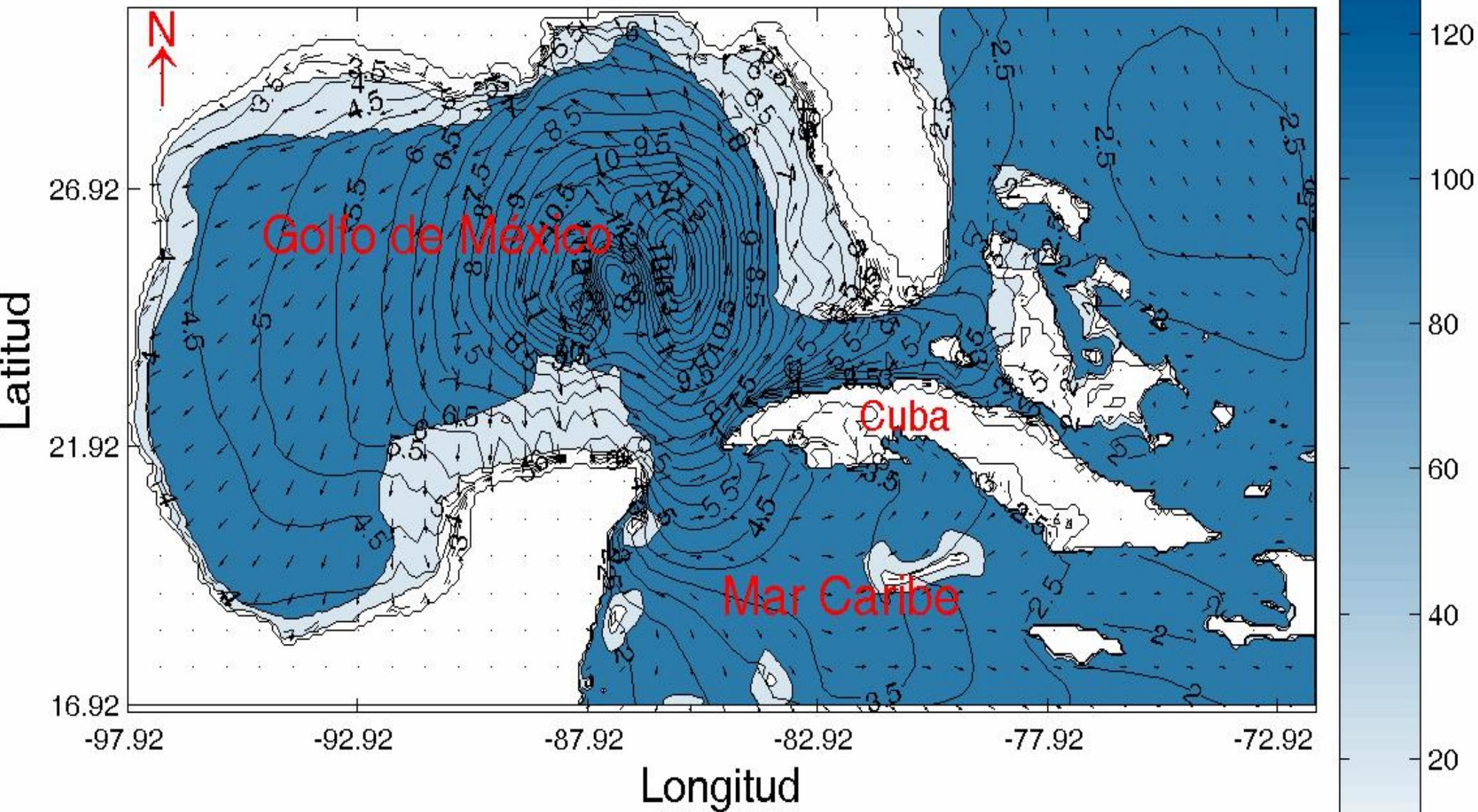




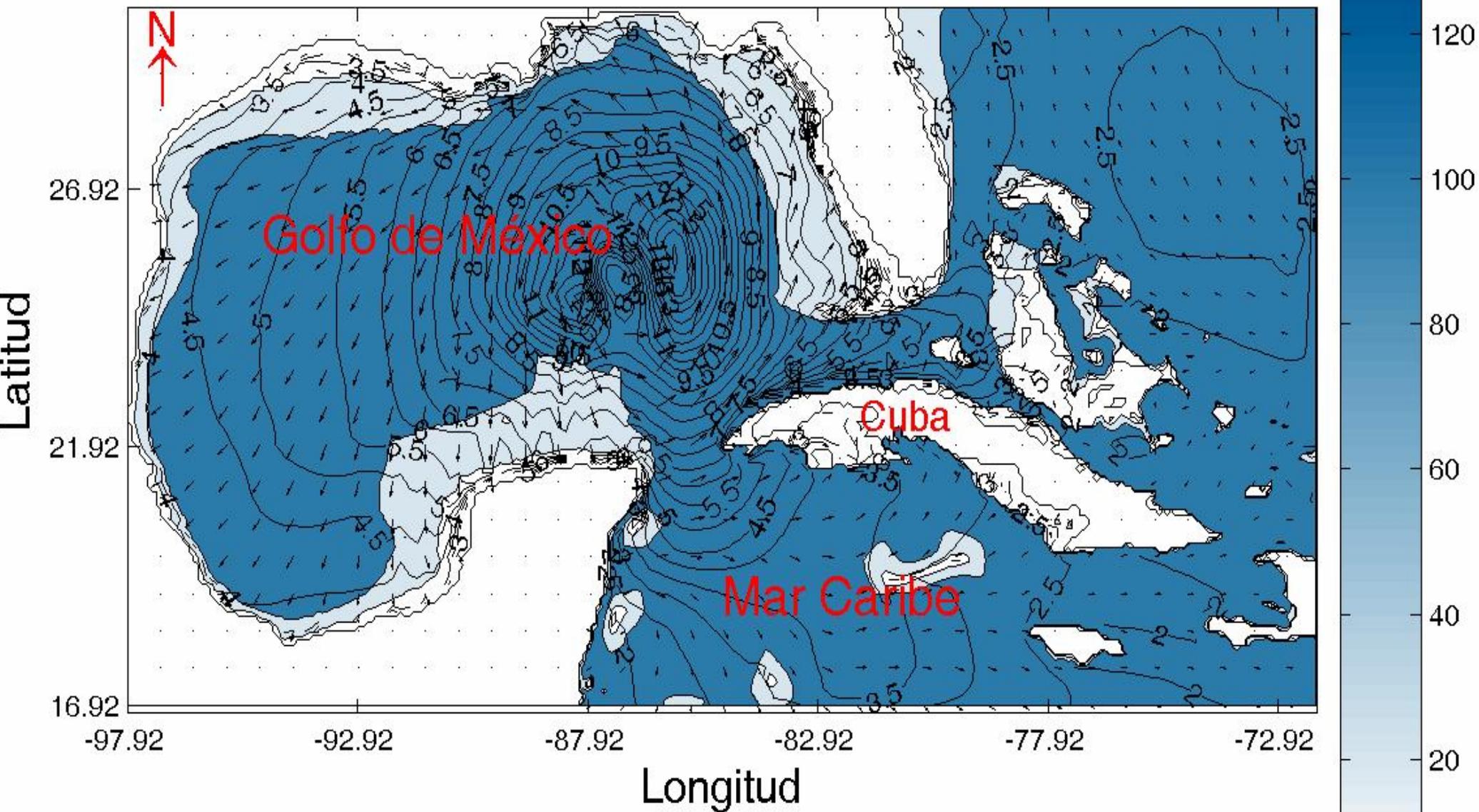
Altura de ola Huracán Wilma Fecha:20051023 Hora GMT:03



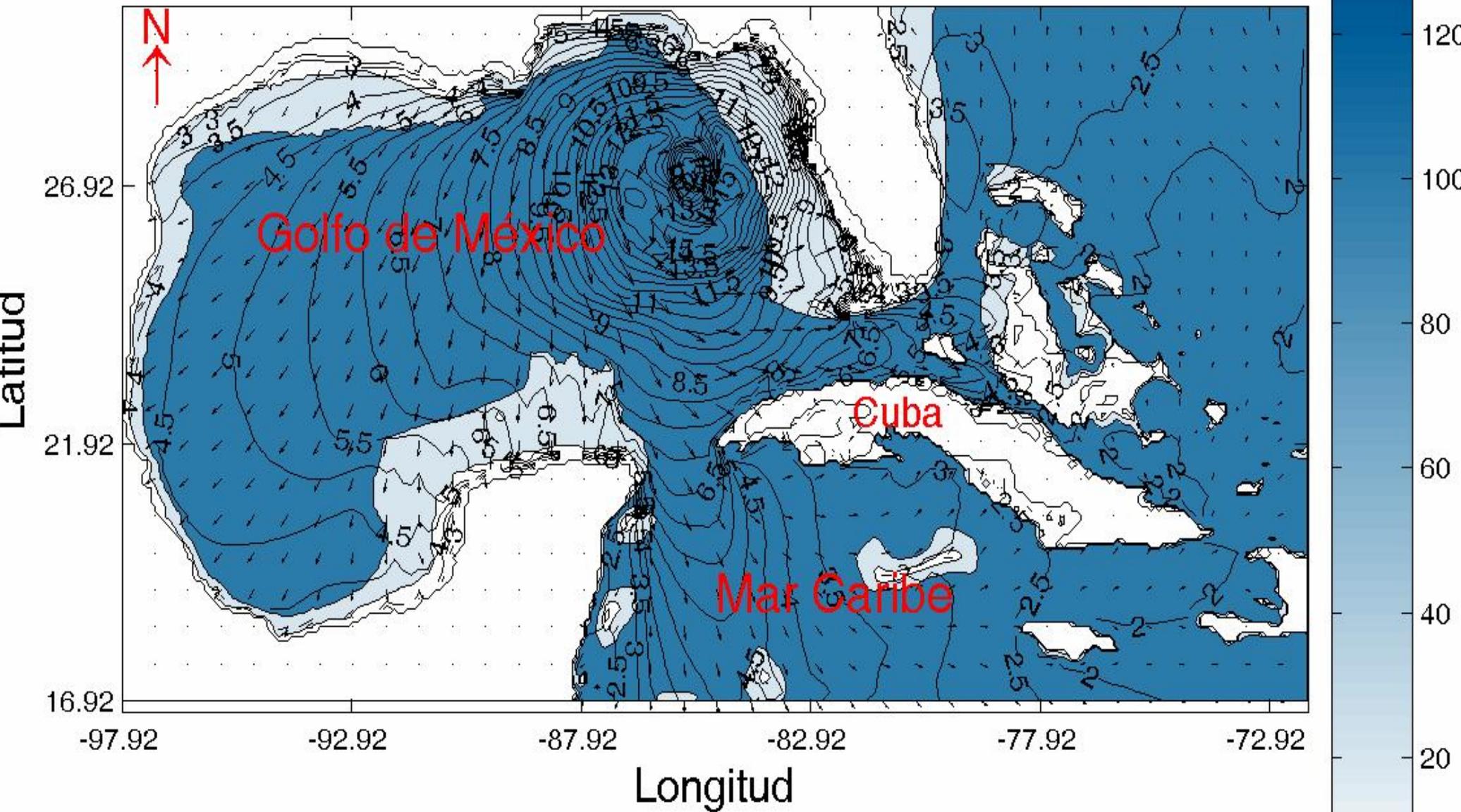
Altura de ola Huracán Wilma Fecha: 20051023 Hora GMT: 09



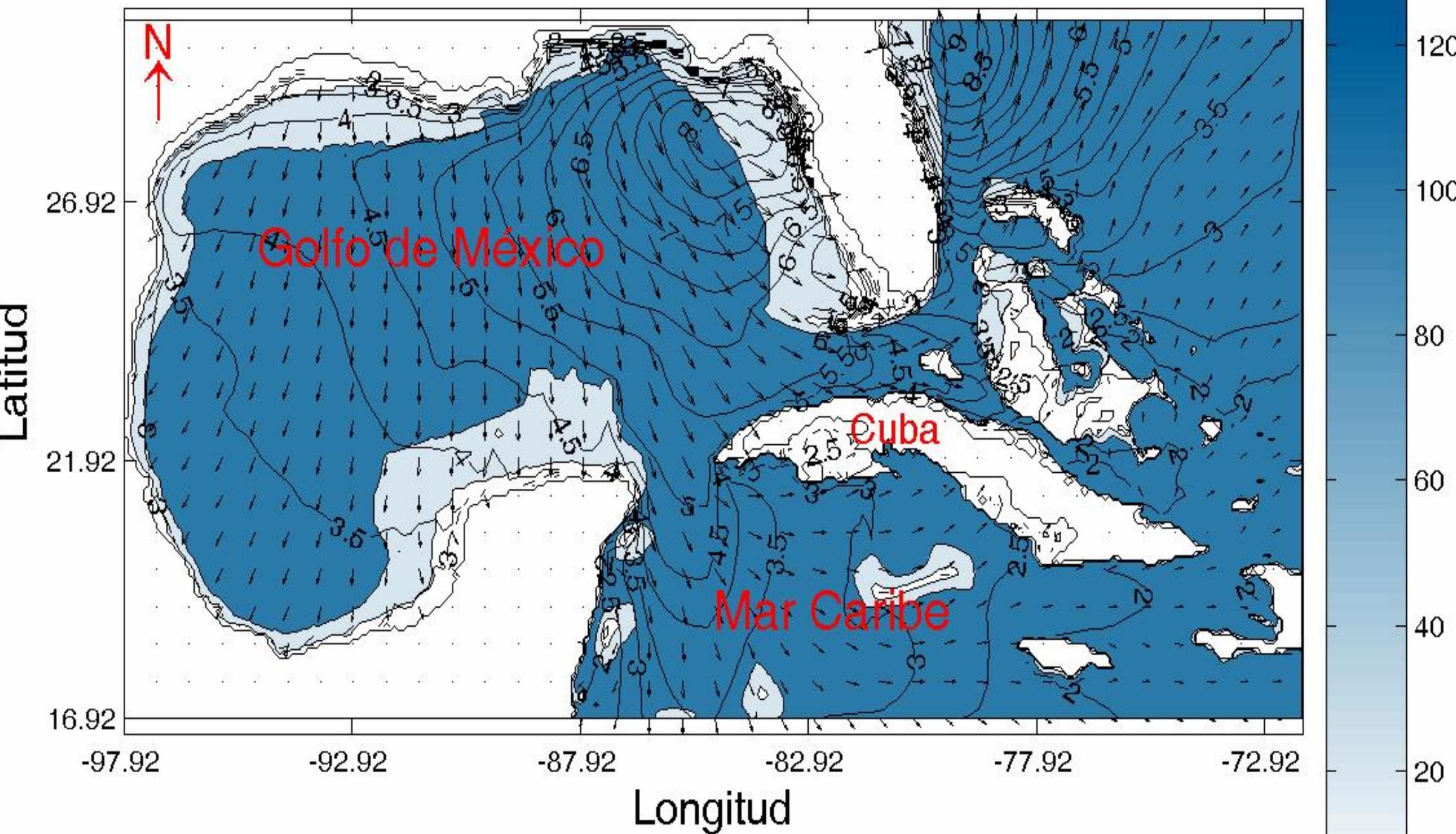
Altura de ola Huracán Wilma Fecha: 20051023 Hora GMT: 09



Altura de ola Huracán Wilma Fecha:20051024 Hora GMT:00



Altura de ola Huracán Wilma Fecha:20051024 Hora GMT: 12



• Wilma, 24/10/2005 7 am



• Cortesía de especialistas del
INSMET

24 10 2005

Al efecto negativo de la inundación por penetración del mar en tierra, se adiciona el peligro de los objetos que son destruidos, arrastrados por la fuerza del agua o lanzados por la rompiente del oleaje, a veces hasta sobre los techos de las casas.

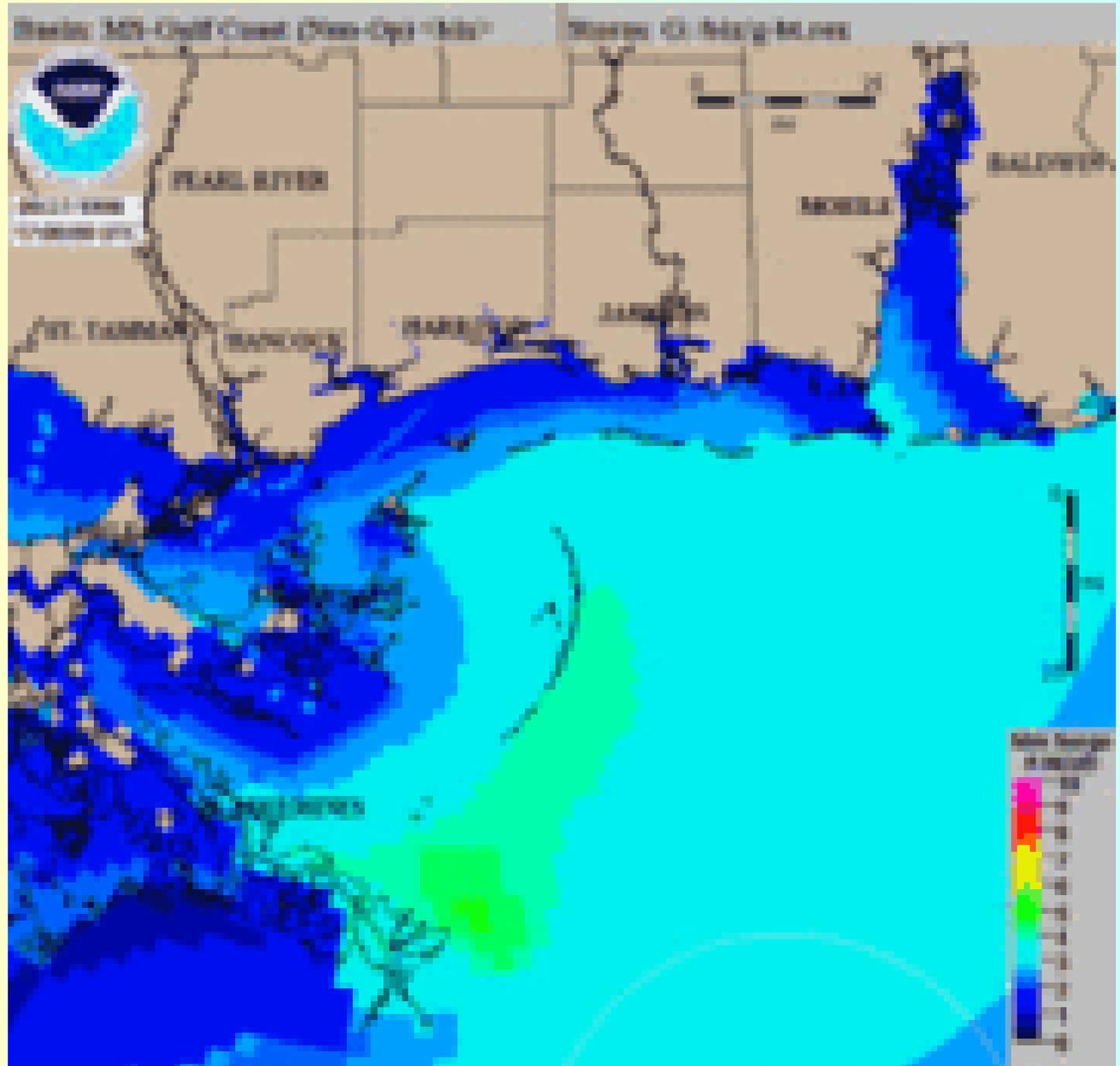
• **Playa Rosario después del paso
del Huracán Irene,**

• **en octubre de 1999**

(Fuente: INSMET/IPF)



**Corrida del
modelo
SLOSH, del
National
Hurricane
Center, al
paso del
Huracán
Katrina**

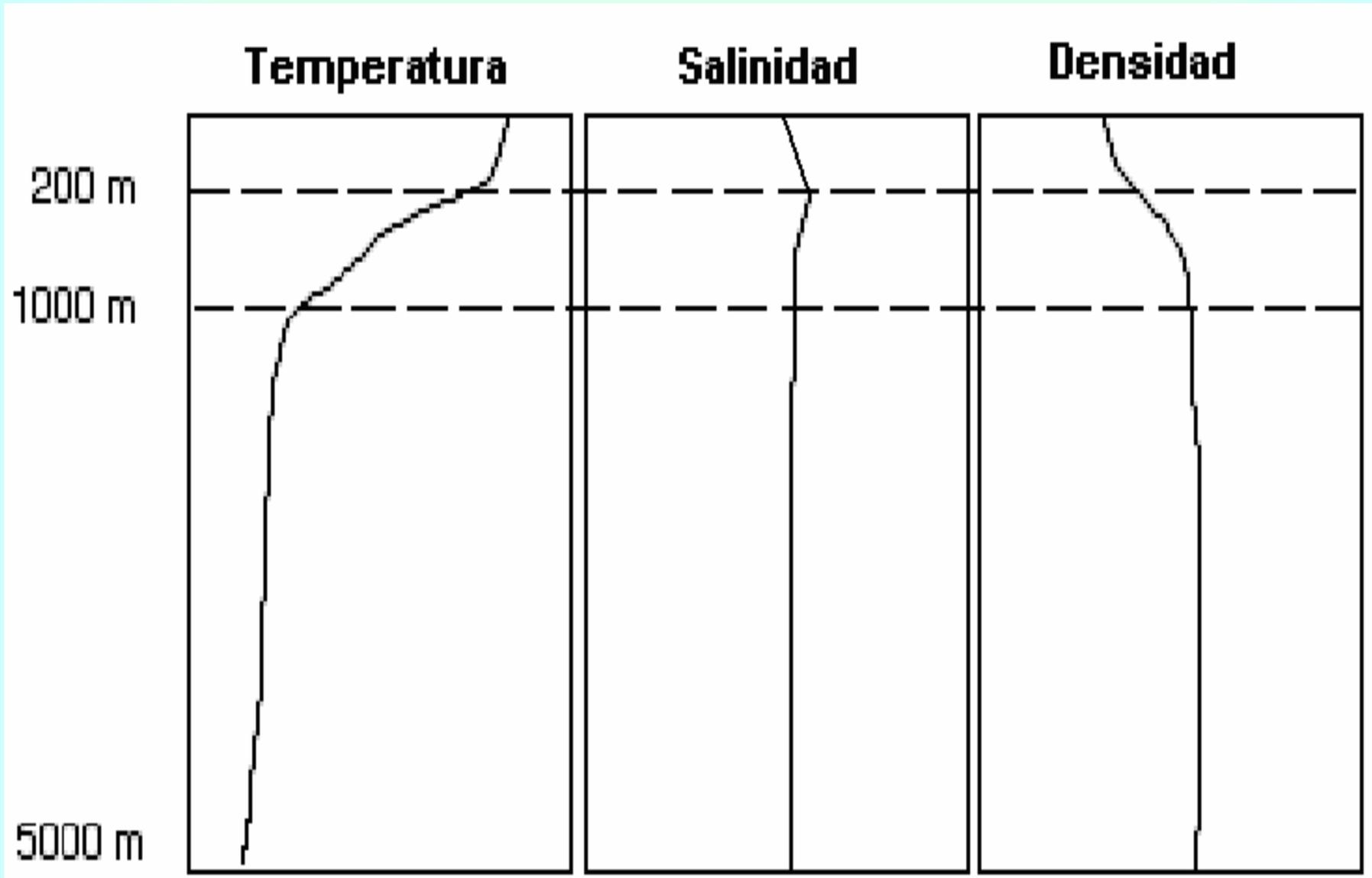


-El estado termodinámico de la superficie marina y de la capa mezclada, también sufren notables alteraciones.

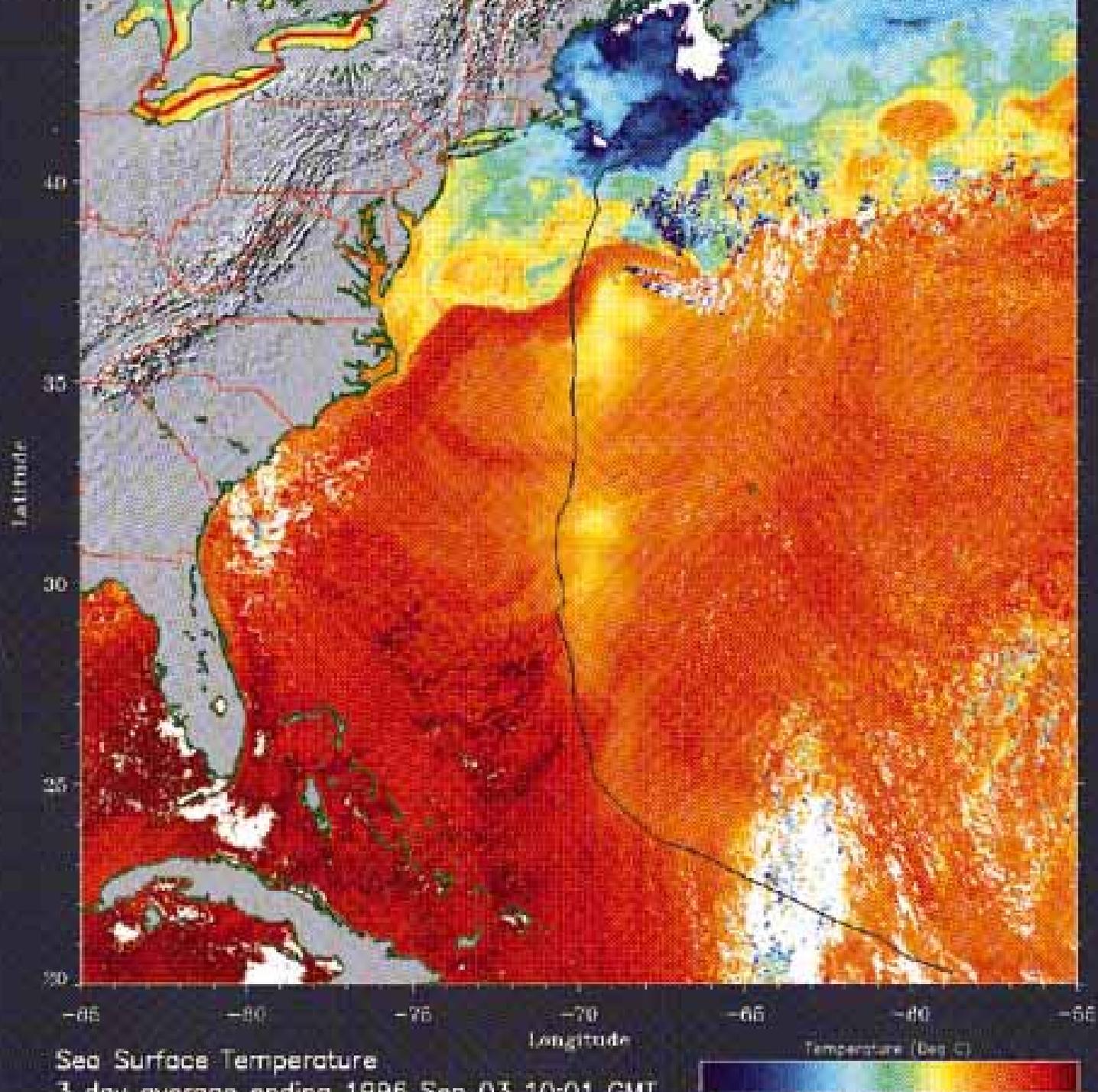
-Aparece la conocida HUELLA FRÍA- enfriamiento de la superficie al paso del CT, debido a la pérdida de calor sensible y latente bajo la acción de los fuertes vientos, el ascenso de las aguas profundas (efecto de up welling), la disminución de la salinidad por la presencia de las lluvias y la formación de un sistema de corrientes que redistribuyen las aguas superficiales.

-Cambia la ESTRUCTURA TERMOHALINA de las aguas superficiales y sub-superficiales.

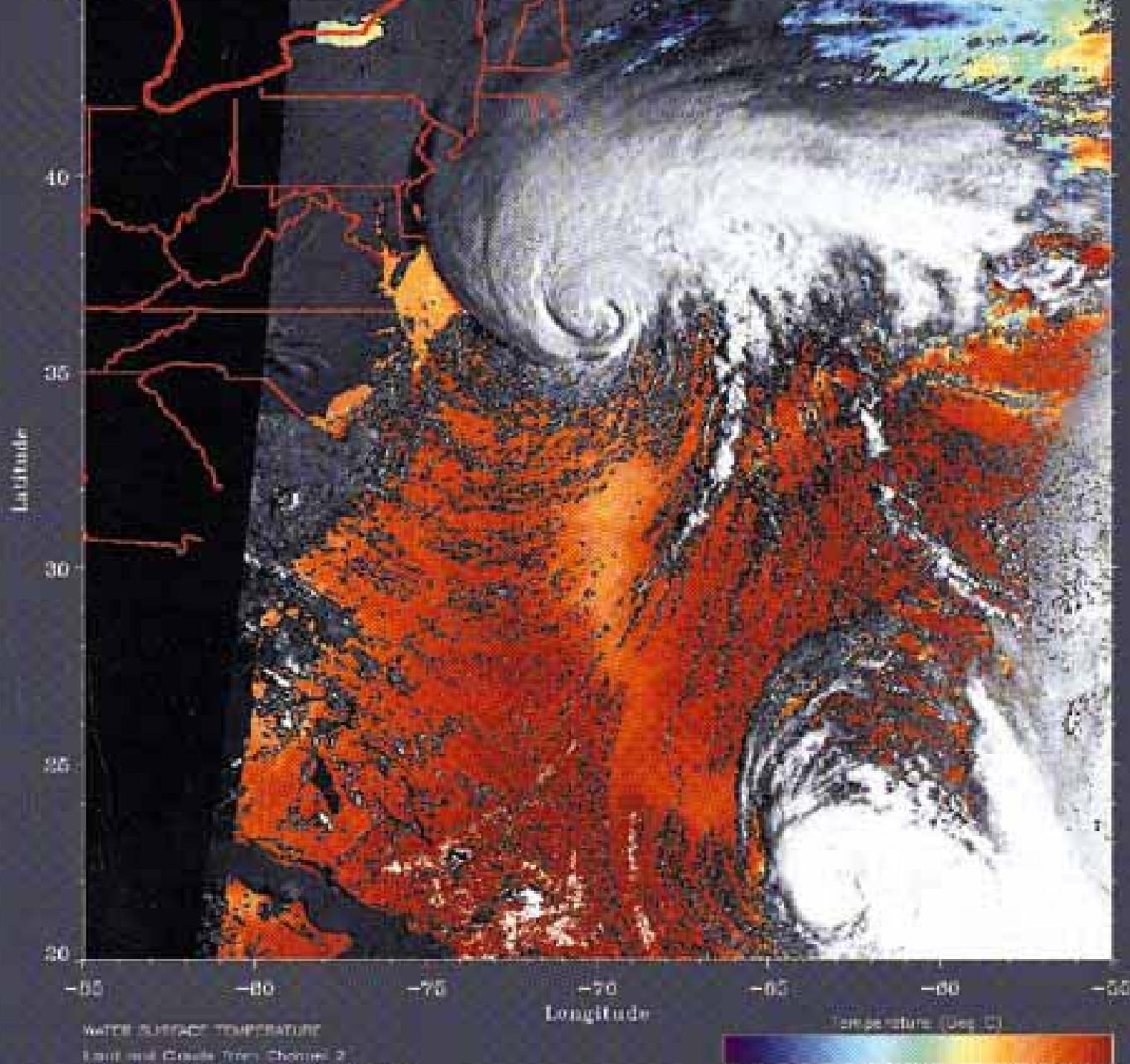
Estructura termohalina en aguas tropicales.



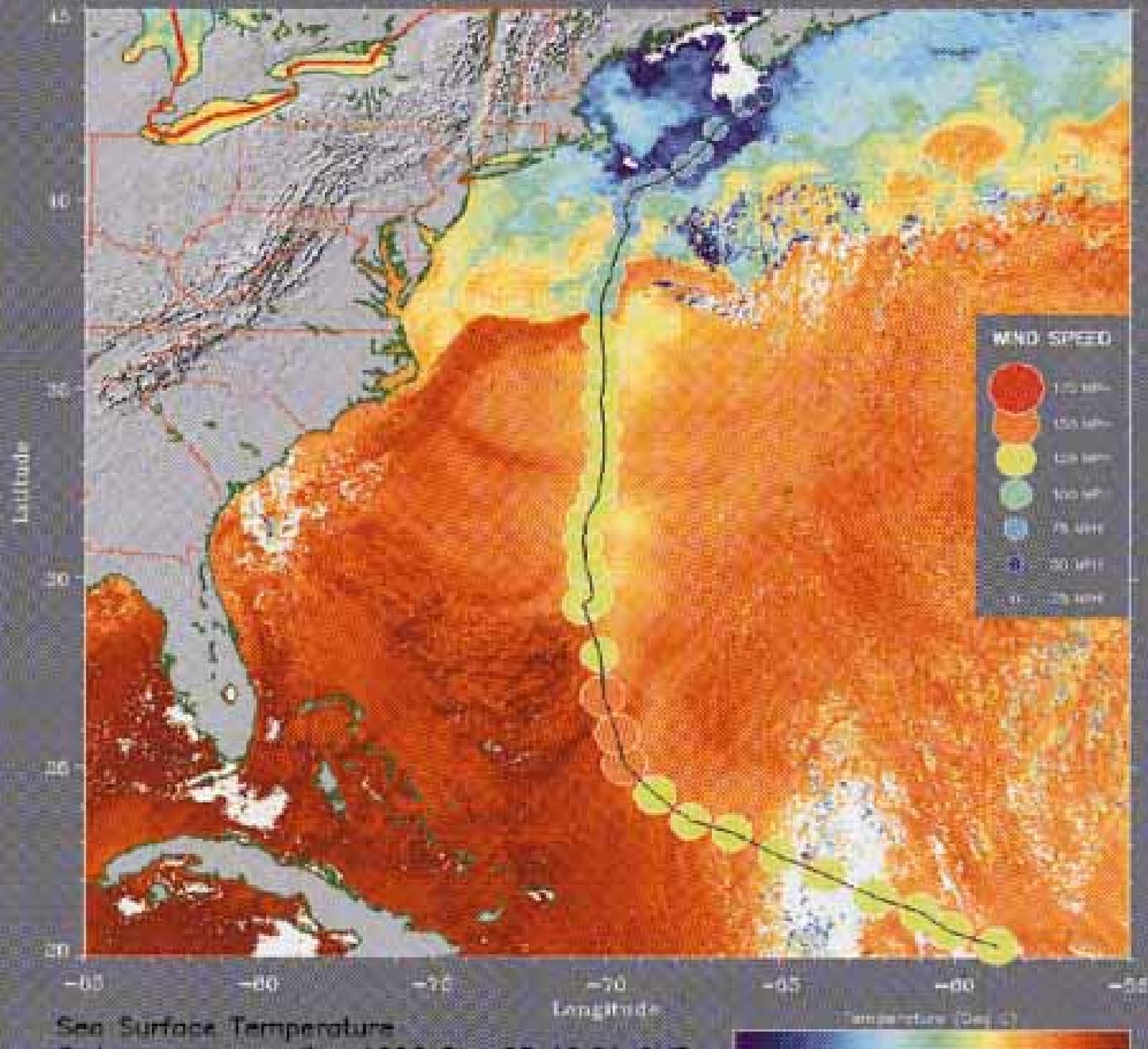
Huella Fría del
huracán
Edouard.
Composición
imágenes de
satélite
AVHRR
del 31 de
agosto al
3 de sep 1996
(Monaldo et al.
1997)



En este caso, al menos 4°C de diferencia con el entorno (Monaldo et al. 1997)



Trayectoria recorrida por Edouard y velocidad del viento.
(Monaldo et al 1997)



Es conocido que los ciclones tropicales se profundizan en aguas cálidas y se debilitan en las aguas frías.

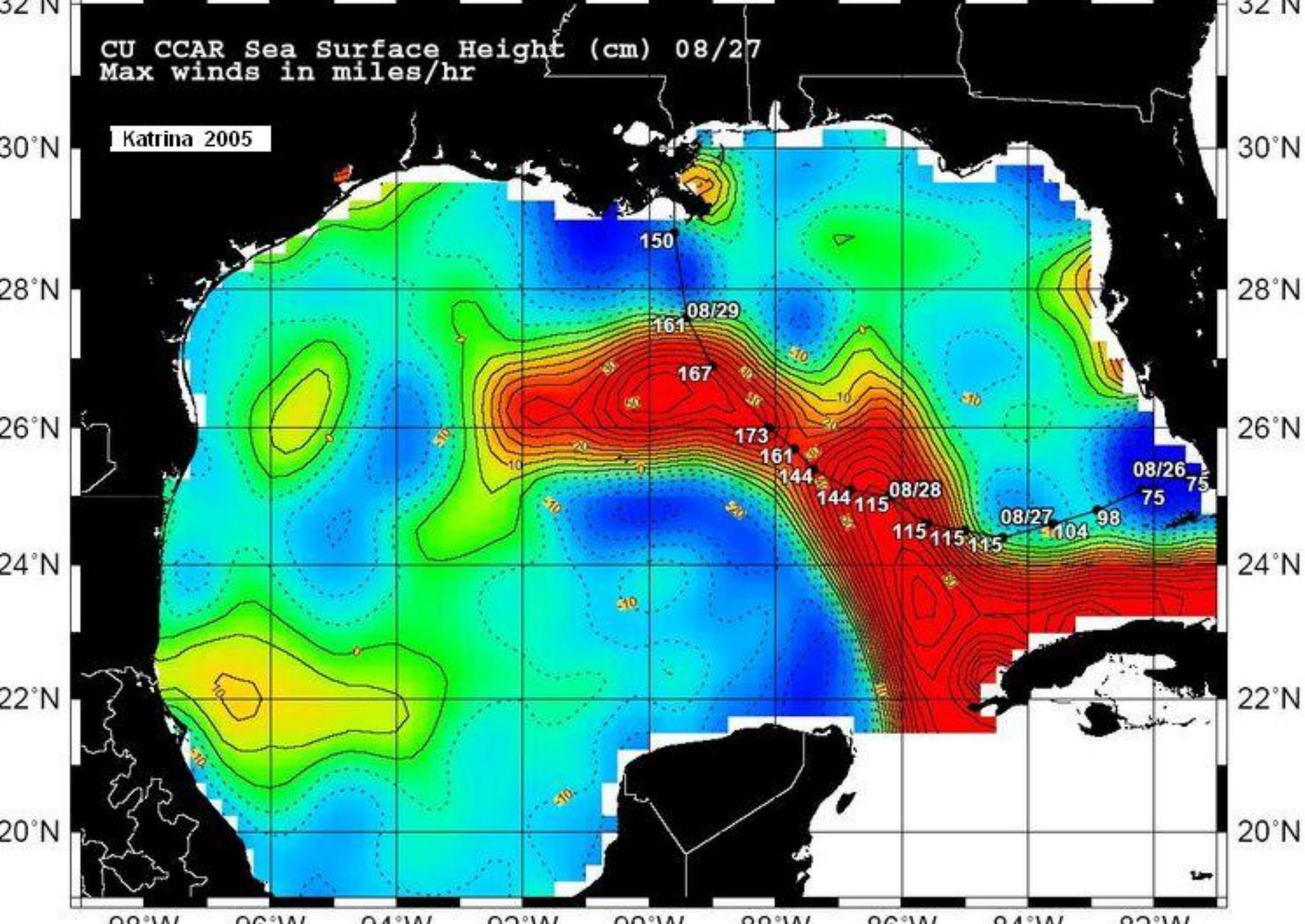
También se ha observado que generalmente se trasladan sobre las corrientes cálidas.

En su desplazamiento sobre las aguas oceánicas, se alimentan con las reservas energéticas de las aguas cálidas, principalmente por los flujos turbulentos, y dejan a su paso una huella fría.

Cuando un CT permanece estacionario por mucho tiempo, el enfriamiento que provoca, acaba por debilitarlo .

CU CCAR Sea Surface Height (cm) 08/27
Max winds in miles/hr

Katrina 2005

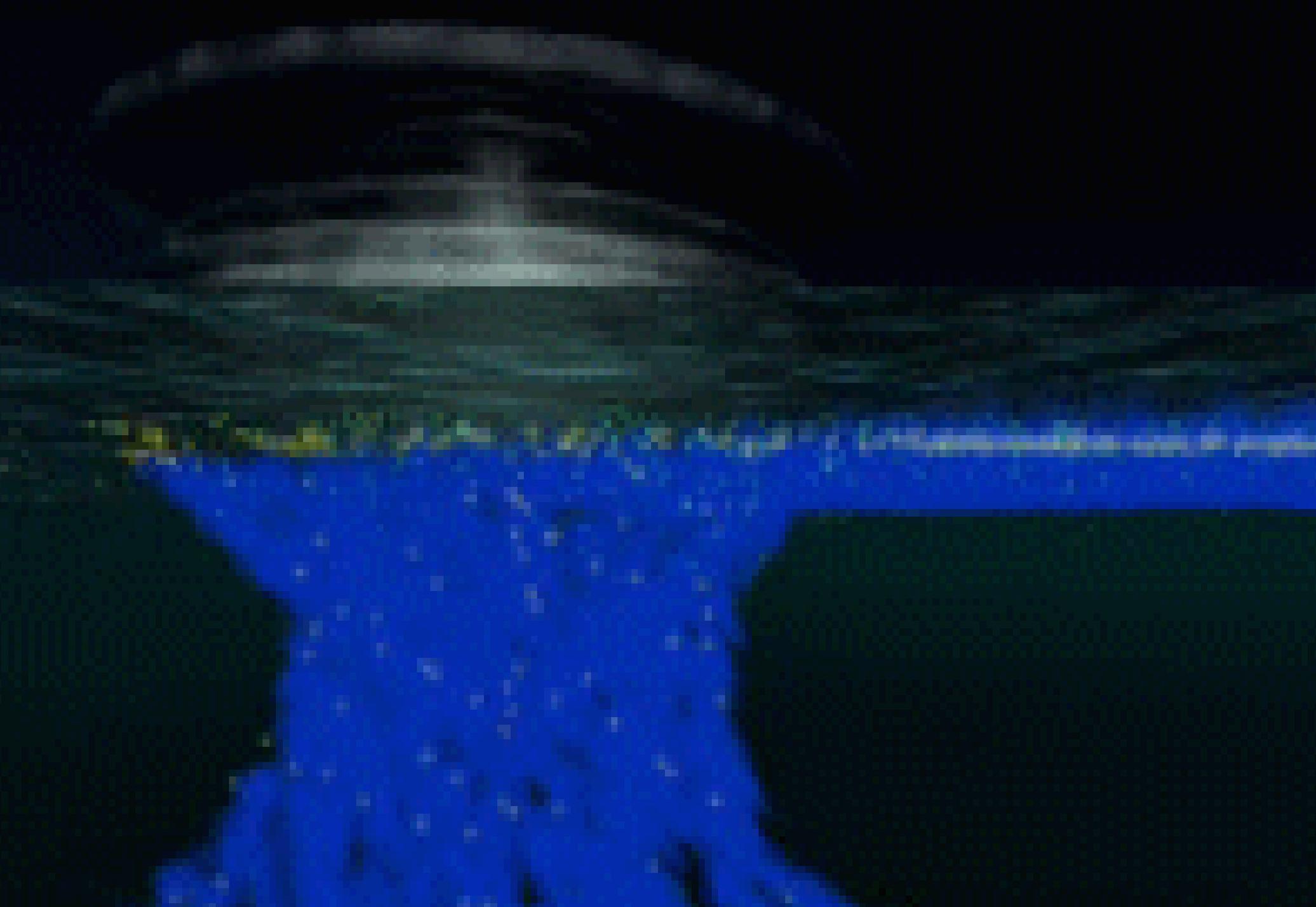


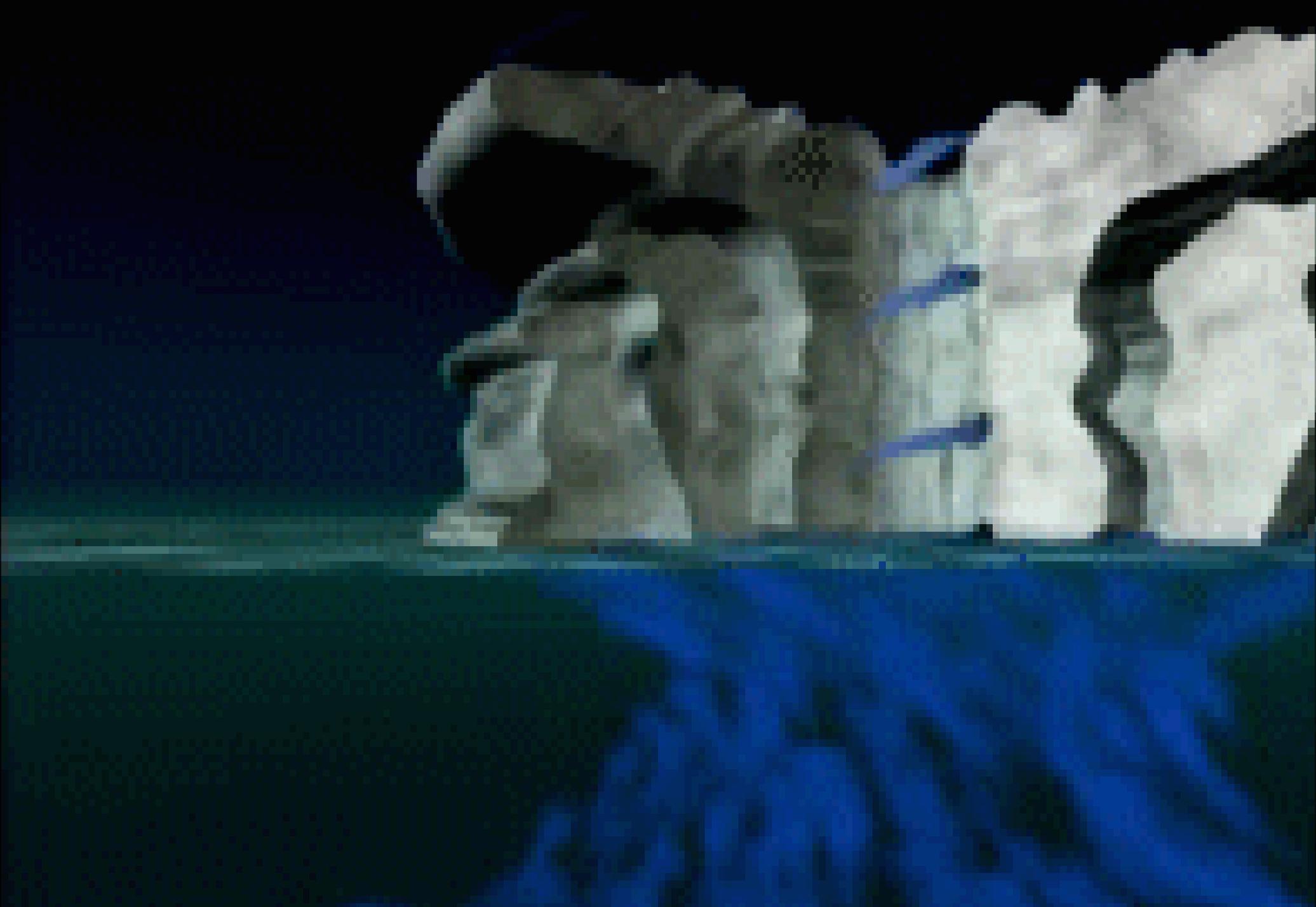
En los flujos turbulentos:

- El viento conduce a una gran intensificación del intercambio turbulento.
- Los coeficientes de intercambio de calor sensible y latente (C_t , C_q) se alejan de los valores del coeficiente de resistencia (C_d). (pueden llegar al doble de este último, **Bortkovsky 1987**).
- El flujo de calor latente alcanza el orden de 10^2 y el sensible, de 10.

El efecto de UP WELLING-ascenso de las aguas profundas y frías, ocurre como un proceso de compensación debido al desplazamiento de las aguas superficiales por la acción de los vientos convergentes.

El up-welling favorece el ascenso de nutrientes, que permanecen en la huella fría y ello contribuye al incremento de la fotosíntesis (Melo et al. 2001).



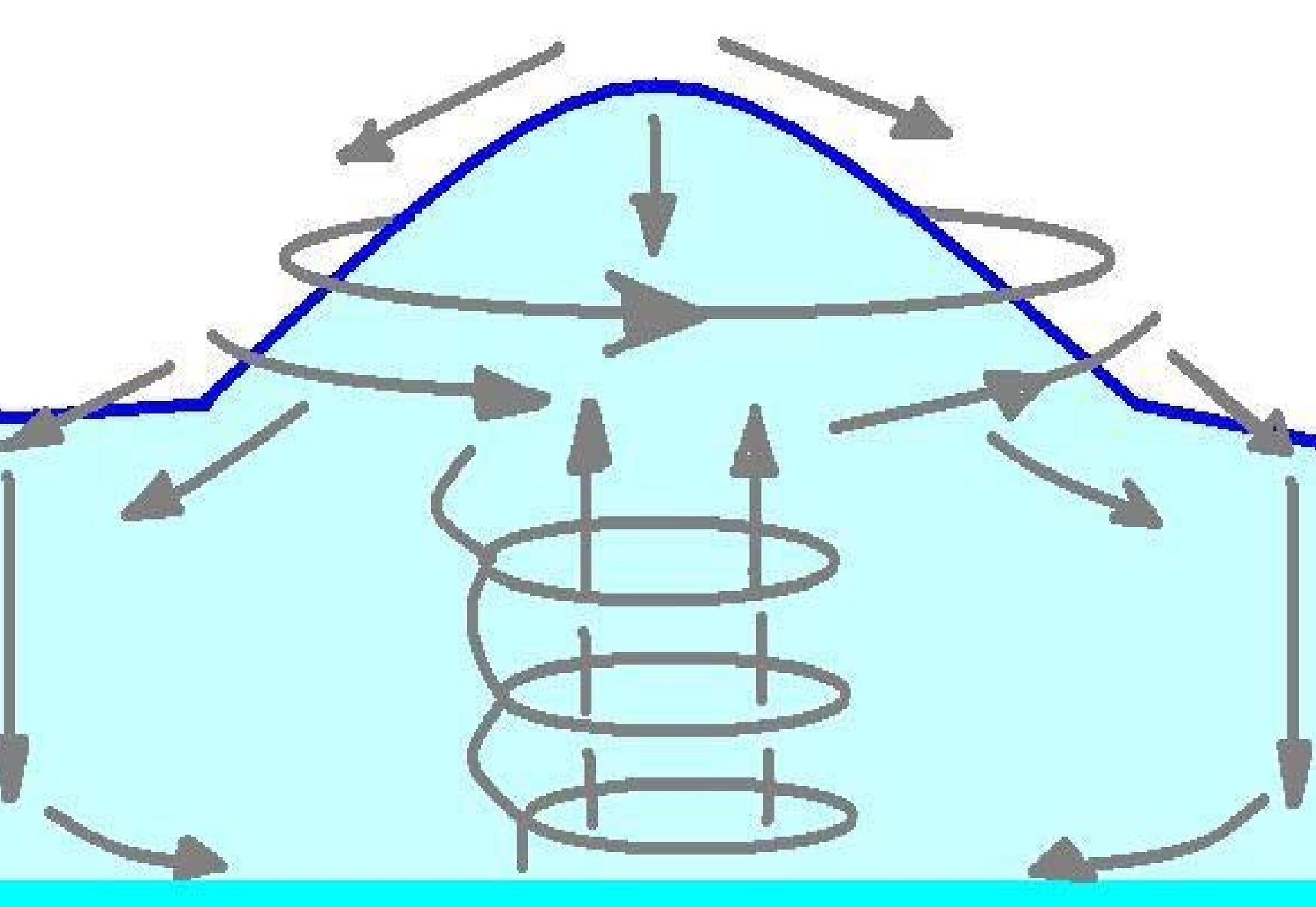


En la circulación de las aguas :

- **Aparecen corrientes eólicas, que responden a la distribución del viento**
- **Aparecen corrientes barogradientales de compensación, orientadas desde la zona central del CT hacia la periferia, debido a la sobre elevación del nivel del mar.**
- **Aparecen corrientes ascendentes hacia el área central del CT y descendientes en la periferia.**
(Kalatsky 1978).

Las observaciones hechas por Ivanov y Pudov (1978) al paso de los tifones "Wendy" y "Virginia" mostraron un desplazamiento de las aguas más frías hacia la derecha y de las aguas más calientes hacia la izquierda, con la formación de un frente hidrológico frío en la vanguardia del CT y de uno caliente en la retaguardia.

En aguas del Caribe fue analizada la trayectoria del CT "Floyd", del 4 al 28 de octubre de 1987 (Salas et al. 1988). Se desarrolló en una lengua caliente con temperaturas máximas de 29 °C, teniendo las temperaturas más altas a la derecha del movimiento, es decir, al revés que en aguas oceánicas. Esto es debido a la peculiaridad climática del Caribe, de que la temperatura del mar aumenta hacia el noroeste (hacia las costas de Cuba).



Como resultado, la Huella Fria:

- Puede presentar de uno a varios grados de diferencia de temperatura con respecto a la registrada antes de pasar el CT.**
- Puede ocupar una ancha franja al paso del CT (Según Botrkovsky 1987 puede ser de $\pm 3R_{max}$)**
- Puede alcanzar una profundidad del orden de las centenas de metros, en dependencia de la profundidad de localización de la termoclina.**
- Puede conservarse varias decenas de días.**
- Favorece el ascenso de nutrientes y esto contribuye al incremento de la fotosíntesis, de manera que se beneficia la vida oceánica en las aguas superficiales (Melo et al. 2001).**

Taylor (1968)- En el Golfo de México, al paso del CT "Gilda", el enfriamiento alcanzó hasta 5°C.

Wright (1969)- El tifón "Shirley" en el Océano Pacífico, se desplazó a favor del movimiento de la corriente de Kuroshío y generó un enfriamiento de hasta 3°C.

Tunegolobes (1976)-Durante la expedición Tifón75, después del paso del tifón "Tess" por el Pacífico, el enfriamiento alcanzó los 400 m de profundidad y la huella fría se conservó durante 50 días.

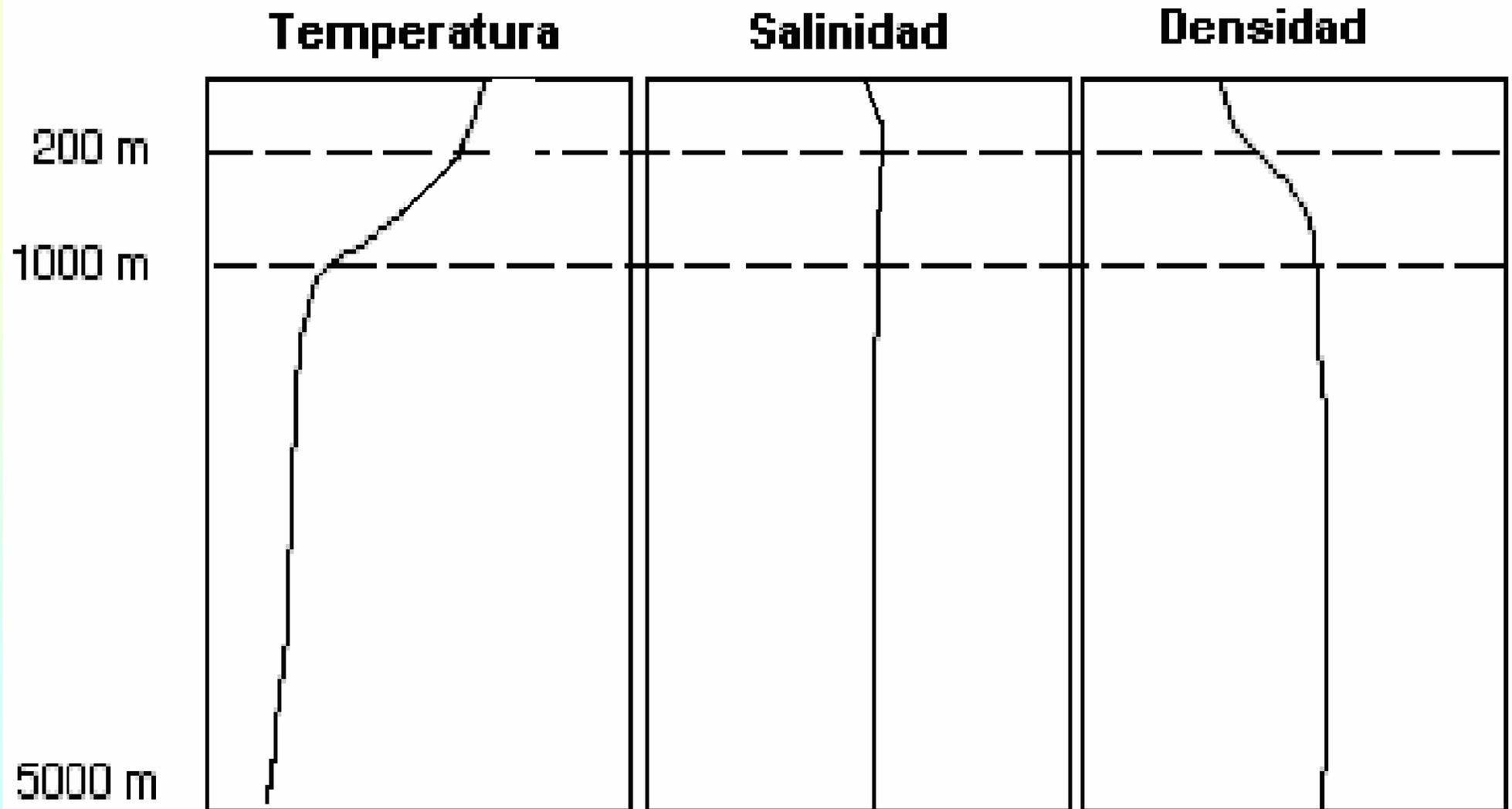
Pablov (1978)-A partir de la información Tifón75, señala que el enfriamiento superficial al paso de "Tess" y "Philips" alcanzó unos 6 °C, mientras que al paso del "Rita" fue de 5 °C y del "Nina" de 3-4 °C.

Bender et al. (1993) El estudio de 16 huracanes, clasificados como de movimiento lento, moderado y rápido respectivamente, produjeron enfriamientos de 5,3 , 3,5 y 1,8°C respectivamente.

En la estructura vertical termohalina:

- Al paso de un CT, la temperatura superficial disminuye, con una distribución asimétrica.
- La capa de mezcla se profundiza considerablemente.
- El máximo de salinidad asciende en las áreas de lluvias intensas, ocasionalmente hasta la propia superficie.
- La estructura habitual puede tardar decenas de días en reconstruirse.

Estructura termohalina después del paso del huracán



MUCHAS GRACIAS POR SU
ATENCIÓN!!!!!!!!!!!!!!