



| ICAO

# INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION

A UN SPECIALIZED AGENCY



# Ondas del Este y la Vaguada Tropical de La Troposfera Alta (TUTT)

---

José Manuel Gálvez

Investigador e Instructor

Axiom para WPC International Desks/NWS/NOAA

# Resumen

---

**01** Ondas del Este vs Vaguadas Inducidas y porque se diferencian

**02** Ondas del Este

**03** Vaguada Tropical de La Troposfera Alta (TUTT)

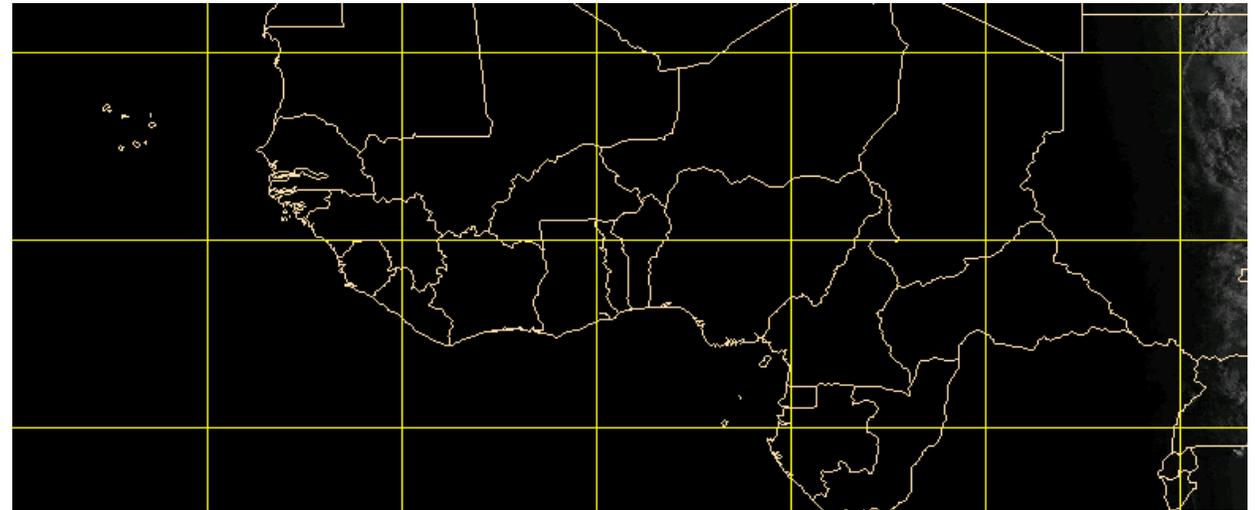
# 01

## Ondas del Este vs Vaguadas Inducidas y porque se diferencian

## Ondas del Este o Vaguadas Inducidas

Ambas son vaguadas que se manifiestan en el flujo del nivel bajo, especialmente entre 800 y 700 hPa (1.5 – 3km AGL).

La diferencia principal es que la onda del este se propaga en los alisios del este, pero una vaguada inducida sigue el sistema que la induce, generalmente una vaguada de nivel alto. Esto significa que sus impactos pueden ser diferentes.

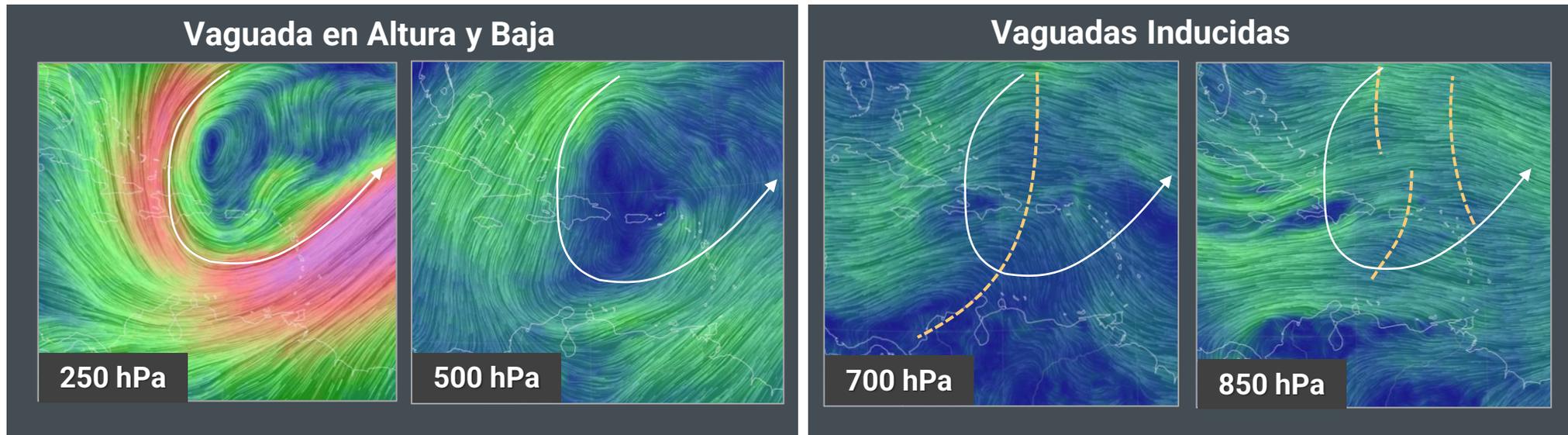


Ondas del este propagándose sobre el norte de África en una animación de satélite visible.

## Ejemplo de Vaguada Inducida

El 6 de abril de 2023, una vaguada en altura fuerte centrado al norte de la Republica Dominicana, indujo una vaguada en los alisios del este, visible en los niveles de 700 y 850 hPa.

La vaguada inducida amplia se organiza en varias vaguadas pequeñas (850 hPa).



# Aspectos Comunes de las Ondas del Este y las Vaguadas Inducidas

- Ambas perturbaciones pueden producir precipitaciones significantes y persistentes (lluvias/chubascos y convección profunda).
- Ambas pueden producir severidad, especialmente en forma de ráfagas de vientos.
- Ambas pueden desarrollarse en ciclones tropicales.

**Entonces, porque diferenciarlas?**

# Porque diferenciar las ondas del este de las vaguadas inducidas?

## 1) Vaguadas Inducidas pueden mantenerse estacionarias = Tormentas y lluvias persistentes

- Mas potencial en producir inundaciones repentinas, generalmente pronto. Vaguadas en altura frias en los niveles medios, pueden favorecer tiempo severo incluyendo granizo en unas locaciones y peligros de aviación.

## 2) Ondas del Este pueden interaccionar con otras perturbaciones o elementos

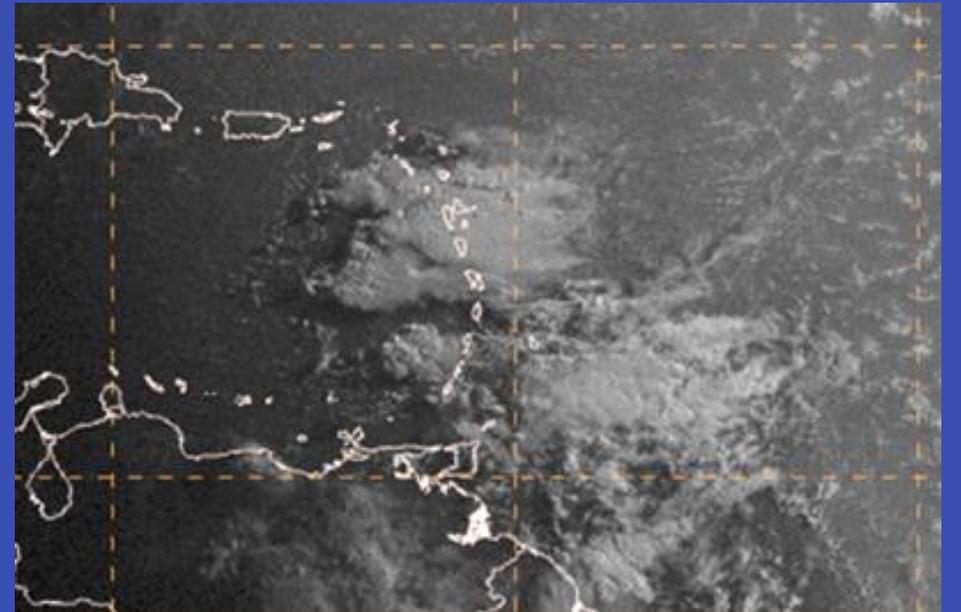
Se pueden mover. Despues se pueden encontrar con sistemas en altura e interaccionar positivamente (mas convección), resultando en áreas de convección fuerte y potencialmente severa (peligros de aviación). Pero también interaccionan negativamente, en transición a buen tiempo.

02

# Ondas del Este

# Que es una Onda del Este (EW, siglas en ingles)?

- Perturbaciones que se propagan hacia el oeste en los alisios del este. Suelen reflejarse como vaguadas (banda de vorticidad ciclónica intensificada) en los niveles 850 y 700 hPa y **suelen asociarse con convección intensificada y lluvia.**
- Ondas del Este Africanas, o African Easterly Waves (AEW), referidas como “Ondas Tropicales” en unas instancias, son un sub-tipo de onda del este. La única diferencia es que su origen es en África. (Riehl, 1945 and Burpee, 1972).



... AEW suelen ser mas robustas que otras EW, pero no siempre es el caso.

# Ondas del Este Africanas también se llaman “Ondas Tropicales”

- Subtipo de Ondas del Este.
- Suelen ser mas robustos, mas grandes (1500-2500km), y producen impactos mas fuertes en el flujo y precipitación a comparación a ondas del este no Africanas. Suelen tener mas rotación y suelen ser la fuente mas común de ciclones tropicales.
- Esto incito su estudio y descripción desde los 1940's (Riehl, 1945). Estudiaremos estos primero.

# Ondas del Este Africanas o Ondas Tropicales (AEW o TW)

- **Modelo Conceptual**

- Riehl (1945) : “V” Invertida

- Burpee (1972):

- Origen en el Ecuatorial Norte de África

- Inestabilidad en el Chorro del Este de Medios Niveles Africano.

- Ondas del Este que se forman in-situ no se clasifican como Ondas Tropicales.

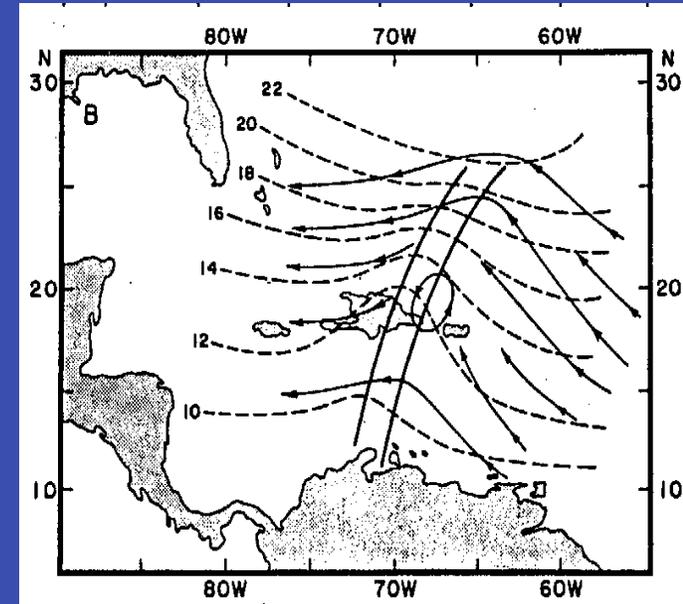
- **Características**

- Vaguada de escala meso-sinóptica en la troposfera baja.

- Típicamente desde la superficie hasta 850-700 hPa (1.5 - 3 km)

- La rotación se define mejor en 850 and 700 hPa.

- Ondas fuertes se pueden reflejar en 600 hPa.



# Origen de las Ondas del Este Africanas

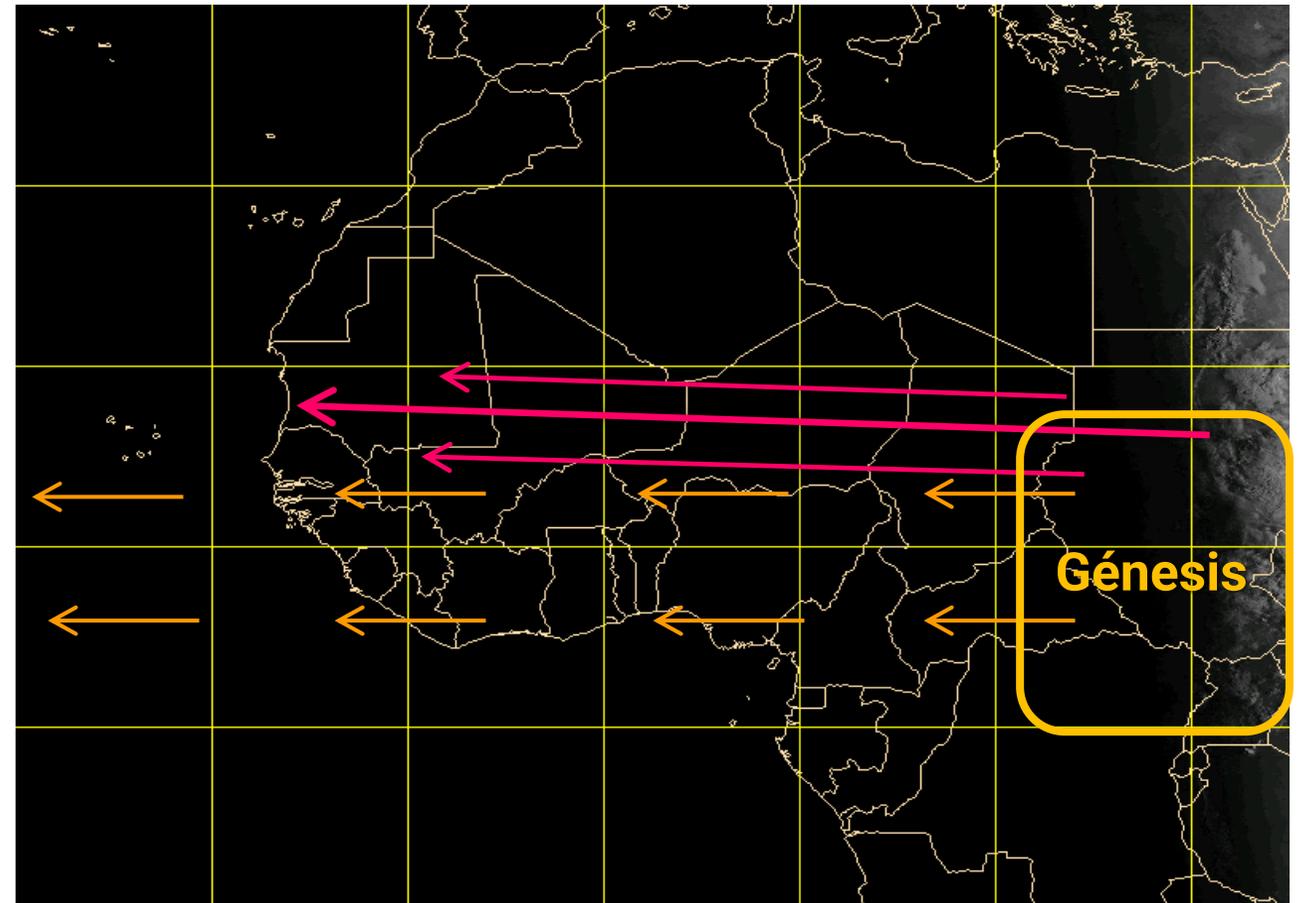
Se originan de convección fuerte en el Norte de África Tropical (Etiopía, Kenia and Sudan del Sur)

Se propagan hacia el oeste siguiendo el flujo este a niveles bajos y medios.

Después adquieren vorticidad (rotación) de:

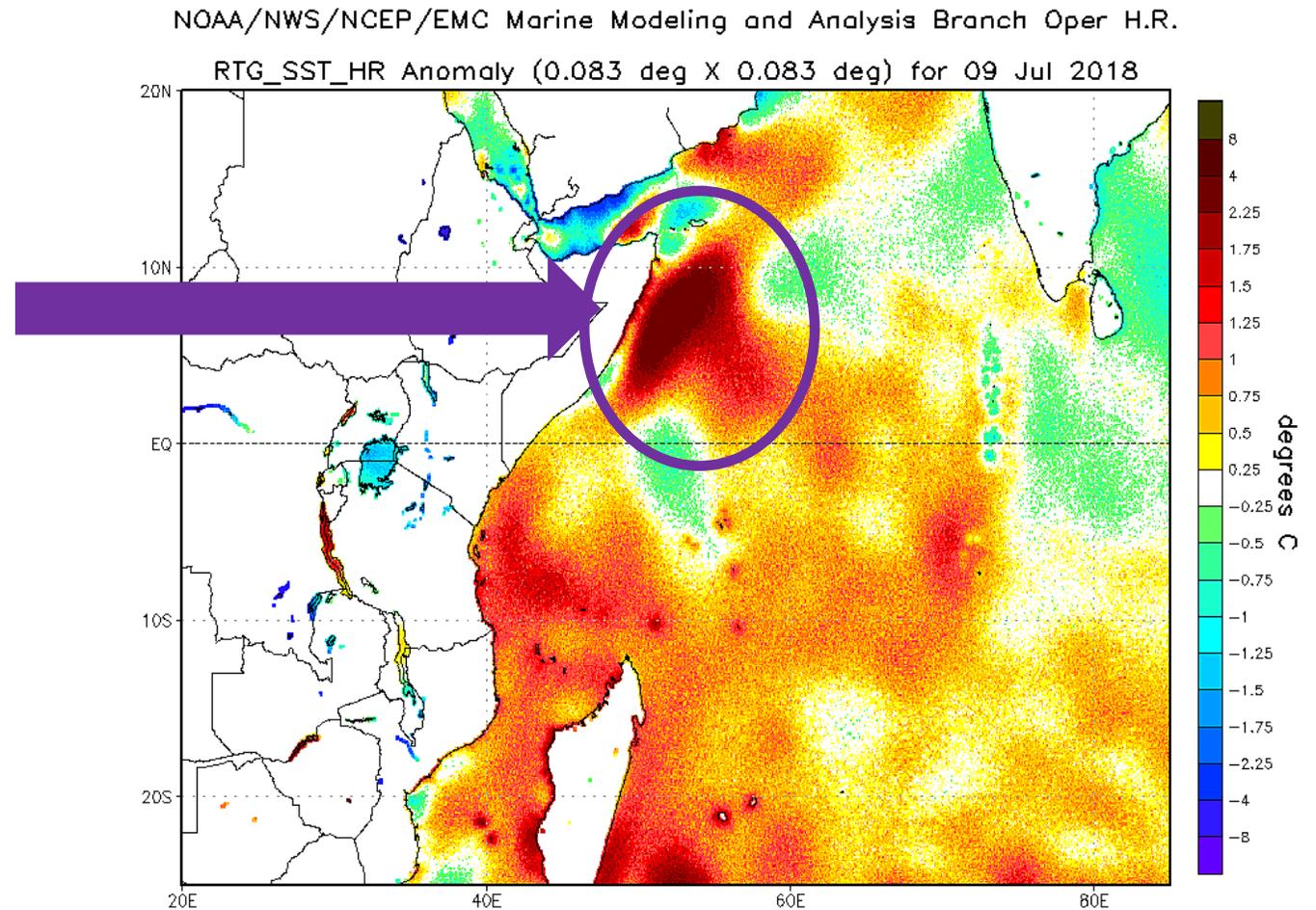
1. Vorticidad ciclónica Chorro del Este de Medios Niveles Africano que se encuentra entre Sahel del Norte y el sur del Desierto Sahara (flechas rojas).
2. Convección organizada intensifica la vorticidad ciclónica en el sistema.

Africa Tropical del Norte, Satélite Visible



# Anomalías de TSM Cálidas en el Cuerno de África Estimulan Formación de AEW

- Anomalías de TSM cálidas destacan la disponibilidad del calor y humedad en el aire flujo abajo.
- Cuando se desarrollan del Cuerno de África, favorecen convección fuerte en Etiopia/Kenia, que produce rotación mas fuerte y estimula la intensidad y formación de AEW.



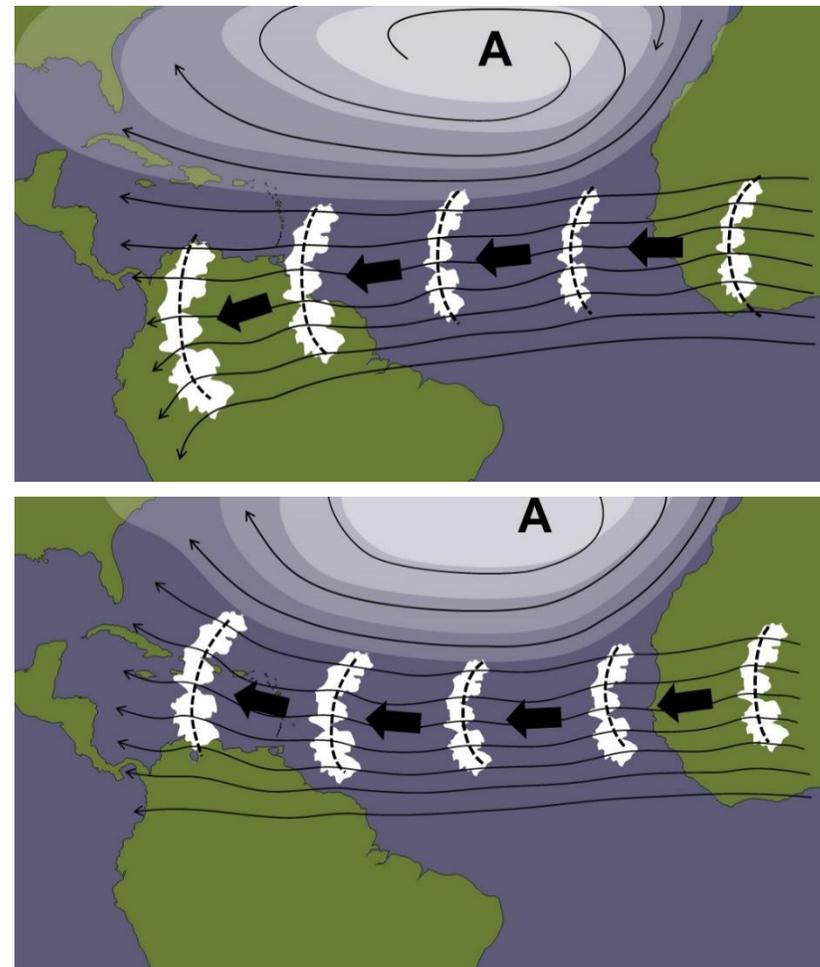
# Características de las Ondas del Este Africanas

- **Propagación**
  - Hacia el oeste o del este (tipo de "Onda del Este")
  - Velocidad de Propagación → 10-15 kt
  - Amplitud de Onda Horizontal → 1,500-2,500 km
- **Frecuencia:** Periodo de 3-4 días entre ondas.
- **Estacionalidad:** Abril a Noviembre

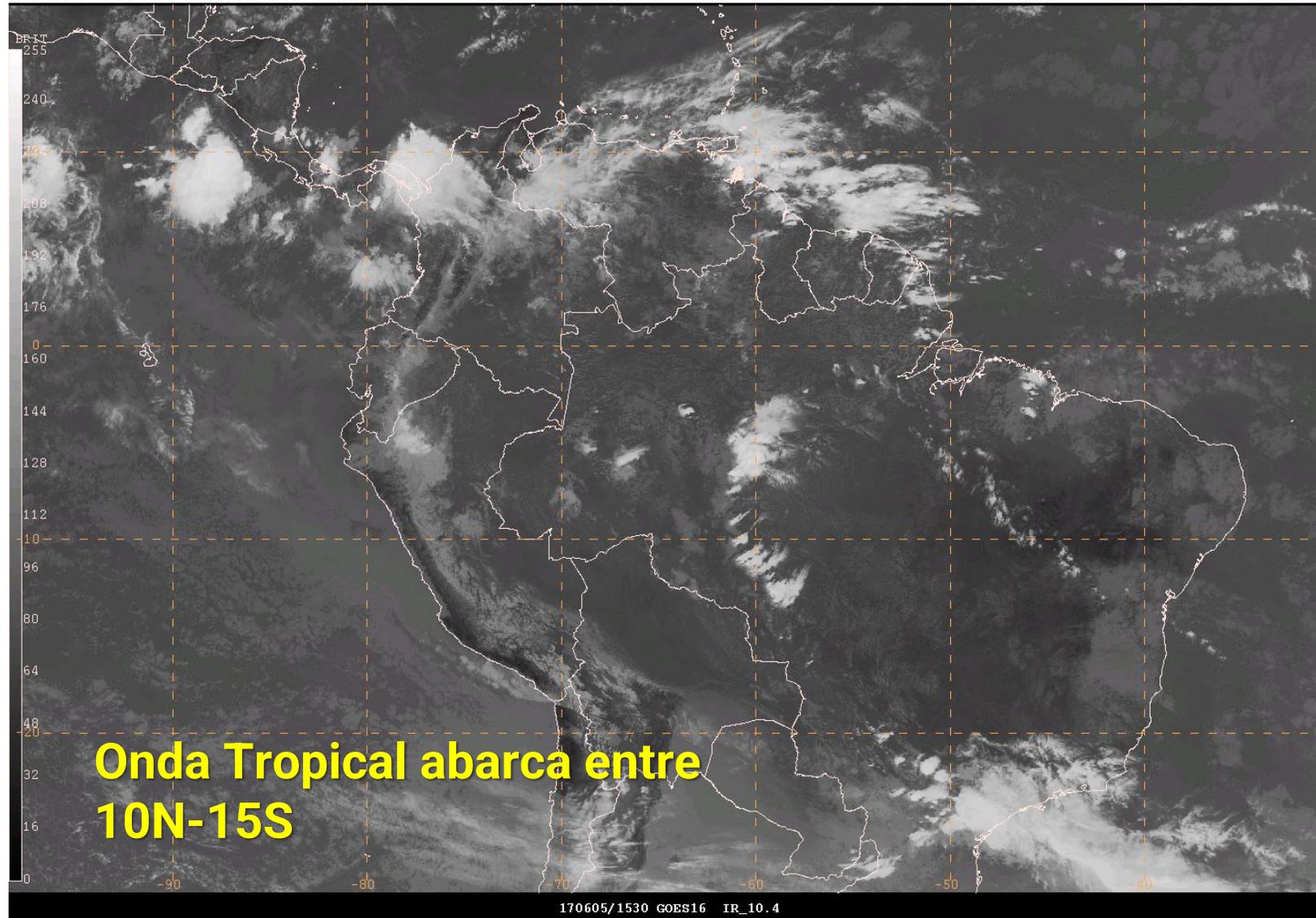
Se pronuncian mas desde junio a septiembre cuando hay un pico de convección en Etiopia y el Chorro Africano.

## Estacionalidad de Propagación

- Depende en tan fuerte y que lejos al norte este la dorsal subtropical.
- Abril-Junio: Dorsal mas fuerte al sur favorece propagación hacia Sudamérica.
- Julio-Octubre: Dorsal desplazada hacia el norte favorece que ondas entren al Caribe.
- La convección y perturbaciones de la ZCIT alimentan las ondas.

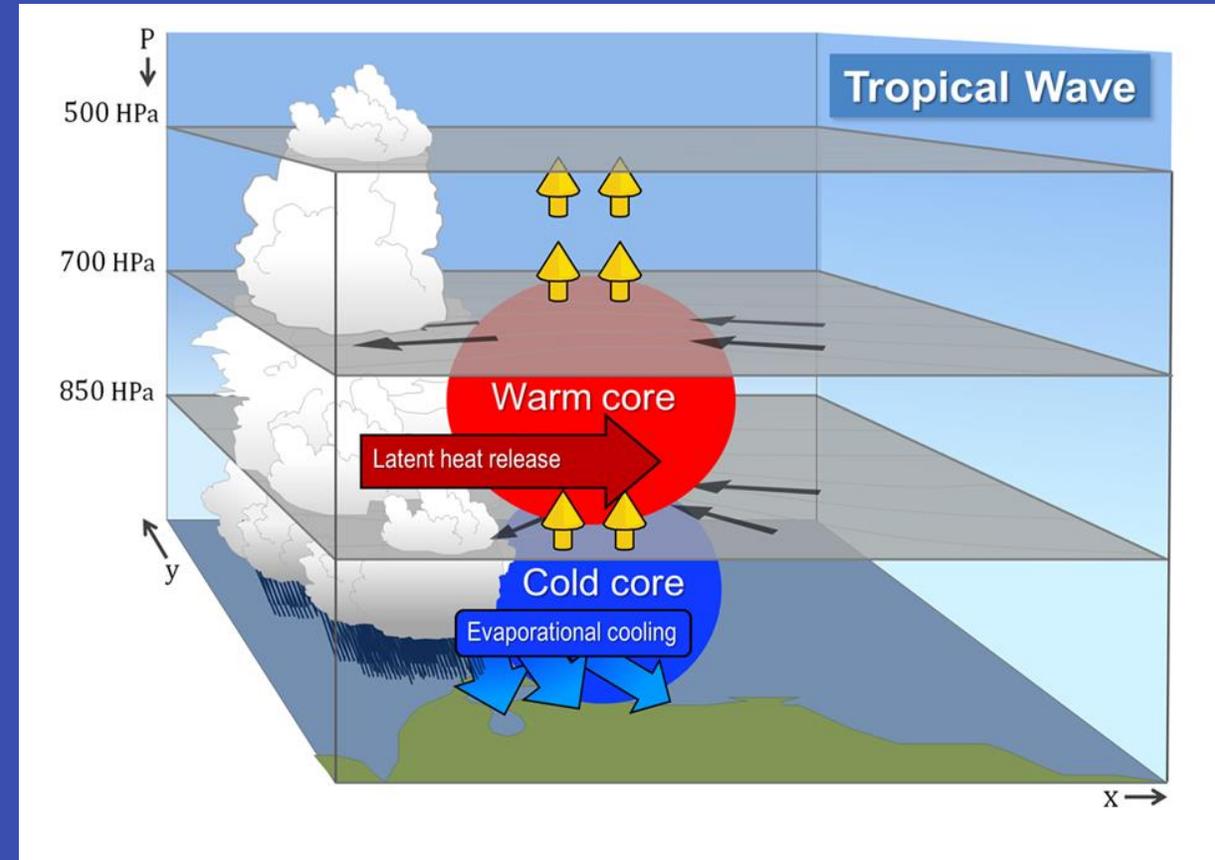


# Ondas Tropicales Temprano en la Temporada (Junio)



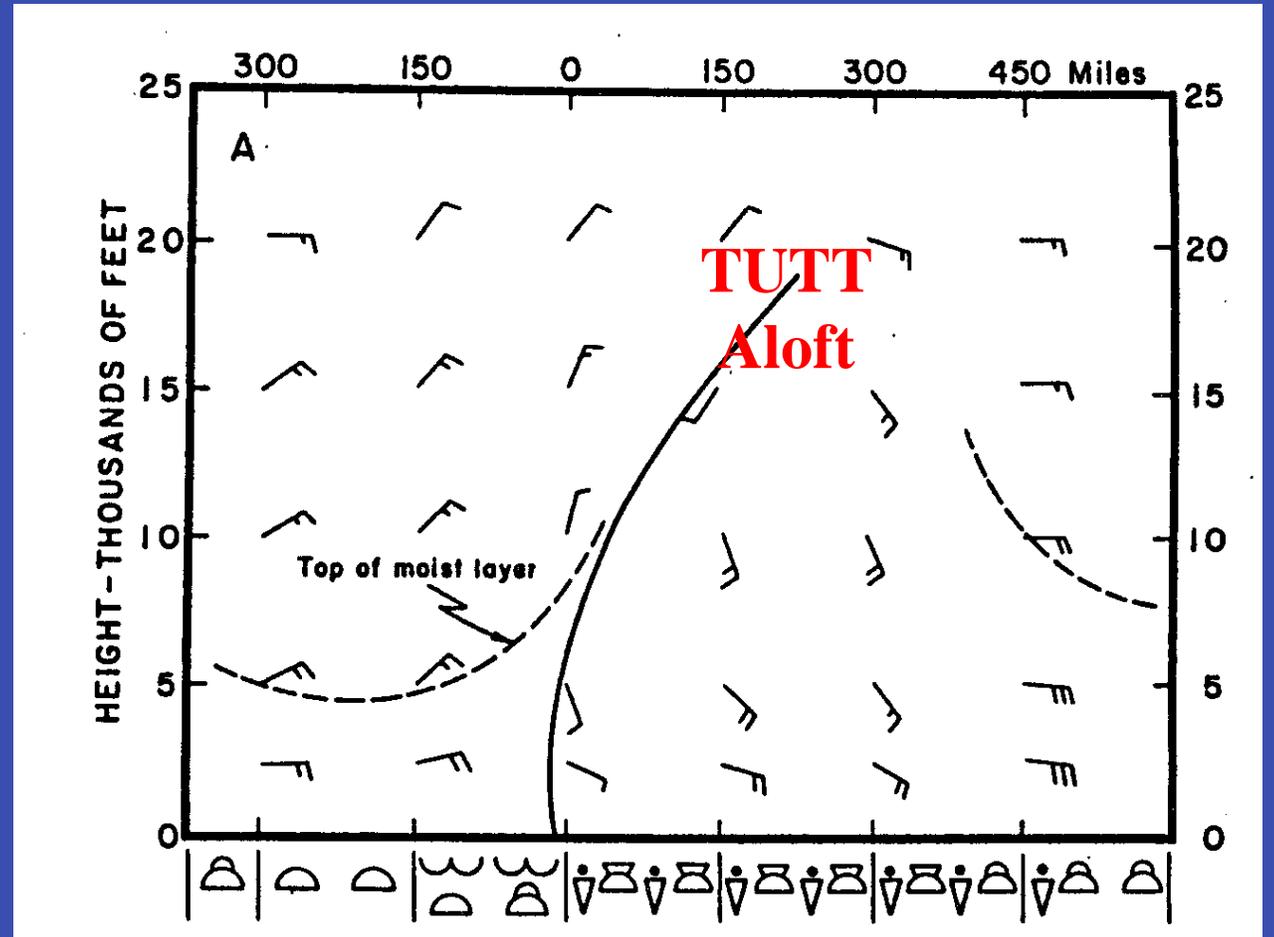
# Características de Ondas Tropicales

- **Núcleo:** Frío en capas bajas/cálido en capas medias.
- Prolongado por Calor latente liberado por condensación.
- **Vorticidad:** Debido al núcleo frío en capas bajas, la vorticidad ciclónica aumenta desde la superficie hasta 850/800 hPa y disminuye con la altura.
- **Efecto de la cortante vertical (Vertical Wind Shear) en la convección**
  - Débil: Mayor convección.
  - Fuerte: Inhibe convección.



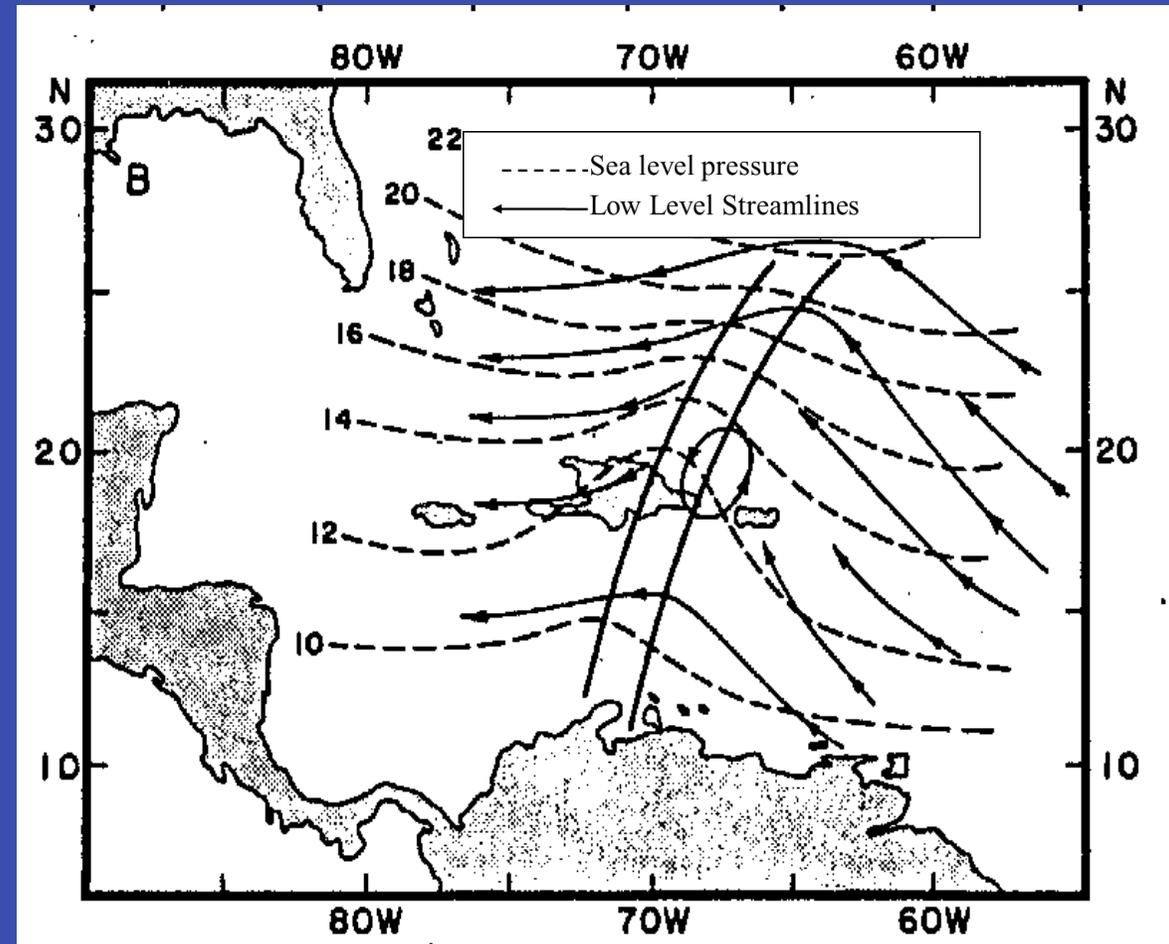
# Modelo Conceptual de Riehl

- El modelo conceptual de Riehl demostraba una vaguada profunda que se extendía desde la superficie hasta 500 hPa, en esta sección transversal.
- Es una onda ideal, pero el modelo demuestra la influencia de una TUTT, mientras la rotación es más pronunciada en la troposfera media-alta.

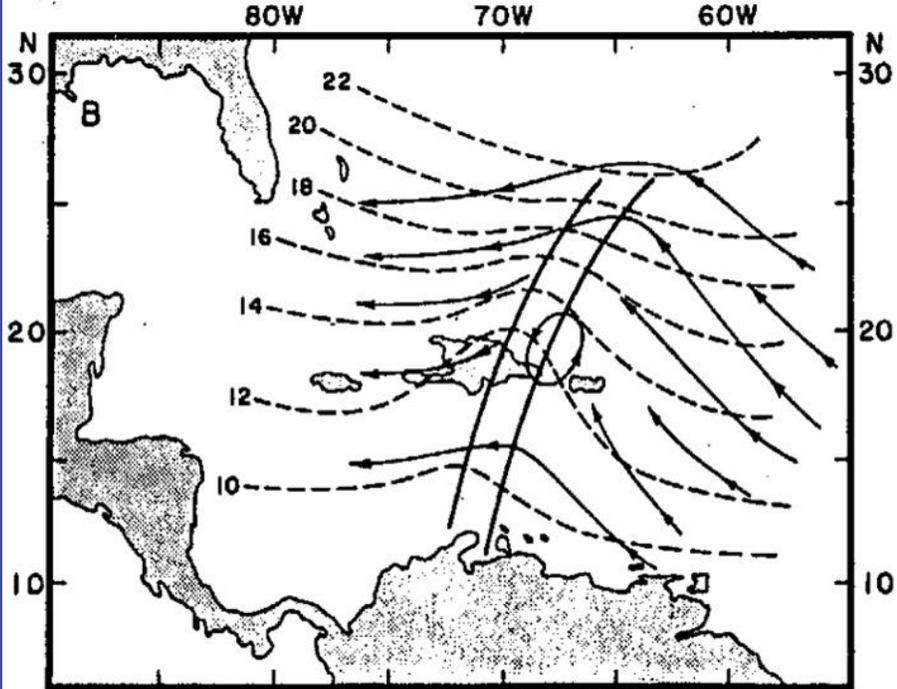


# Modelo Conceptual de Riehl

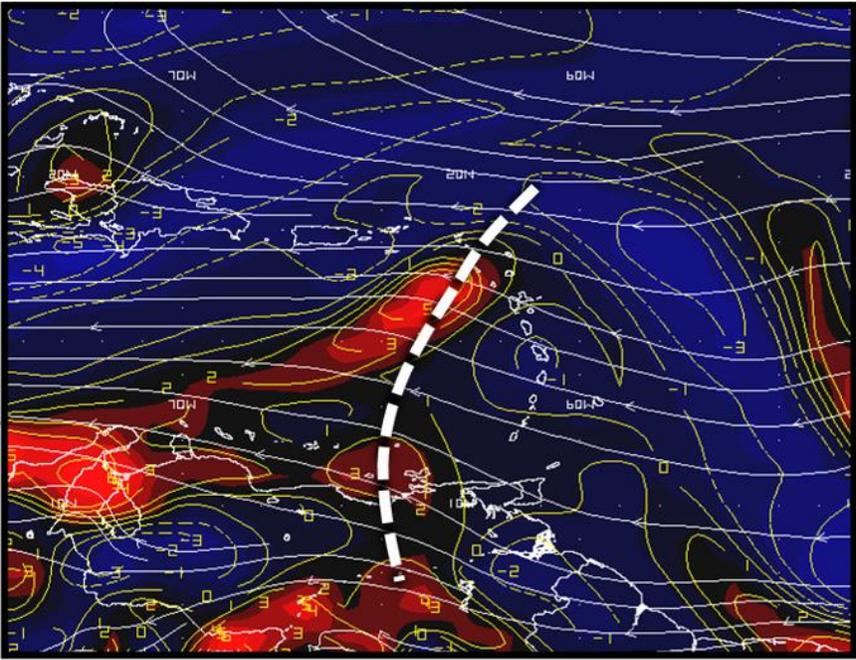
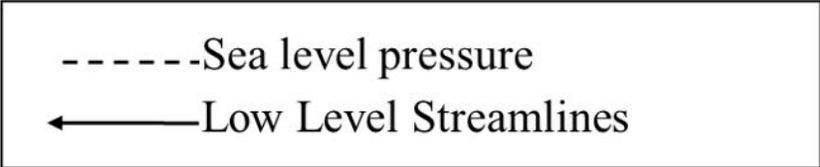
- En lo horizontal, el modelo de Riehl representa muy bien la estructura de una onda tropical fuerte.
- El ejemplo demuestra un modelo conceptual para el Caribe, demostrando una señal fuerte en las líneas de corriente del nivel bajo y una señal más débil en el campo de presiones en la superficie.
- La estructura tiene forma de una "V" invertida.



# Modelo Conceptual de Riehl vs GFS



Riehl's Conceptual Model

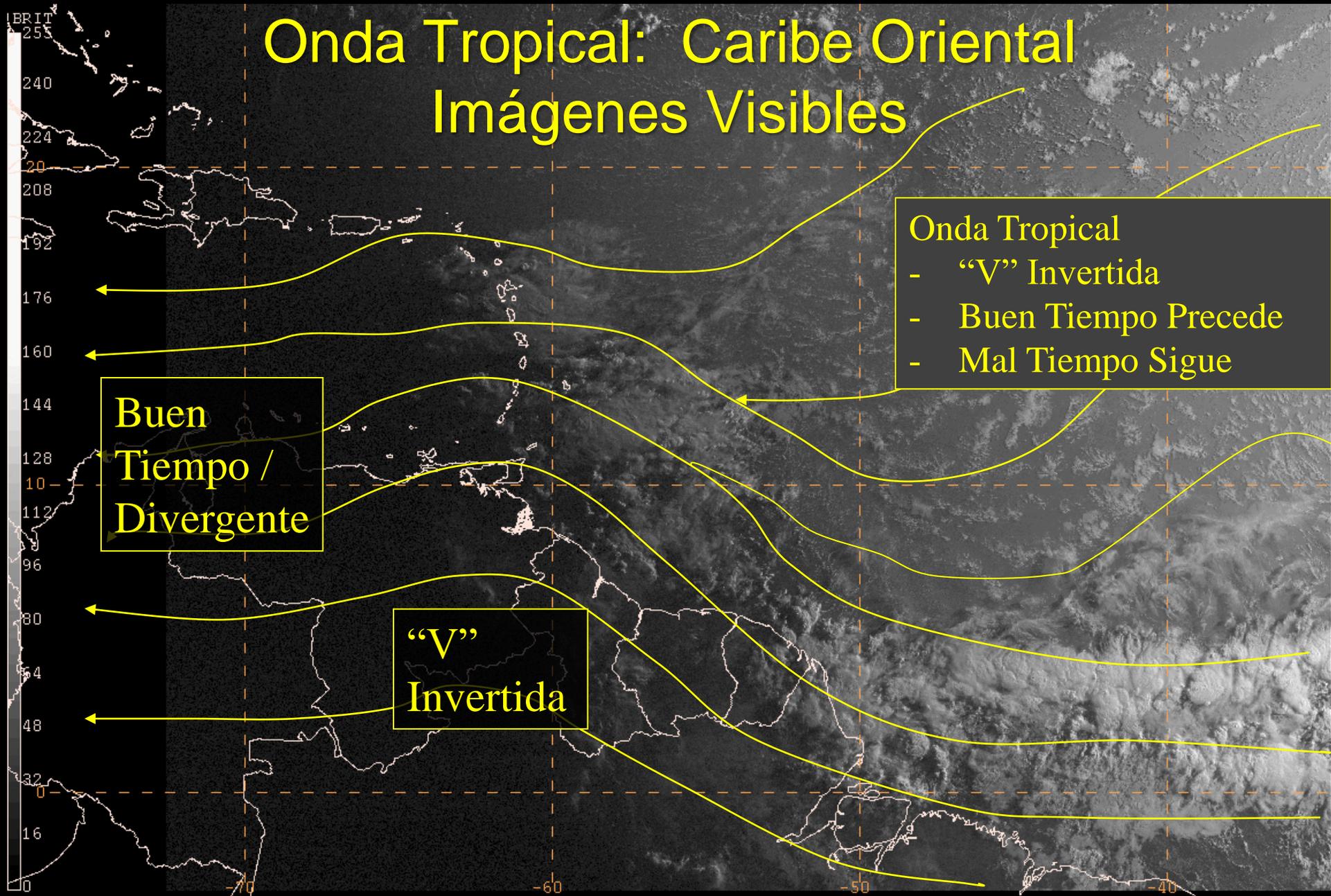


GFS Model (850 hPa)



# Onda Tropical: Caribe Oriental

## Imágenes Visibles



Onda Tropical

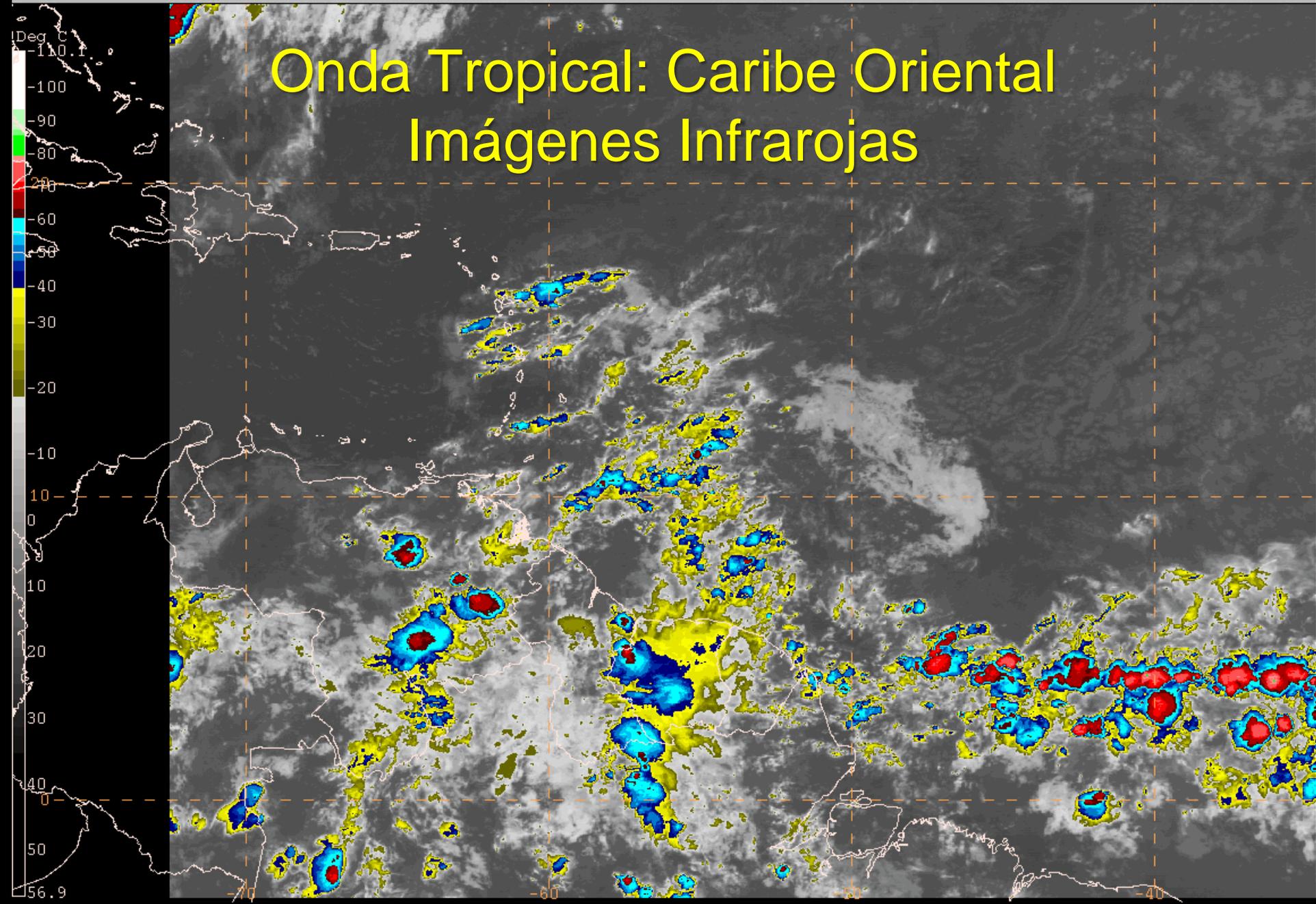
- “V” Invertida
- Buen Tiempo Precede
- Mal Tiempo Sigue

Buen  
Tiempo /  
Divergente

“V”  
Invertida

# Onda Tropical: Caribe Oriental

## Imágenes Infrarrojas



080620/0245 GOES12 IR4

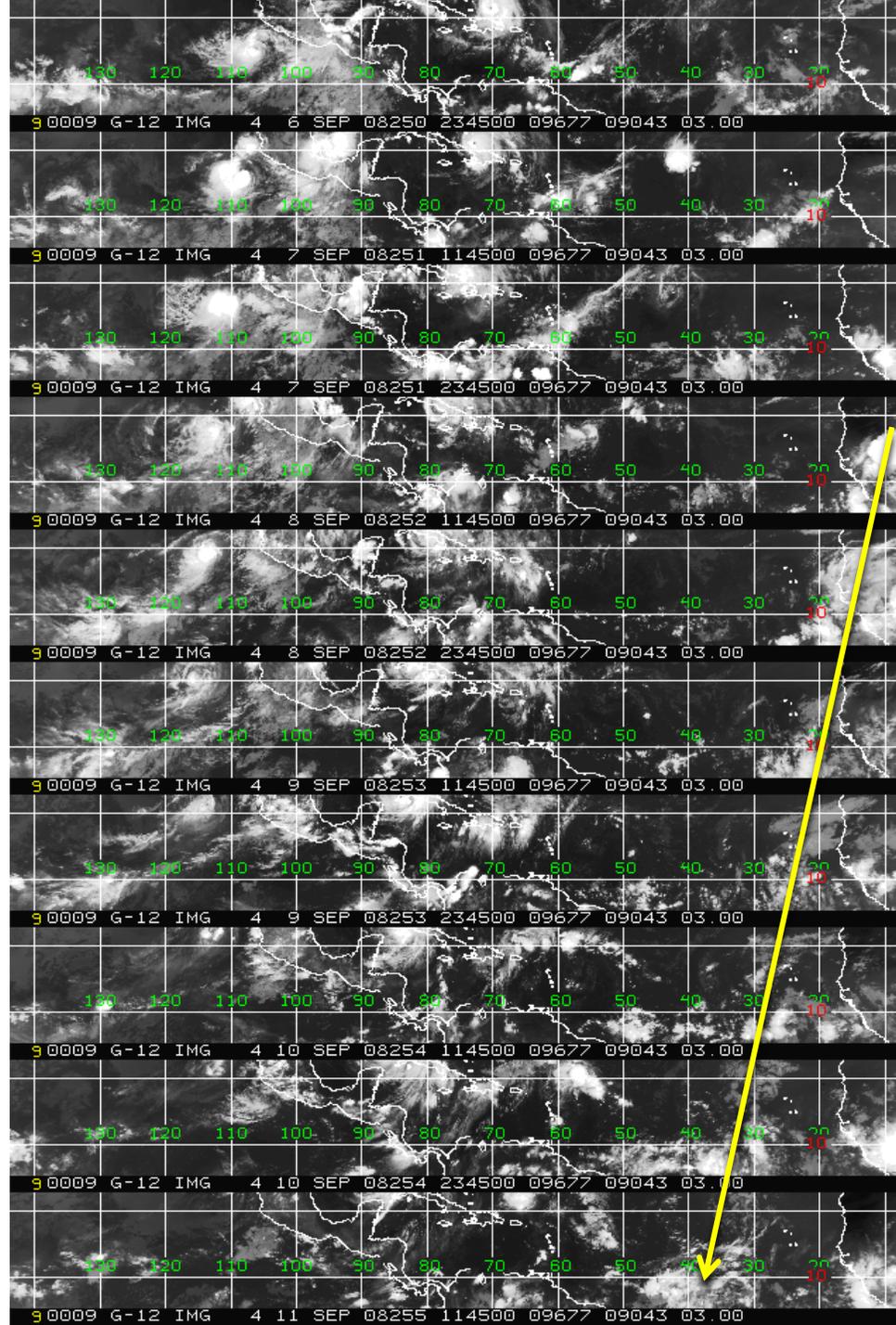
# Diagrama Hovmöller Identificando las Ondas Tropicales

[http://www.nhc.noaa.gov/analysis\\_tools.shtml](http://www.nhc.noaa.gov/analysis_tools.shtml)

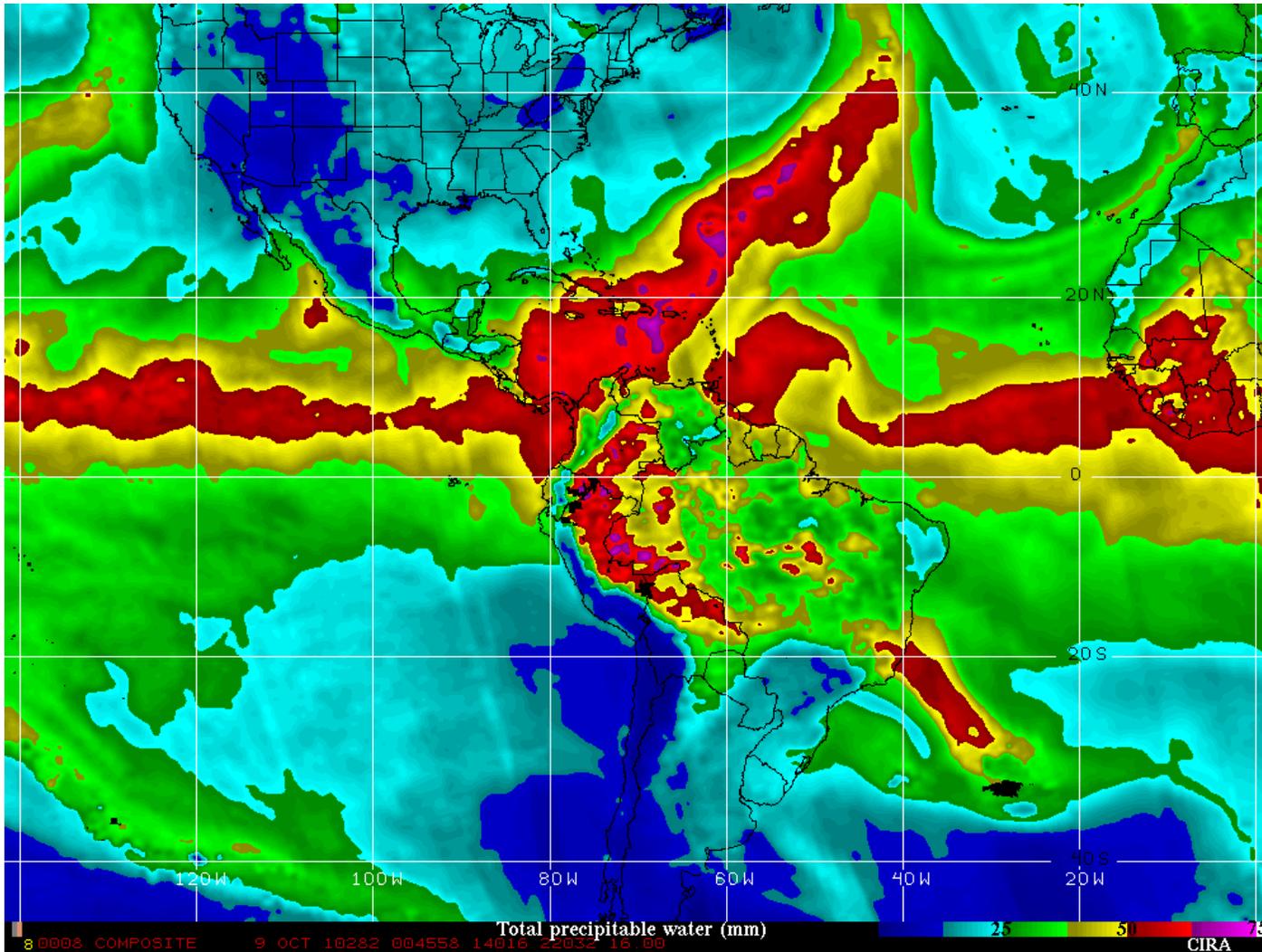
El diagrama Hovmöller nos permite evaluar los orígenes de las ondas del este, y establecer si su génesis ocurre en o si se formaron in-situ.

- Origen Africano: Onda Tropical
- Otro Origen: Onda del Este

↓  
**Tiempo**



# Análisis de Agua Precipitable Total Derivada de Satélites



El análisis de Agua Precipitable Total (TPW, siglas en ingles) es otra herramienta que se usa para darle seguimiento a las ondas del este y su génesis.

- En este ejemplo se ve una saliendo de África según otra entra el este del Caribe.
- Una tercera onda se ve entrando a Centroamérica.

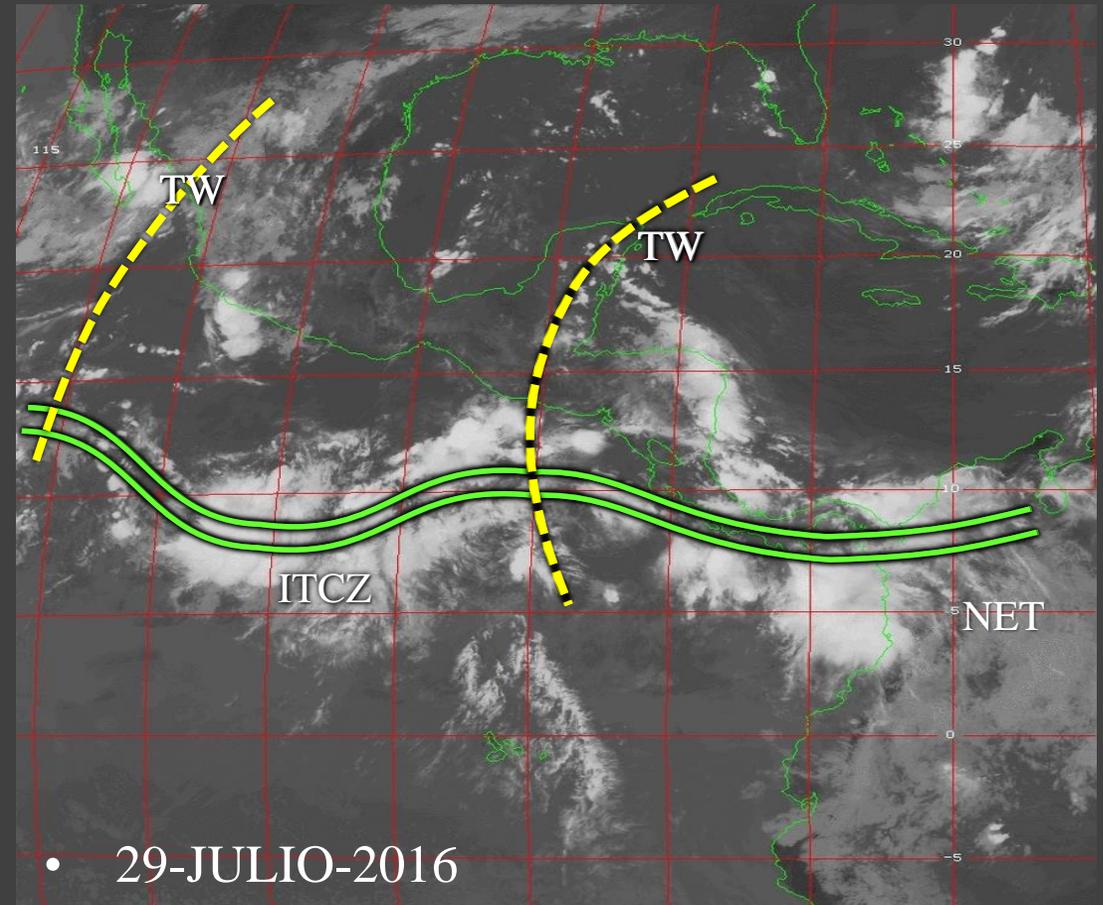
# Ondas Tropicales y la ZCIT

Interactúan positivamente con vaguada ecuatorial / ZCIT

- Resaltan la convección, especialmente en:
  - Lago Maracaibo
  - Golfo de Urabá
  - Golfo de Honduras
  - Golfo de Fonseca
  - Golfo de Tehuantepec
- Resaltan baja en el Golfo de Panamá
- Modulan la posición de la ZCIT
  - Ondas fuertes pueden inducir desplazamiento de la ZCIT hacia el norte/sur
    - La ZCIT puede llegar a 3-5 grados al norte/sur de su posición climatológica después del paso de una onda
    - La ZCIT desplazada puede quedar al norte/sur de su posición por 2-3 días.

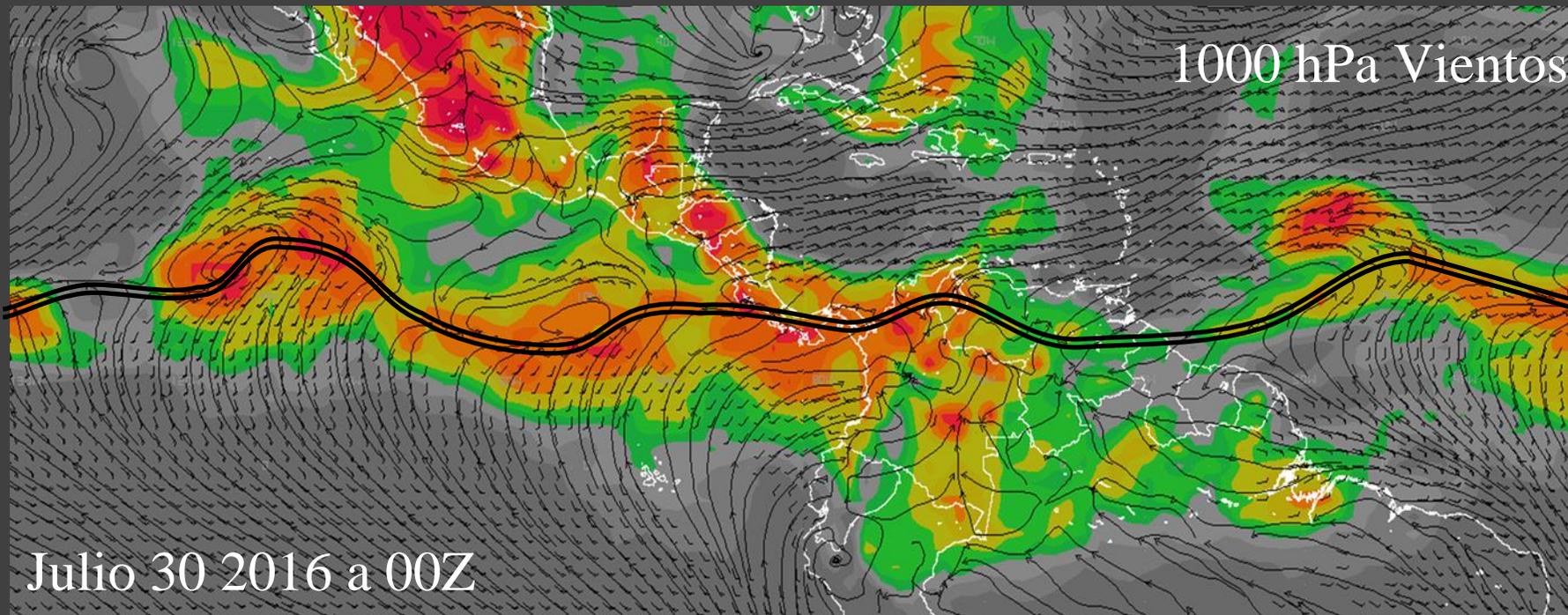
# Ondas del Este Interaccionan con la ZCIT, Modulandola

- La ZCIT se modula hacia el norte con las ondas.
- En este caso hay 2 Ondas Tropicales fuertes (TW).
- Pueden identificar la TUTT?



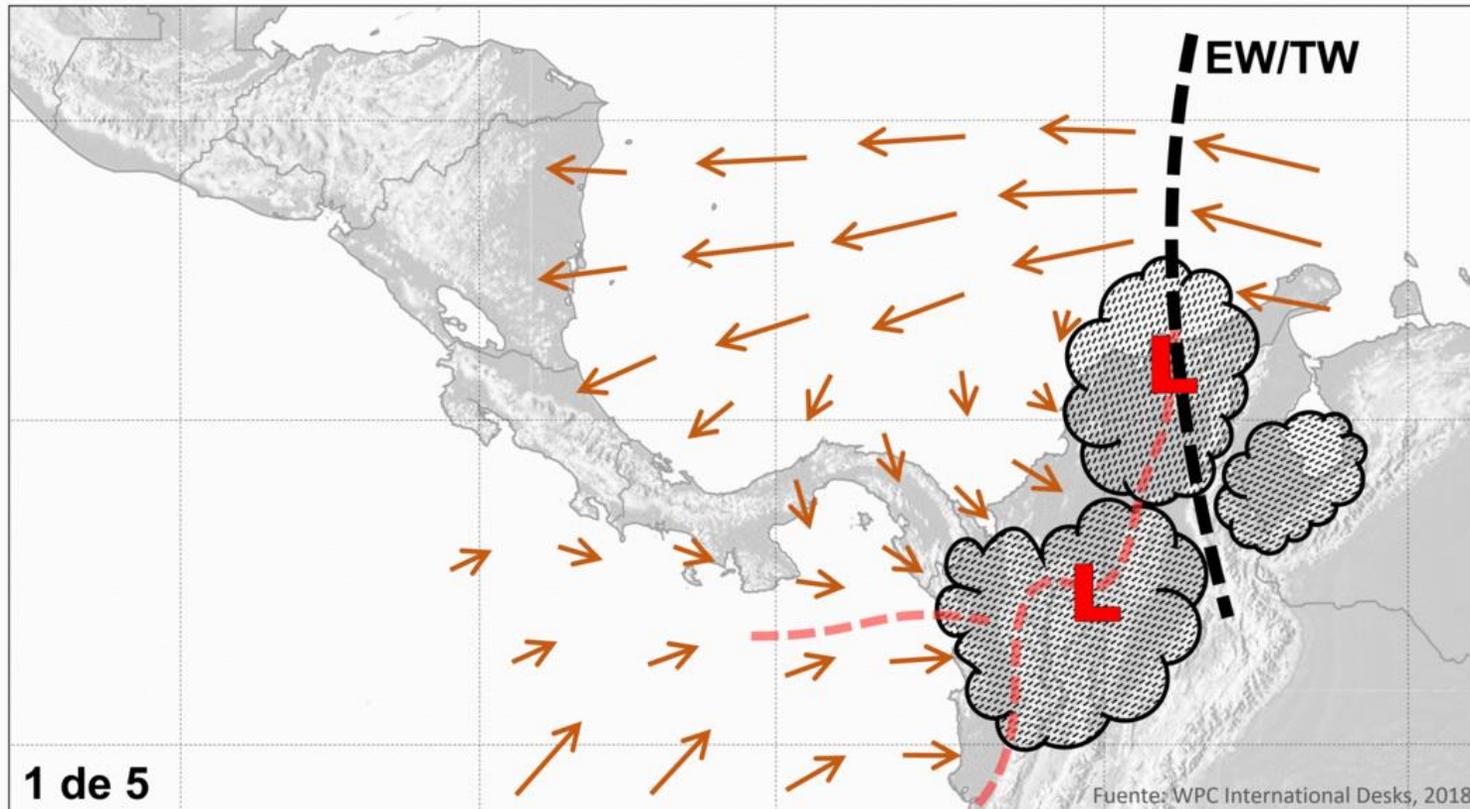
# Ondas del Este y la ZCIT son representadas por el GDI

- El GDI captura la banda de humedad amplificada e inestabilidad, que resulta en valores grande de temperatura potencial equivalente.
- Vientos en 1000 hPa ayudan a identificar la ZCIT. Para ondas del este se pueden usar los niveles de 925 to 700 hPa.



# Interacción de Ondas con la Baja/Vaguada de Panamá

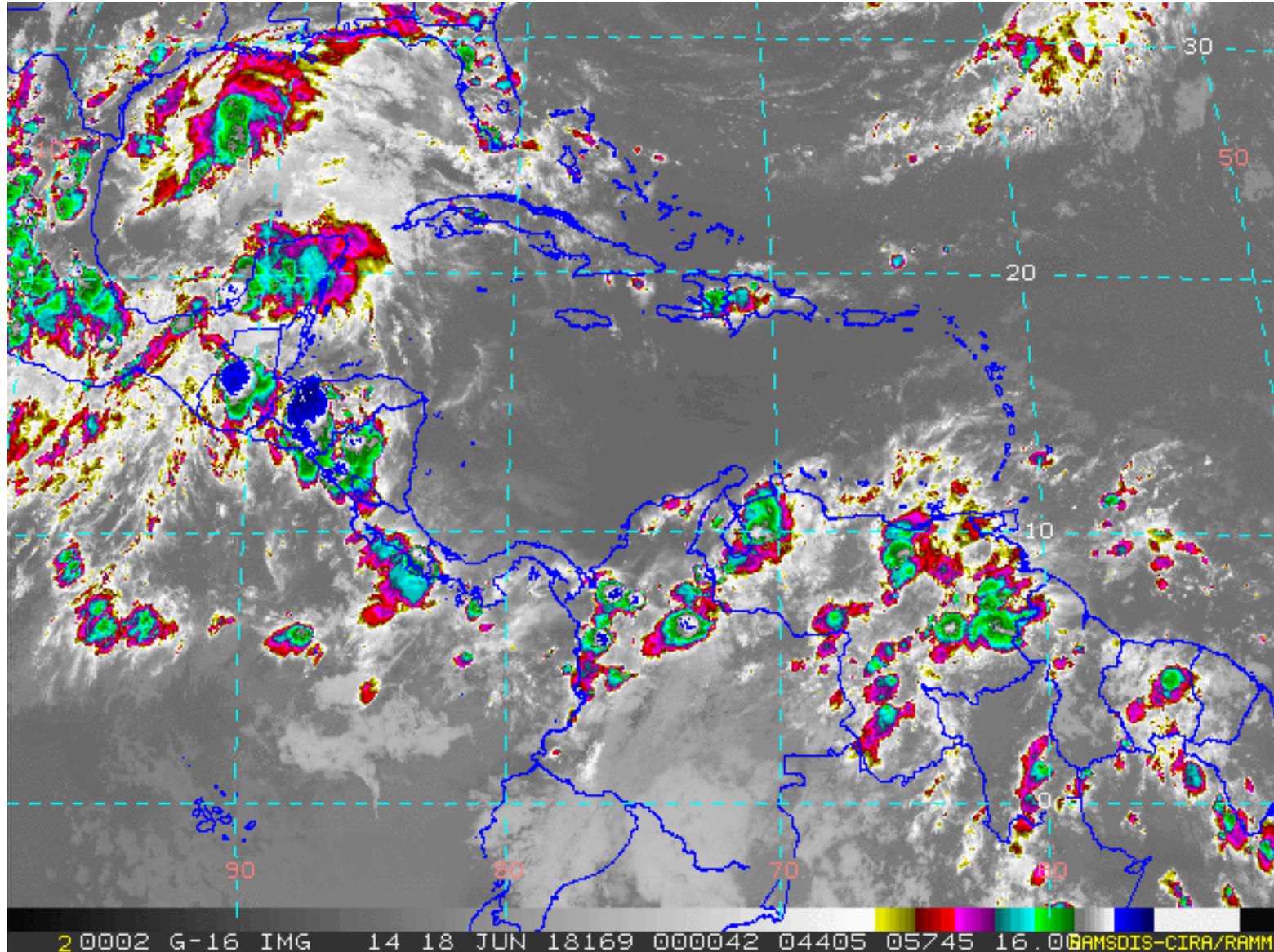
Interacción de una Onda del Este/Tropical con la Baja de Panamá



Al entrar la onda, la baja de Panamá se profundiza y la convección se intensifica.

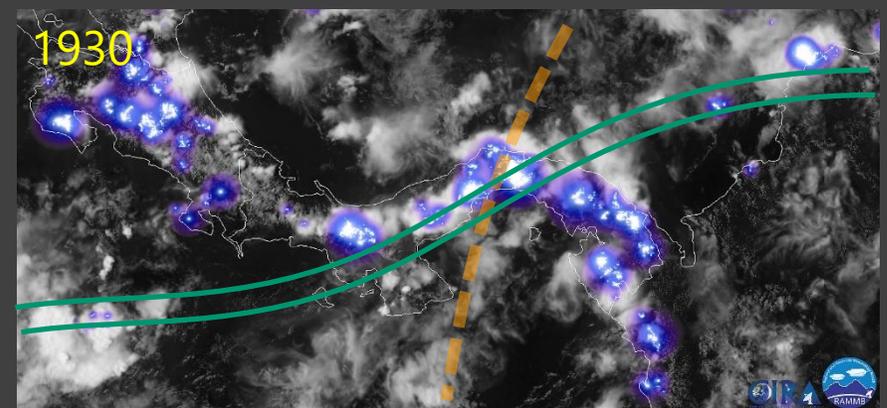
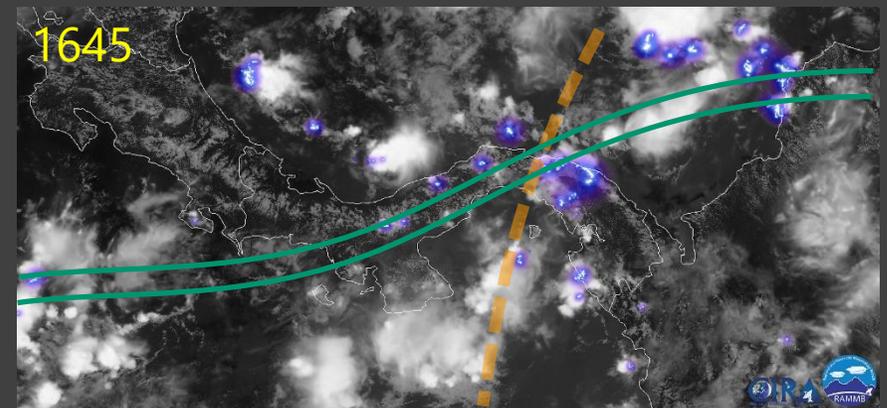
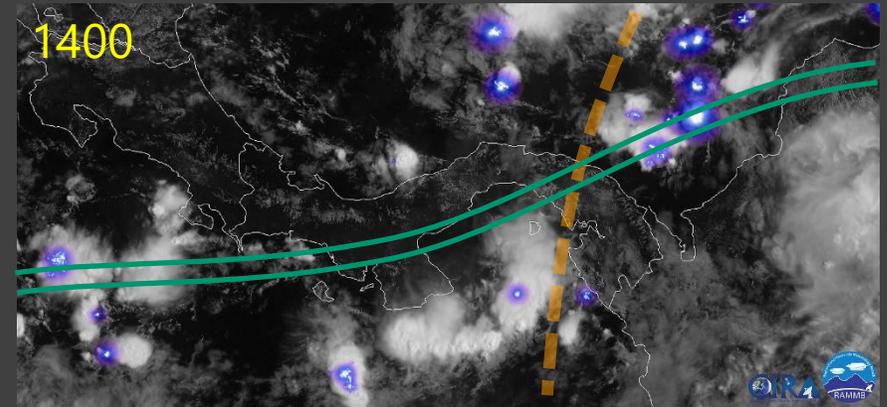
# IR (10.3um): 18-20 Junio, 2018

Dos ondas: Una cruzando Colombia y la otra entrando el este del Caribe.

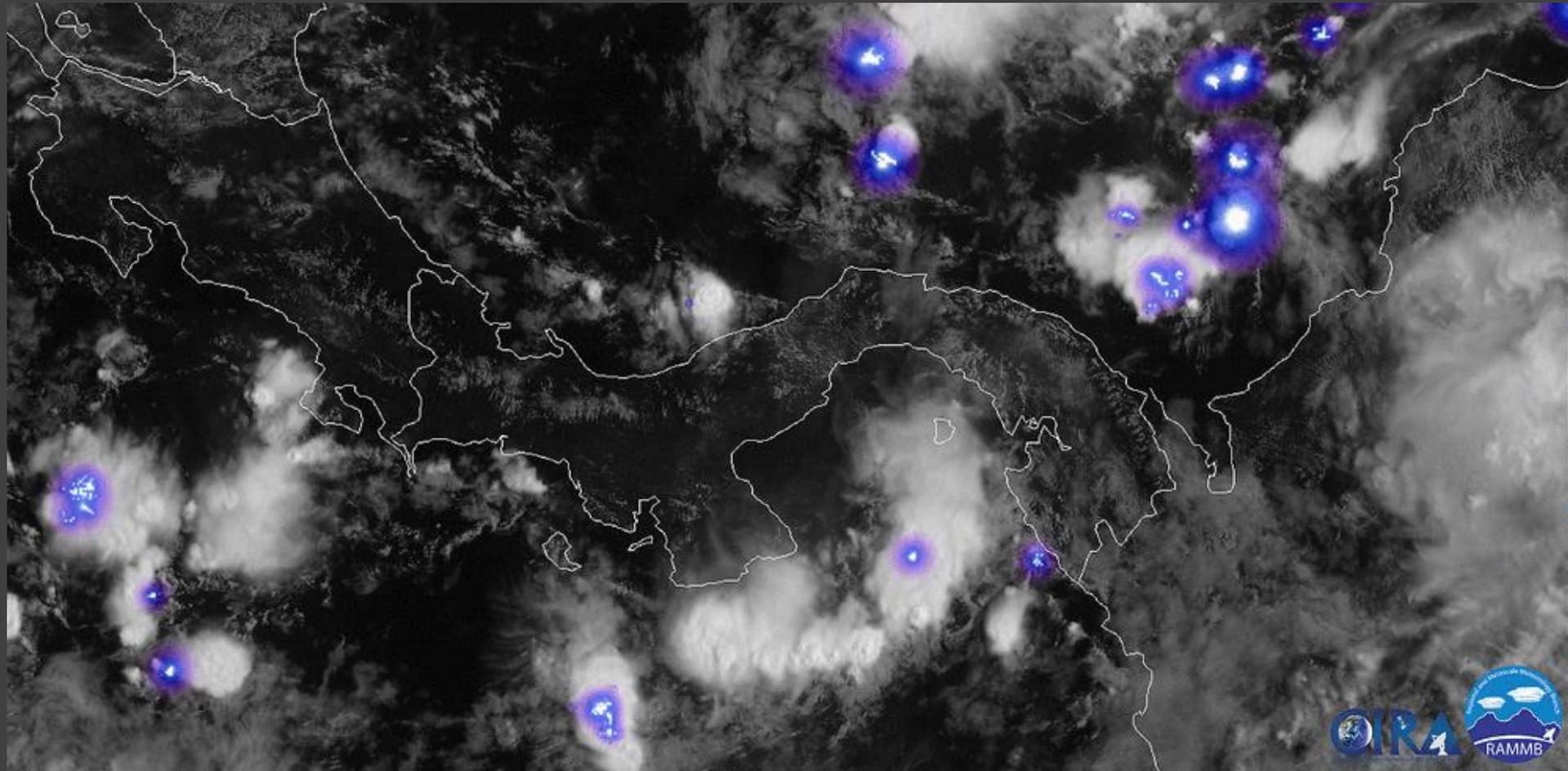


# Una Onda del Este intercepta la ZCIT y al entrar temprano en la tarde puede generar lluvias fuertes en Panamá.

- Vientos débiles en niveles bajos resaltan la convección.
- Esto ayuda a las brizas diurnas a provocar la convección, mientras la ZCIT y la onda favorecen un ambiente húmedo y resaltan la convergencia en niveles bajos, también la rotación y ascenso.



# Onda del Este y Convección en Panamá



Canal visible, cirrus y GLM –  
6/SET/2018 1400-1930 UTC

# 03

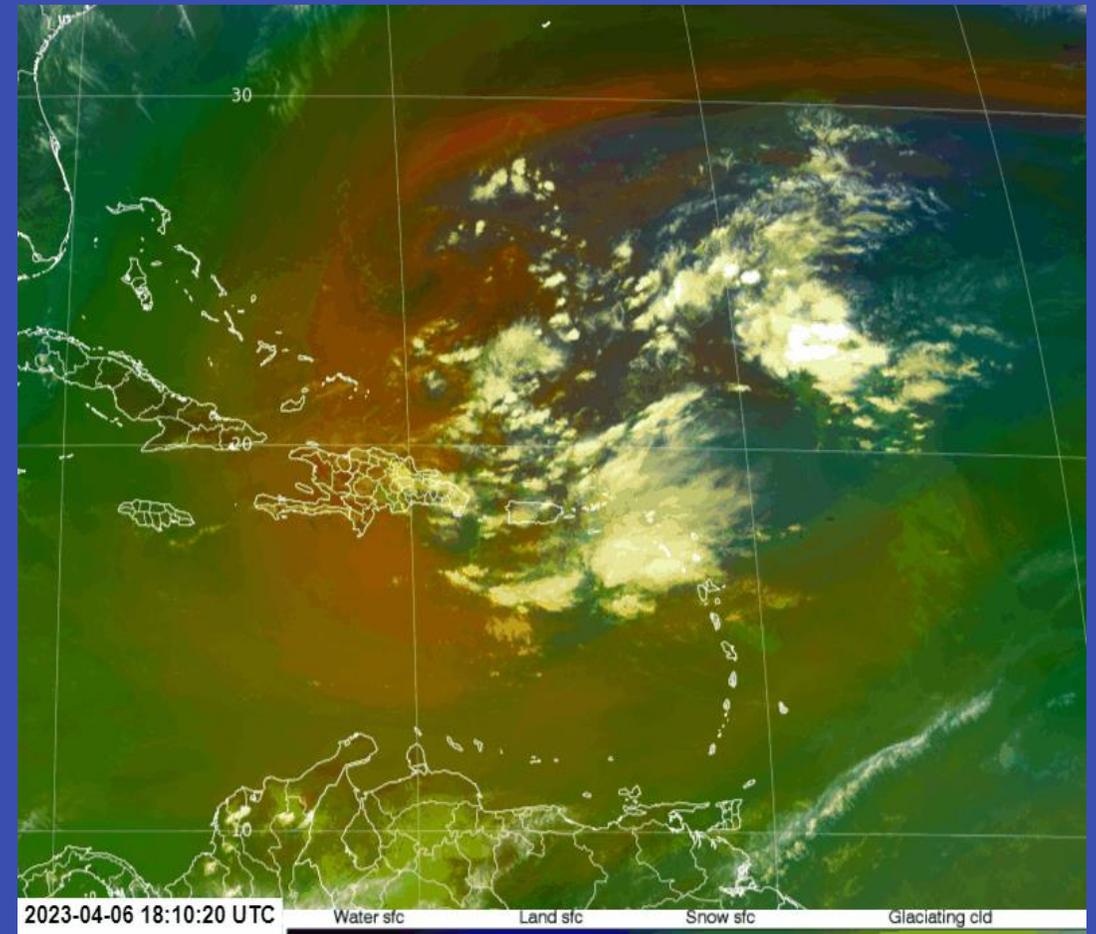
## Vaguada Tropical de La Troposfera Alta (TUTT, siglas en ingles)

# TUTT

Una vaguada en niveles medios-altos de la atmosfera que suele separar la dorsal subtropical de la dorsal subecuatorial.

**600/500 hPa para arriba.** Pueden retrogradar, moverse al oeste, por la periferia de la dorsal subtropical cuando se encuentra al oeste y norte.

Estacionalidad: mas frecuentes en Mayo-Septiembre.



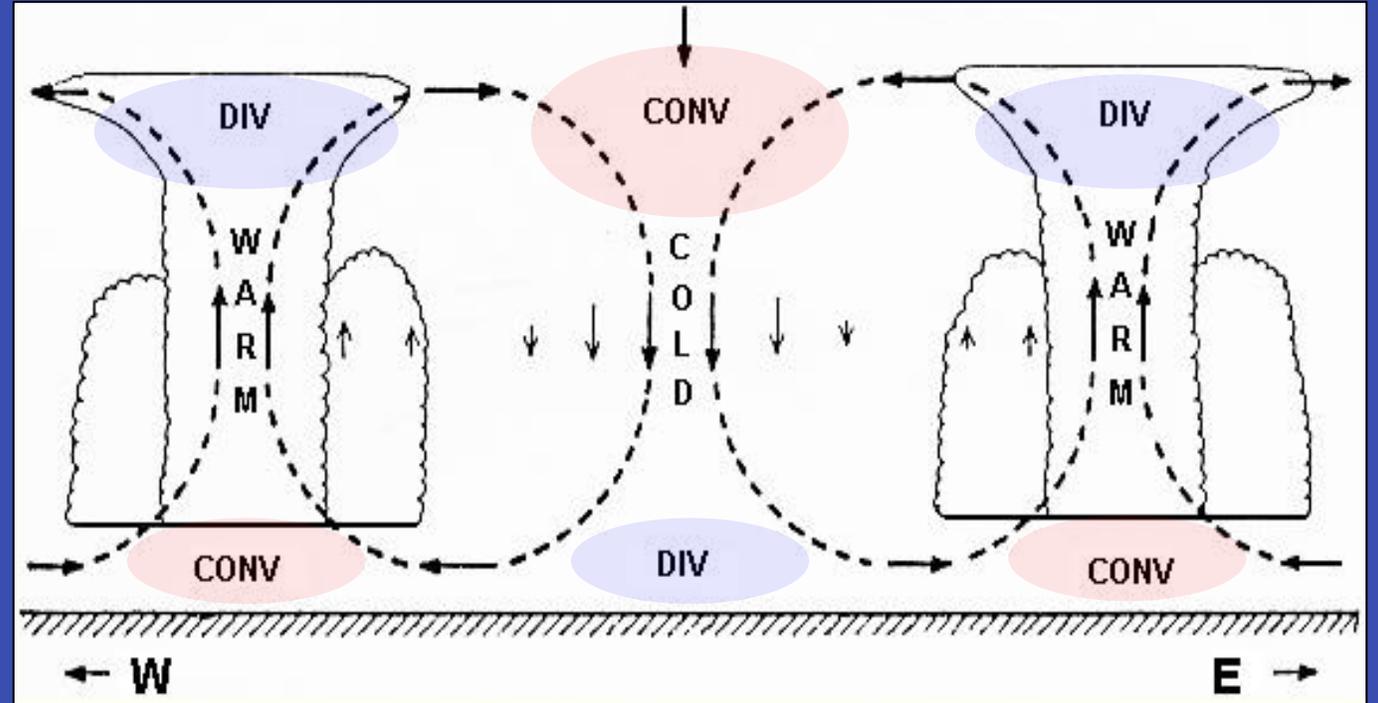
# Características de las TUTT

**Sistema de núcleo frío** (centro más frío que su entorno).

**Circulación:** La vorticidad ciclónica se fortalece con la altura.

La rotación ciclónica máxima se encuentra cerca de la tropopausa.

**Fuente de Energía :** energía potencial.  
Energía potencial a energía cinética.  
Requiere entrada de aire frío para mantenerse, sino se disipa.

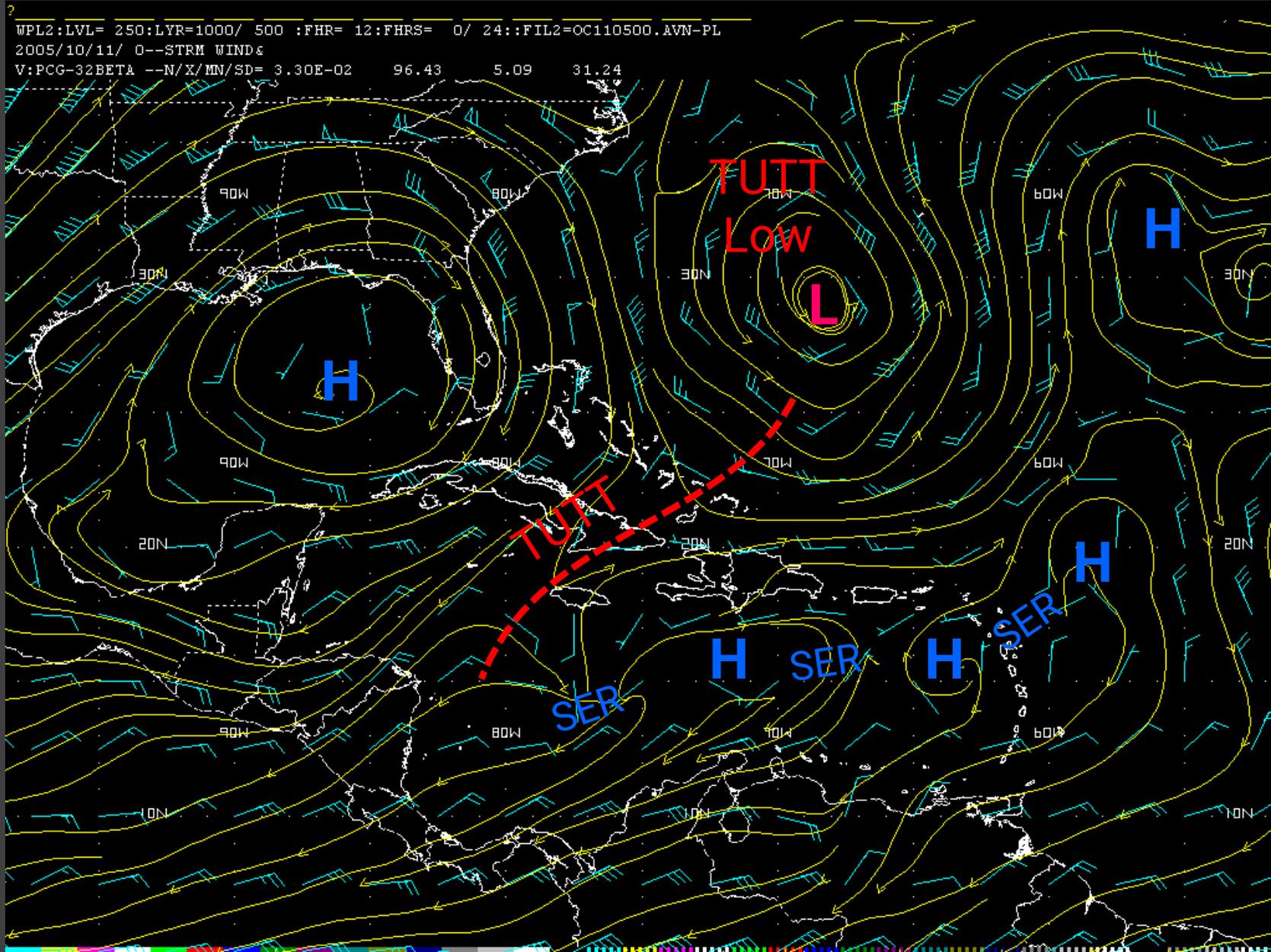


Sección transversal TUTT

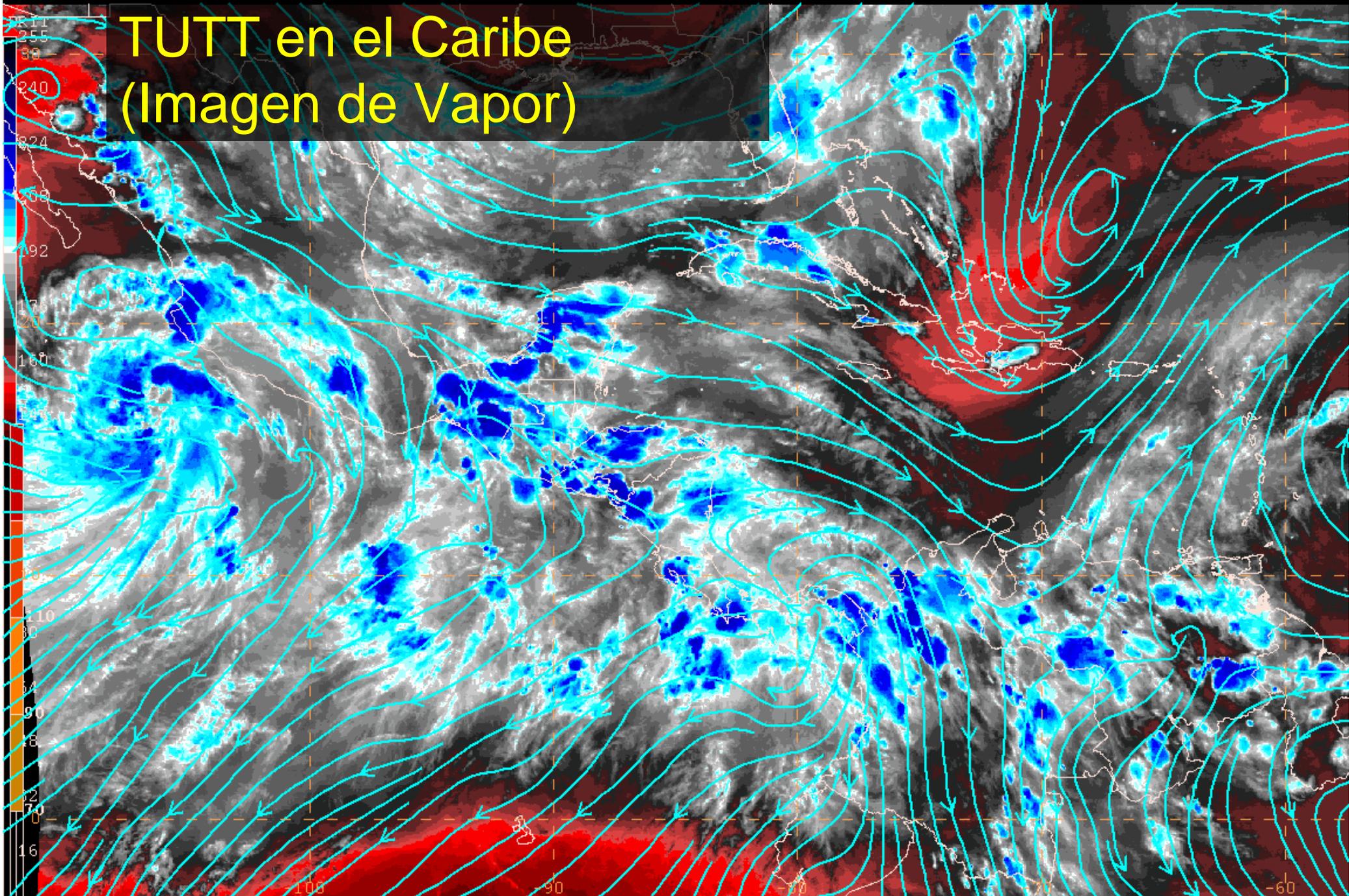
# TUTT Impactos

- Formación de complejos nubosos dependen de calor y humedad disponible:
  - Los sistemas de nubes más significantes tienden a formarse al sur del eje de la vaguada.
- Función principal : crear canales de ventilación de convección profunda.
- La localización/orientación de la TUTT tiene un papel importante en la formación de tormentas tropicales y huracanes en el Caribe/Atlantico, comenzando como ciclones subtropicales.
- Interacción con la ZCIT
  - Puede inducir modulación hacia el norte
  - Puede inducir perturbaciones/vaguadas invertidas por la zona de convergencia
- Provocar Tiempo Severo e Inundaciones

# Análisis del GFS de una TUTT

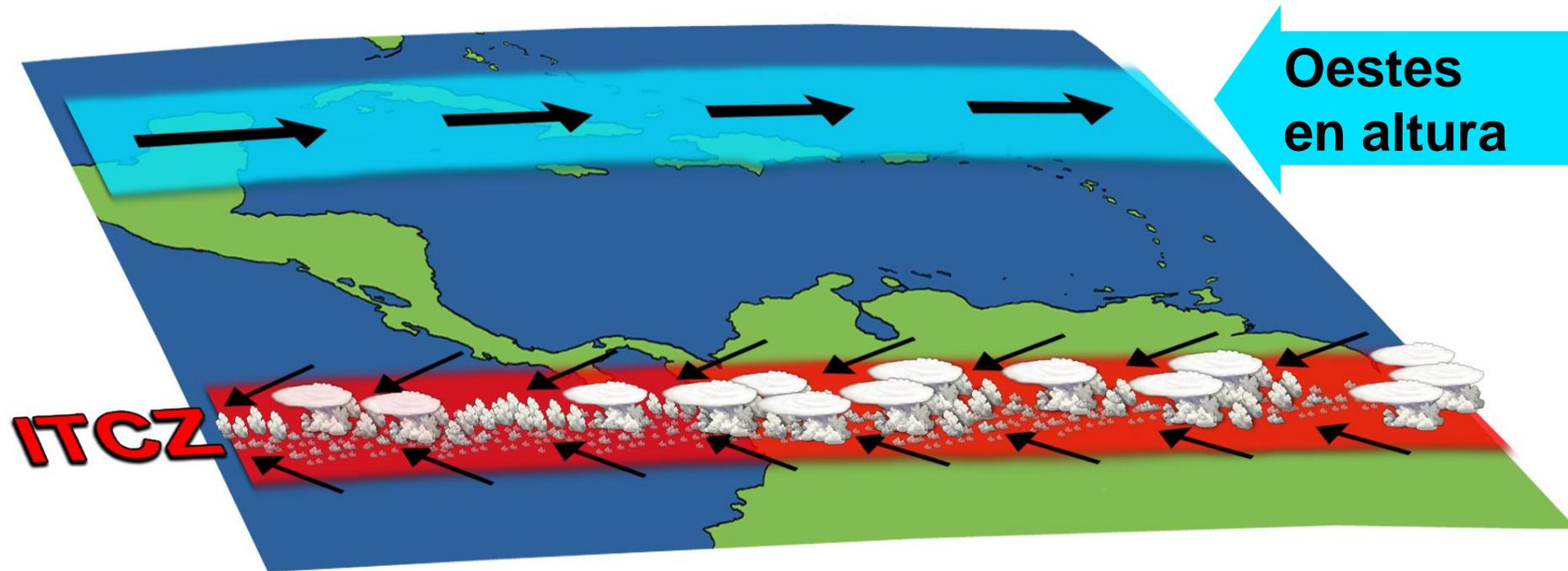


# TUTT en el Caribe (Imagen de Vapor)



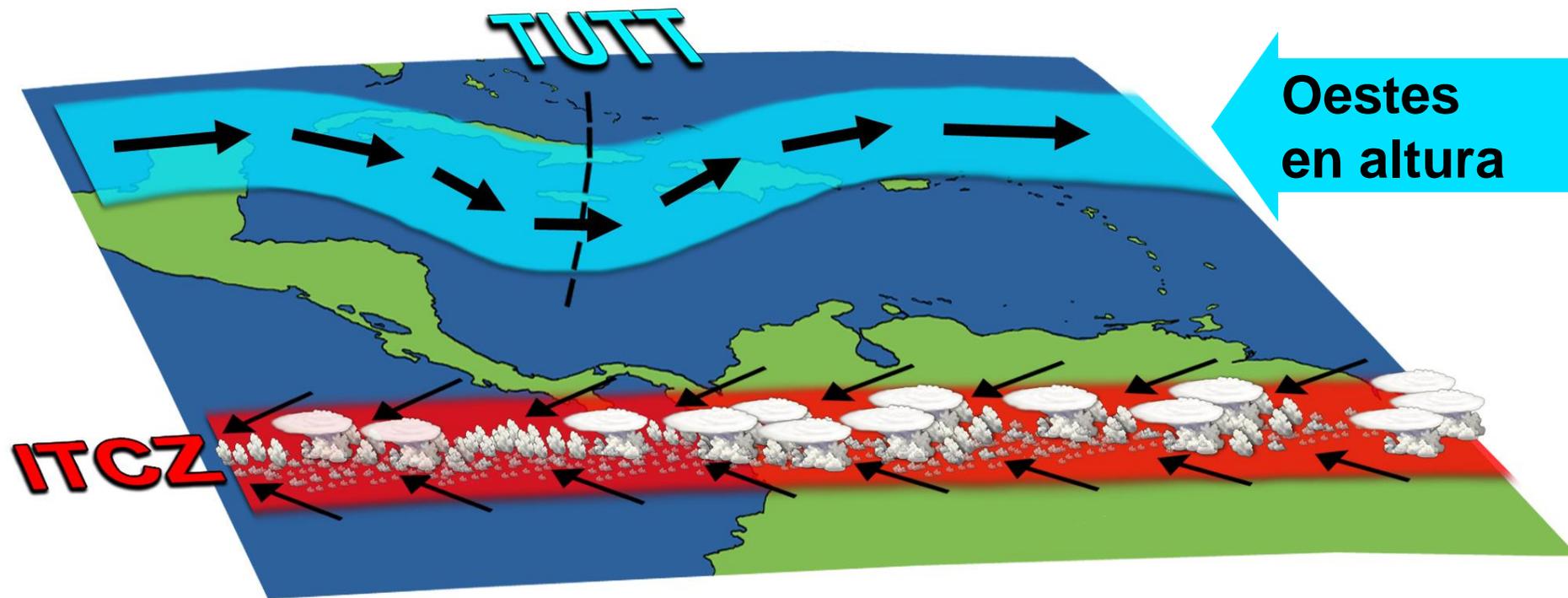
# Génesis de vaguada inducida por una TUTT

## (1) Comienza con flujo zonal



# Génesis de vaguada inducida por una TUTT

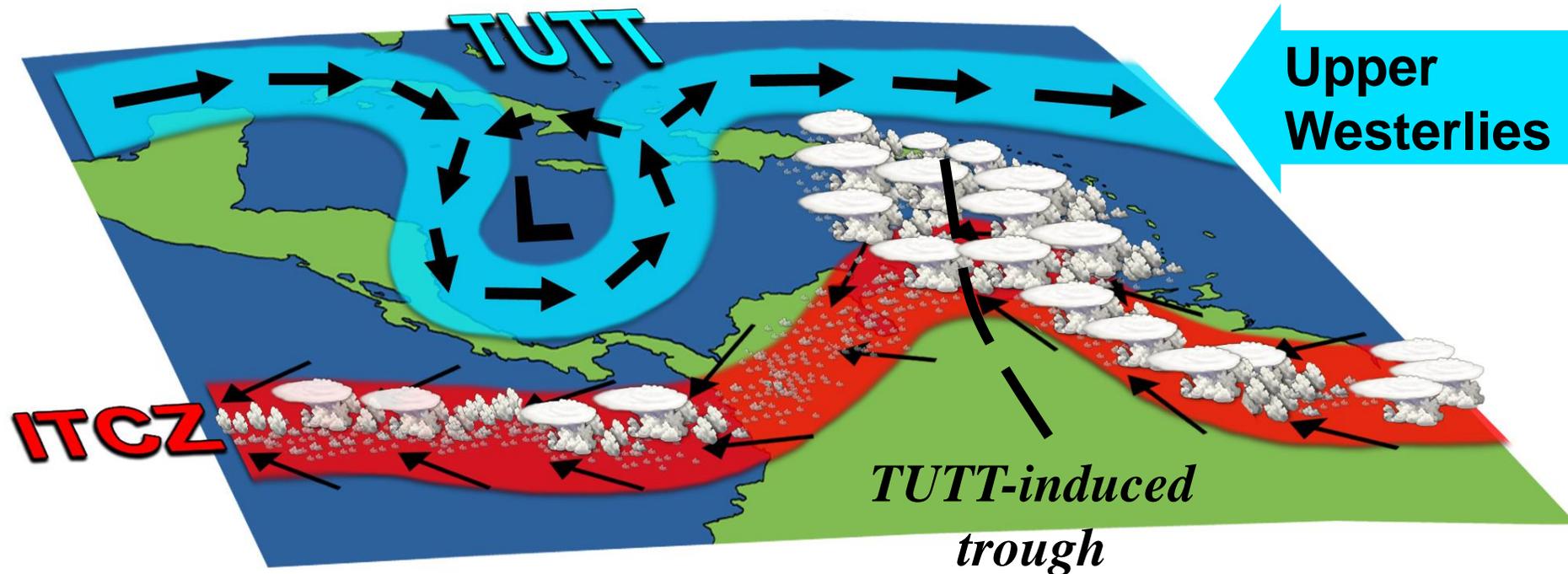
(2) Perturbacion se forma en el flujo superior de oestes



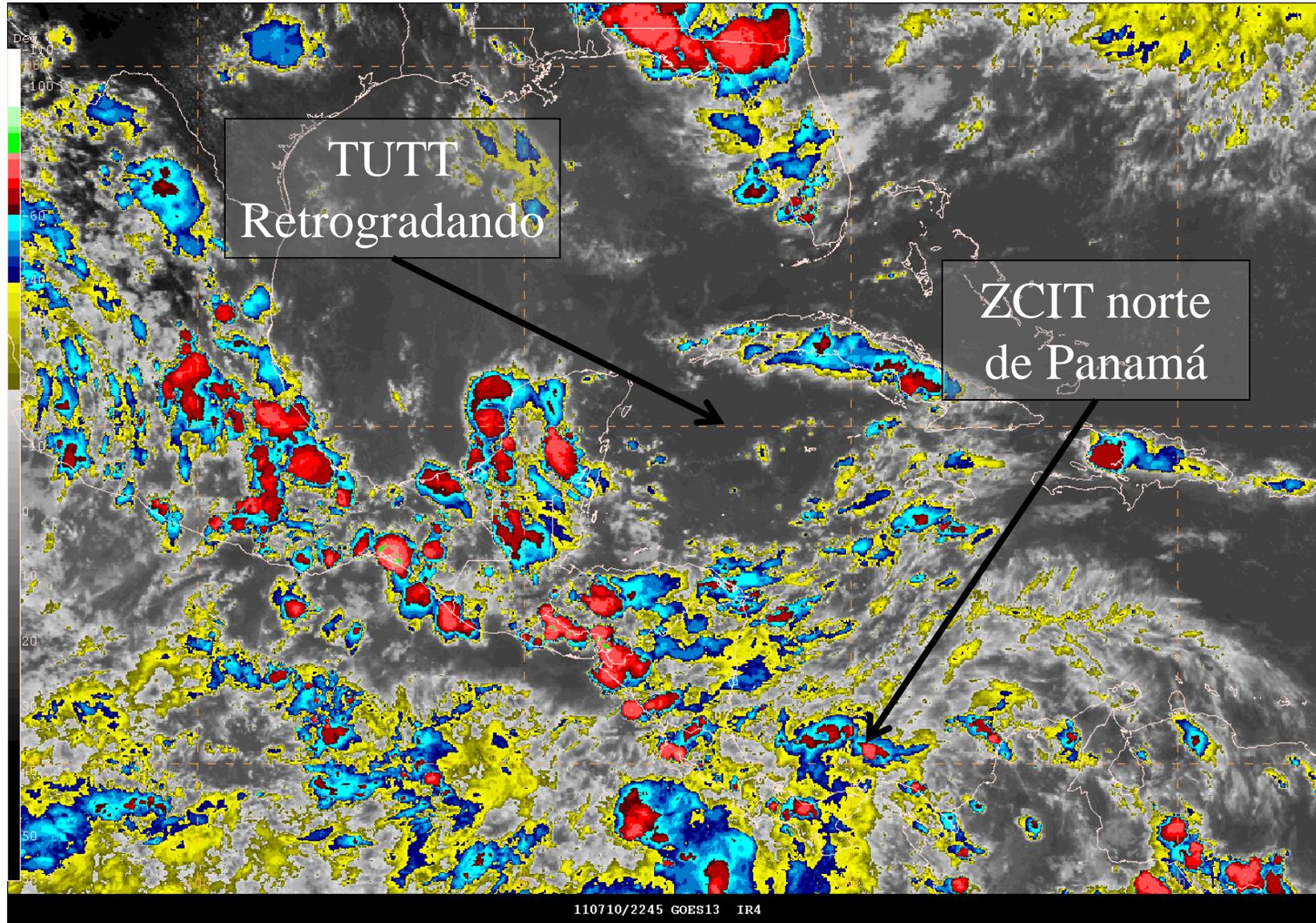
# Génesis de vaguada inducida por una TUTT

## (3) Flujo a niveles bajo responde al forzante en altura.

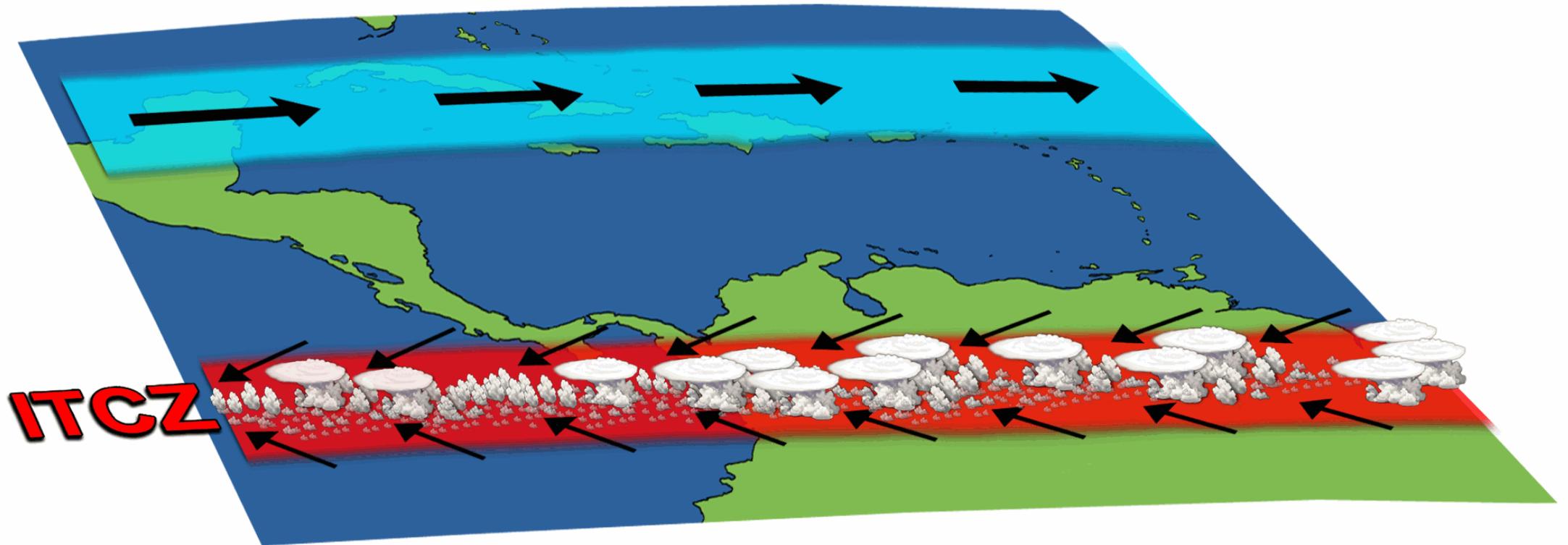
- TUTT induce caídas de geopotencial a niveles bajos.
- Incluye la modulación de la ZCIT hacia el norte
- Se forma la "V" Invertida, flujos similares a los de onda tropical



# Modulación de la ZCIT por TUTT

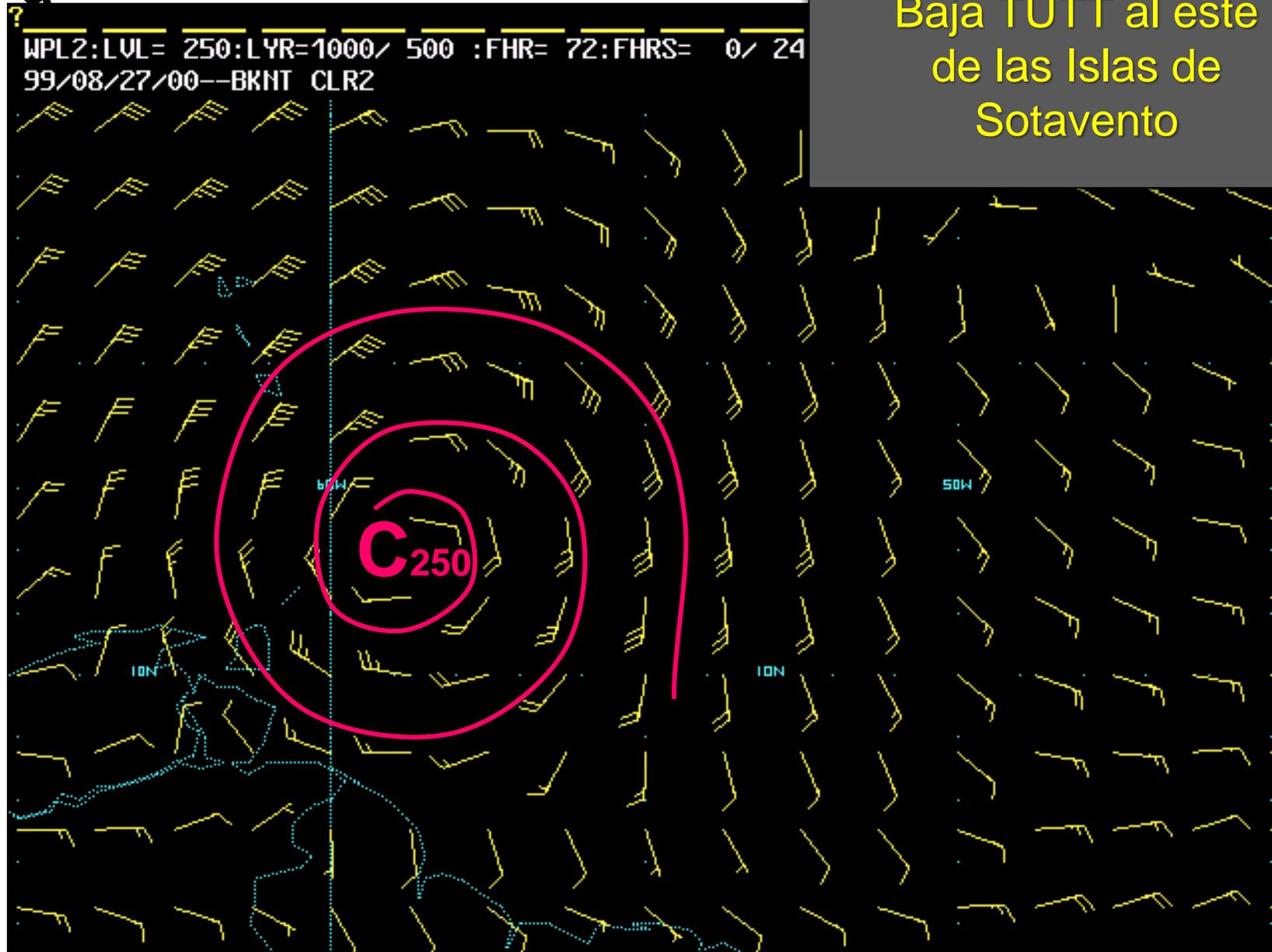


# Animación: Vaguada Inducida y Modulación de la ZCIT

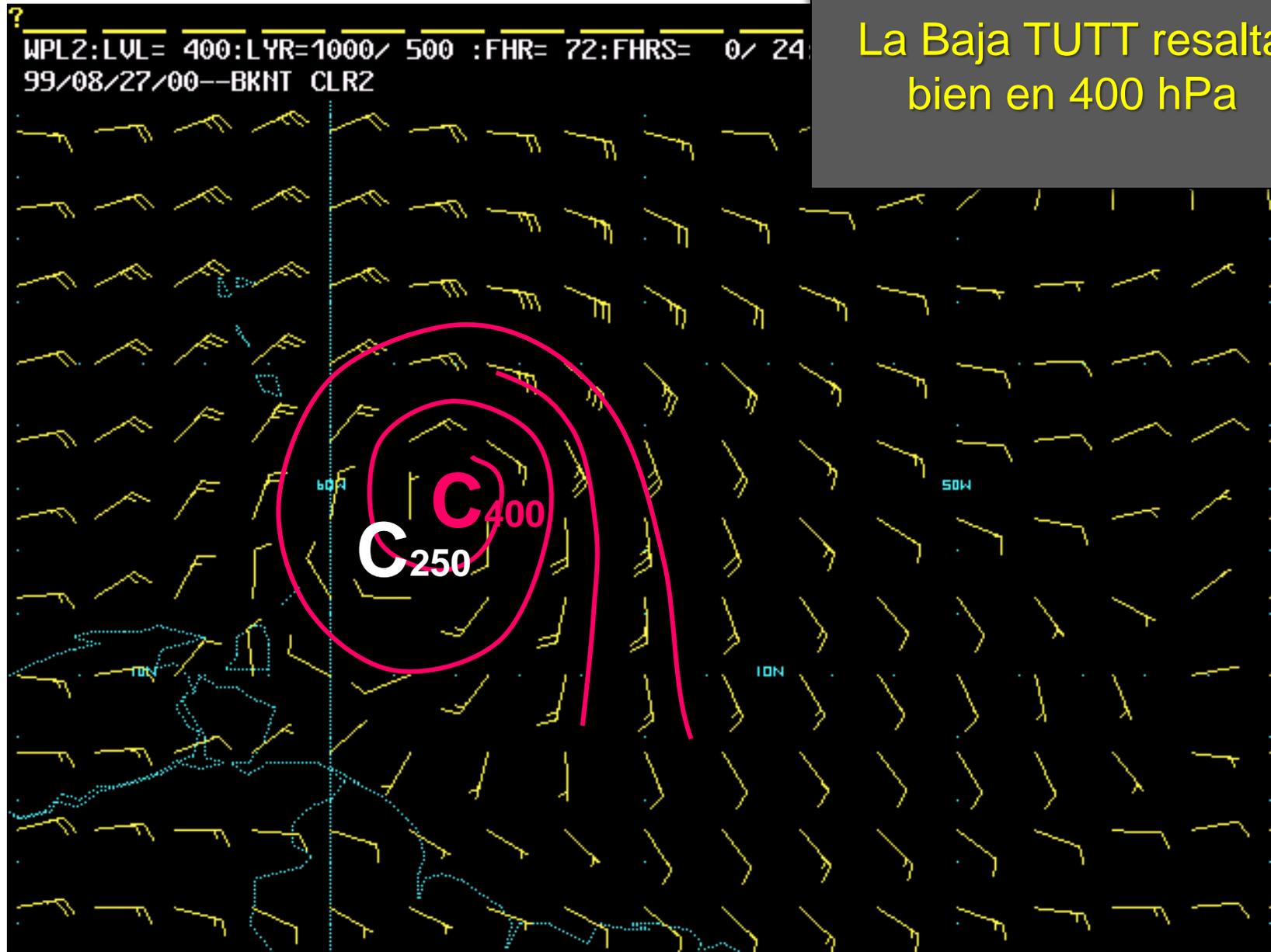


# Baja TUTT en 250

hPa

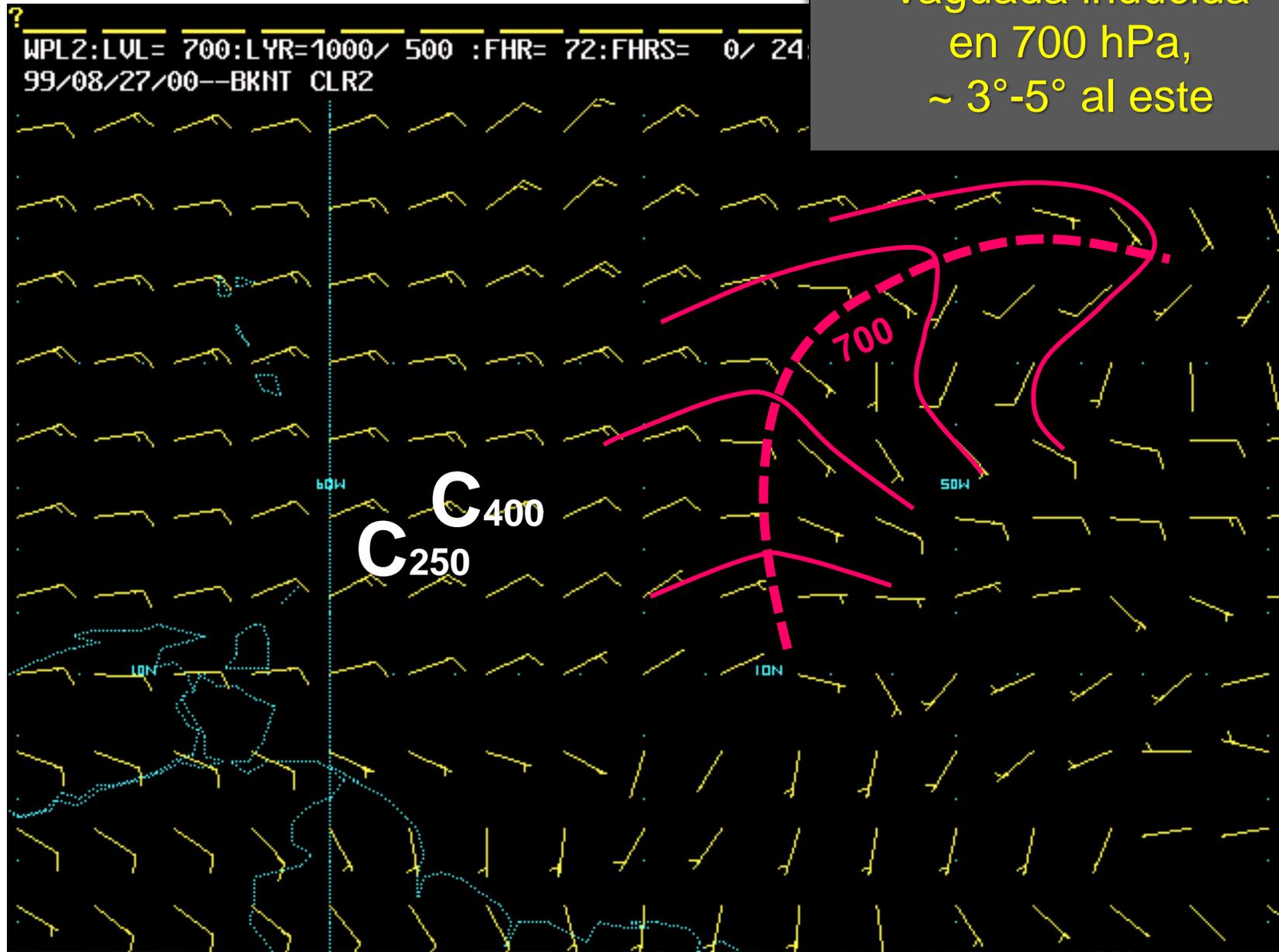


# Baja TUTT en 400 hPa



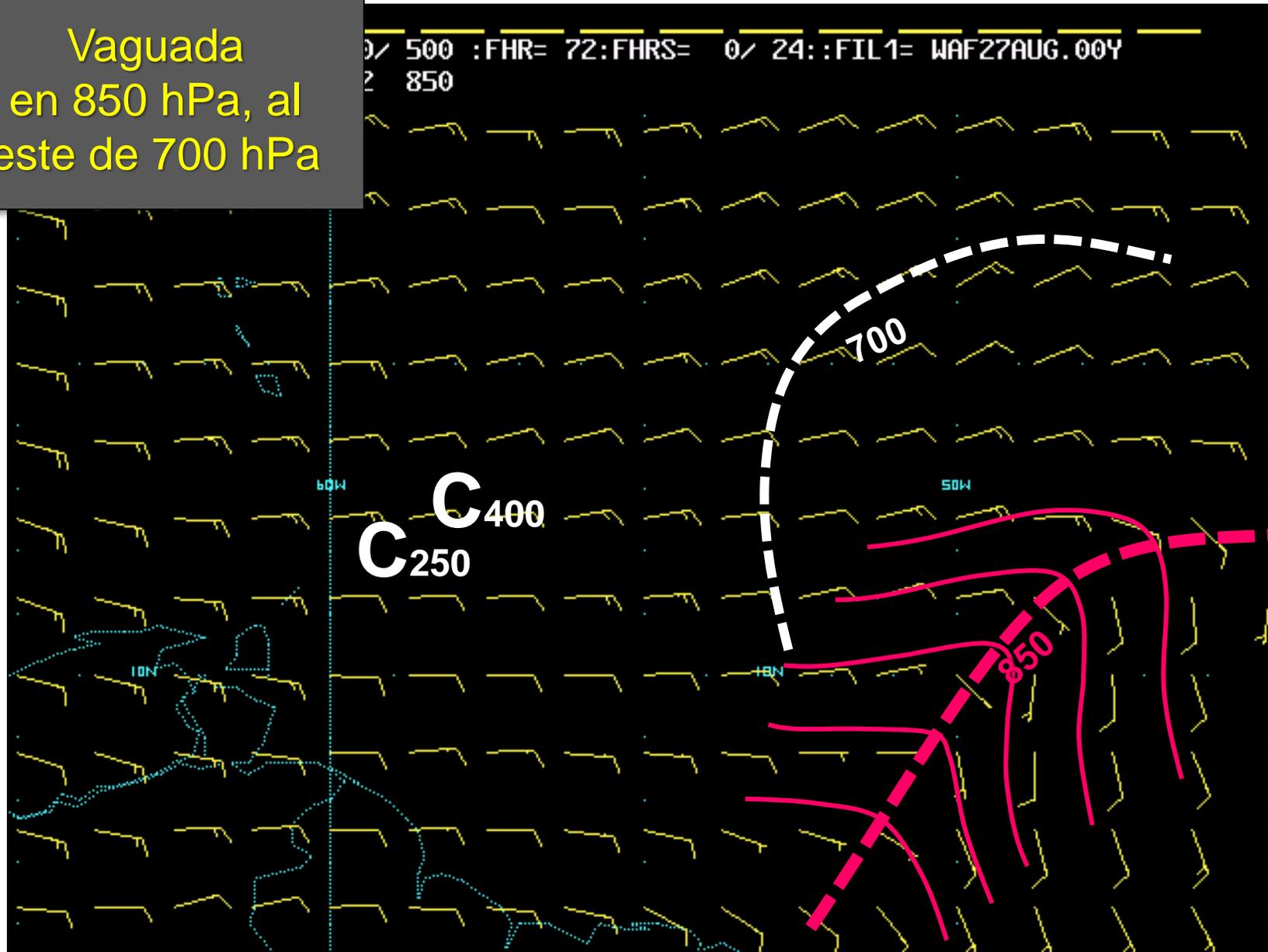
# Vaguada abierta en 700 hPa

Vaguada inducida  
en 700 hPa,  
~ 3°-5° al este

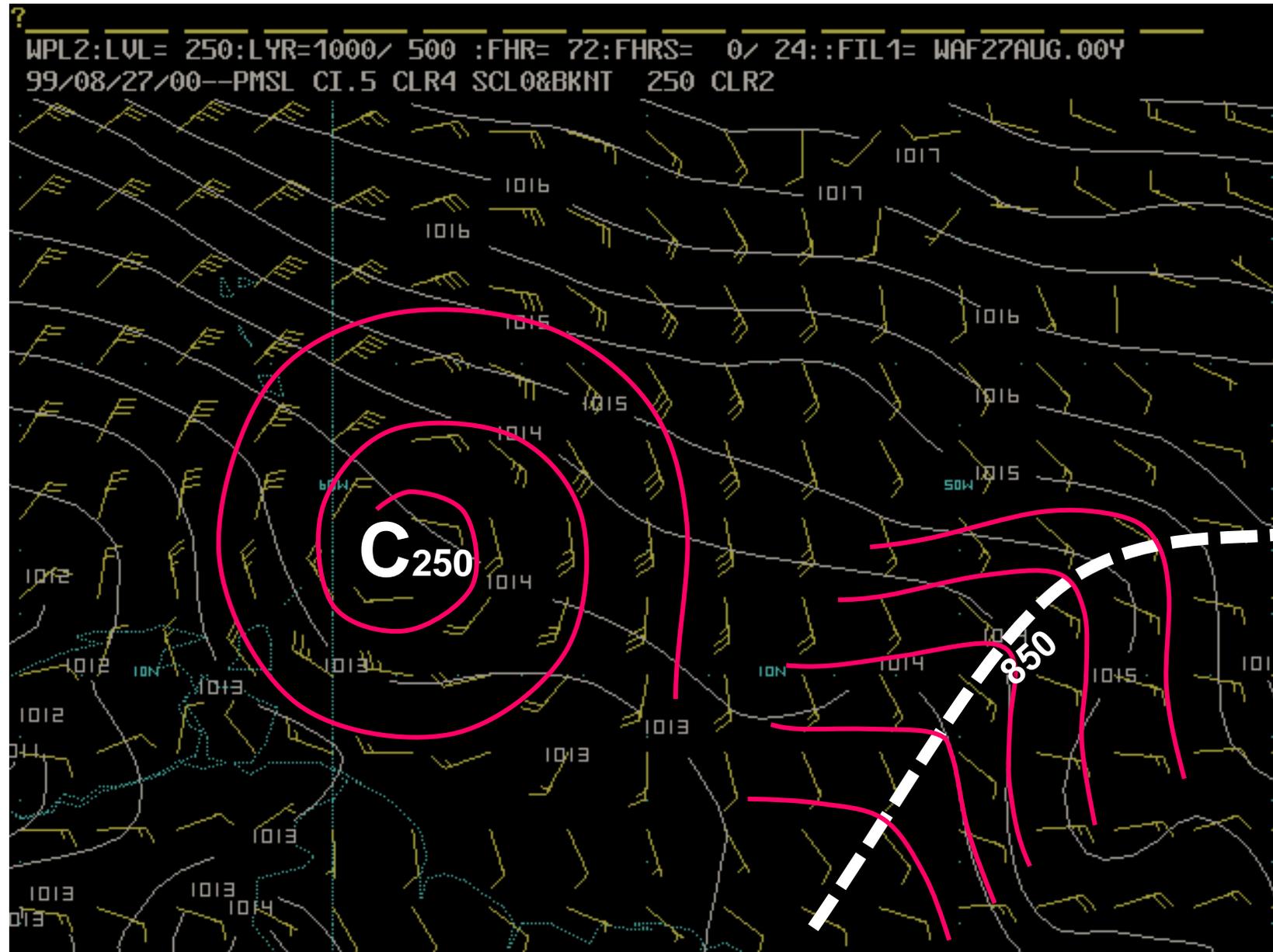


# Vaguada invertida inducida en 850 hPa

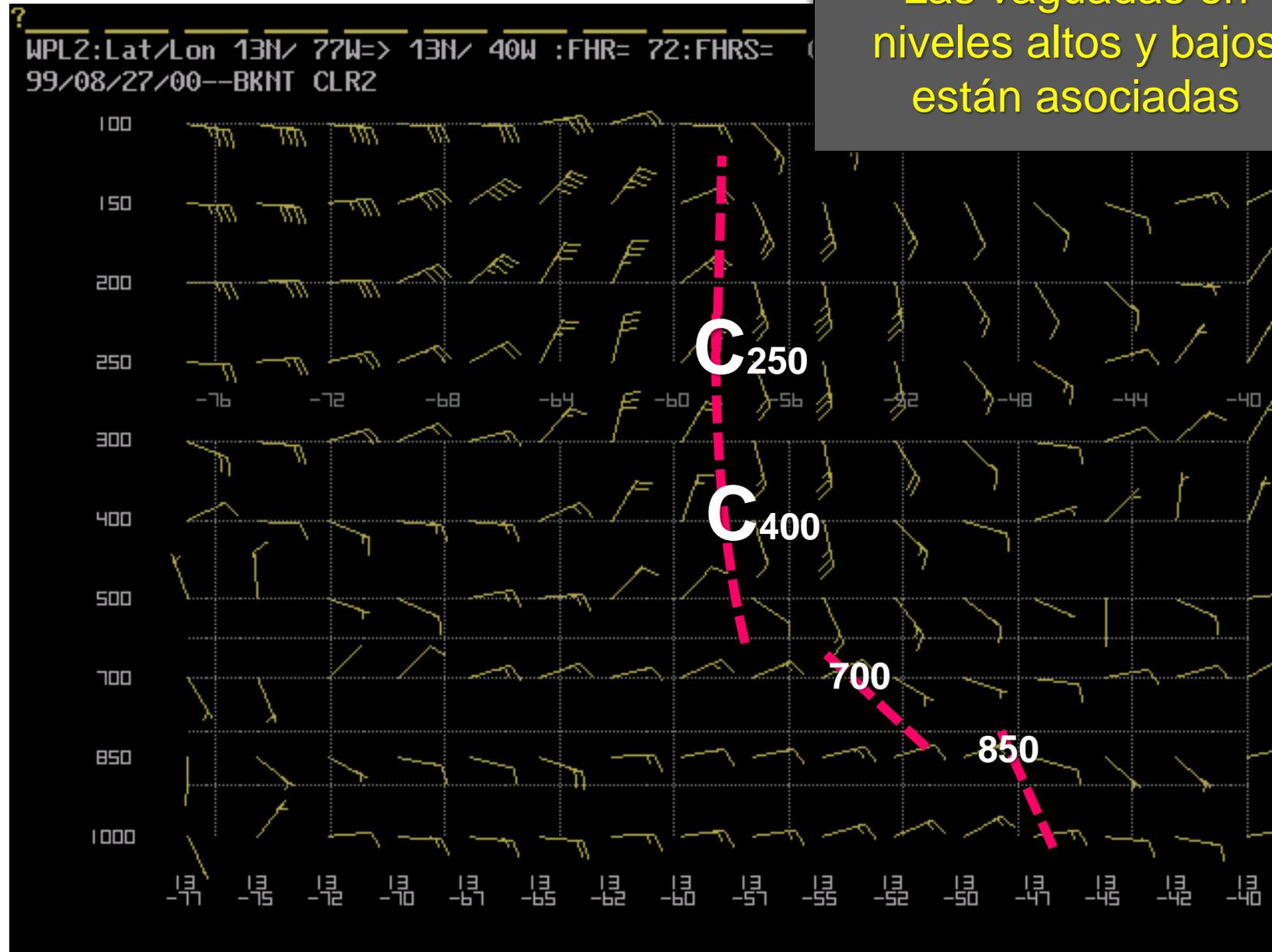
Vaguada  
en 850 hPa, al  
este de 700 hPa



# TUTT en 250 hPa y Vaguada en Capas Bajas

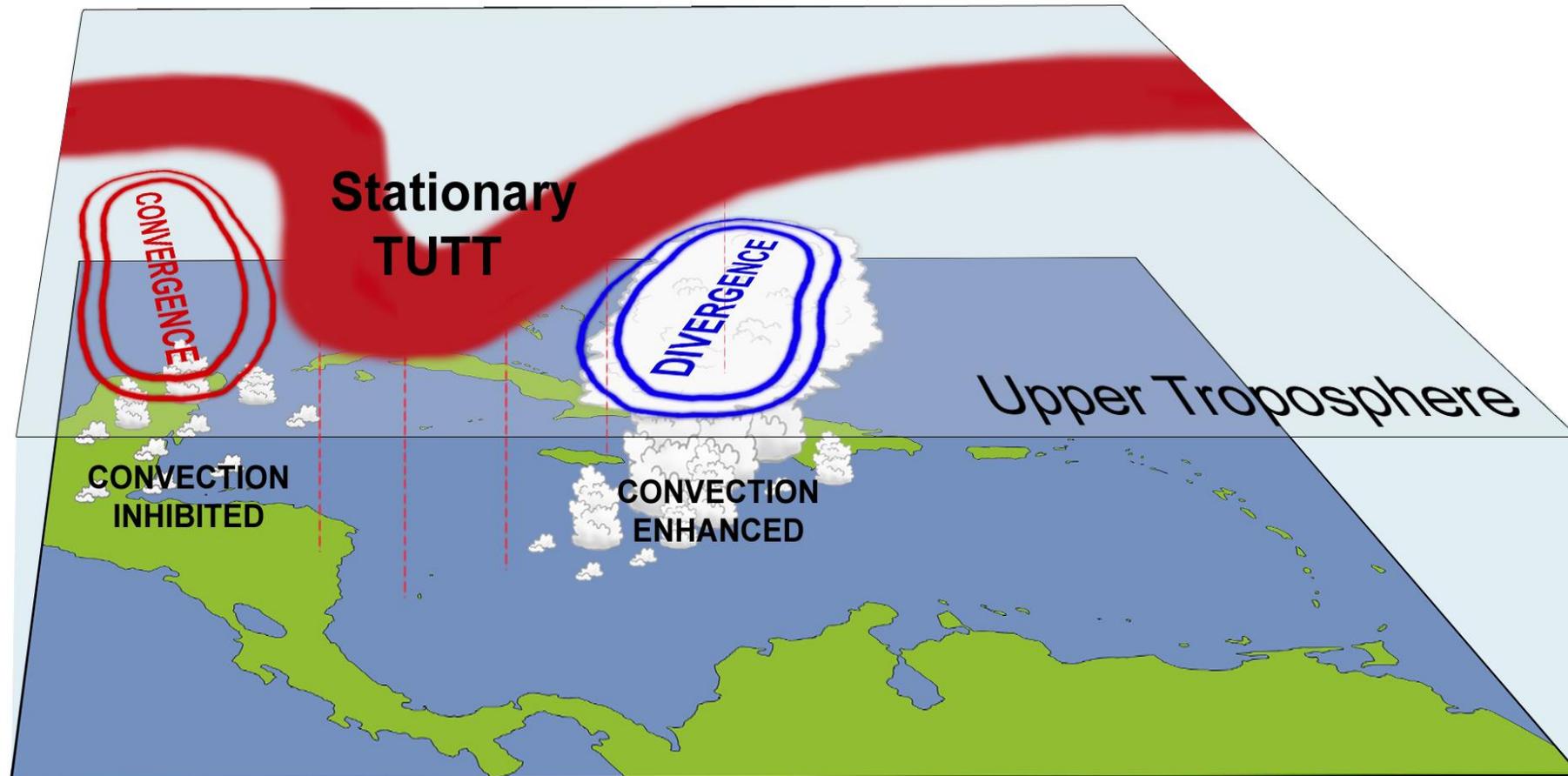


# Corte transversal vertical



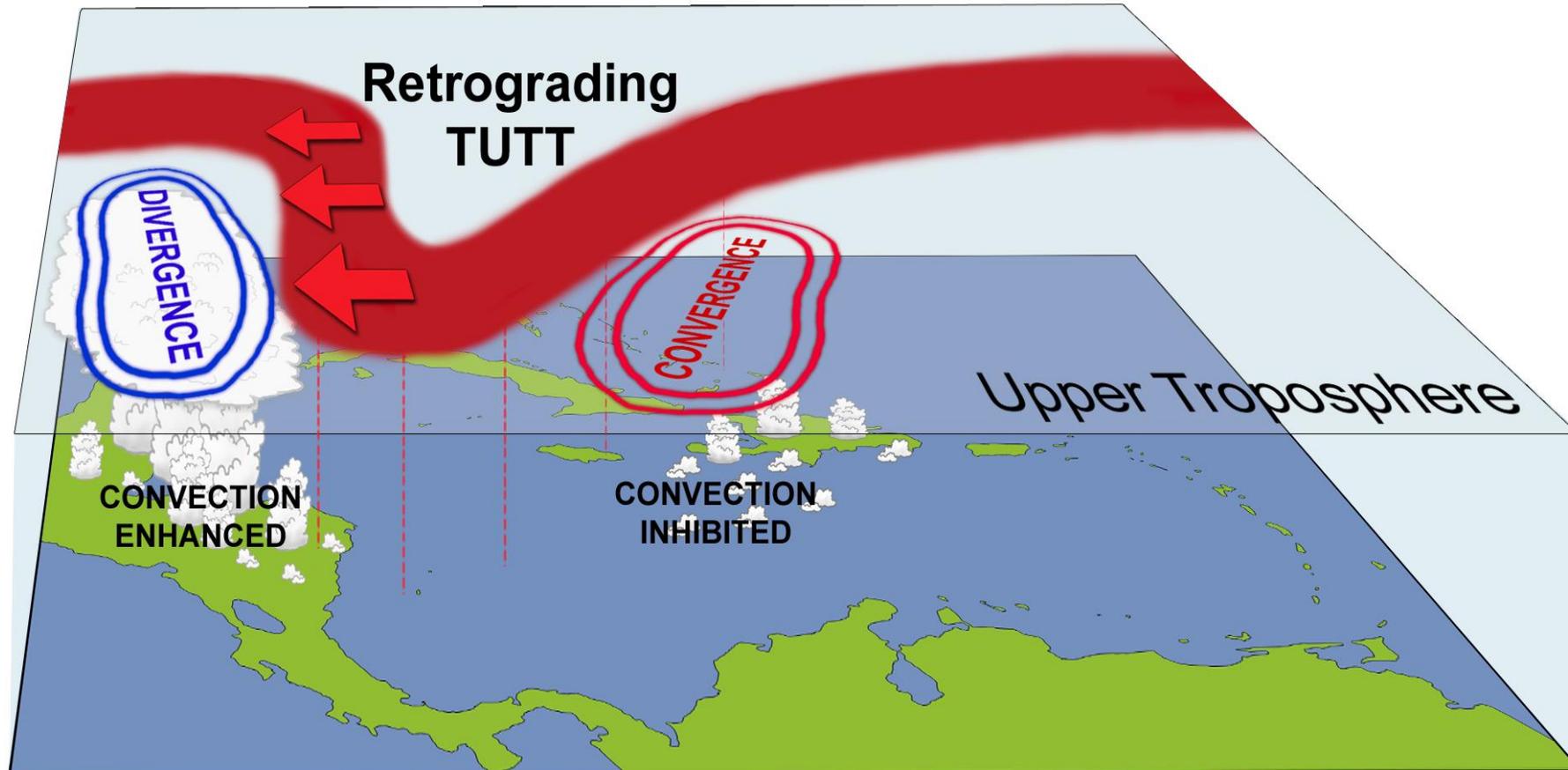
# TUTT Estacionaria

- En una vaguada con el eje inclinado en una posición neutral a positiva, la mejor divergencia se encuentra al este del eje de la vaguada.
- Convergencia en altura se encuentra al oeste del eje de la vaguada.
- Algunas áreas de convergencia en altura a lo largo del eje.



# TUTT que Retrograda

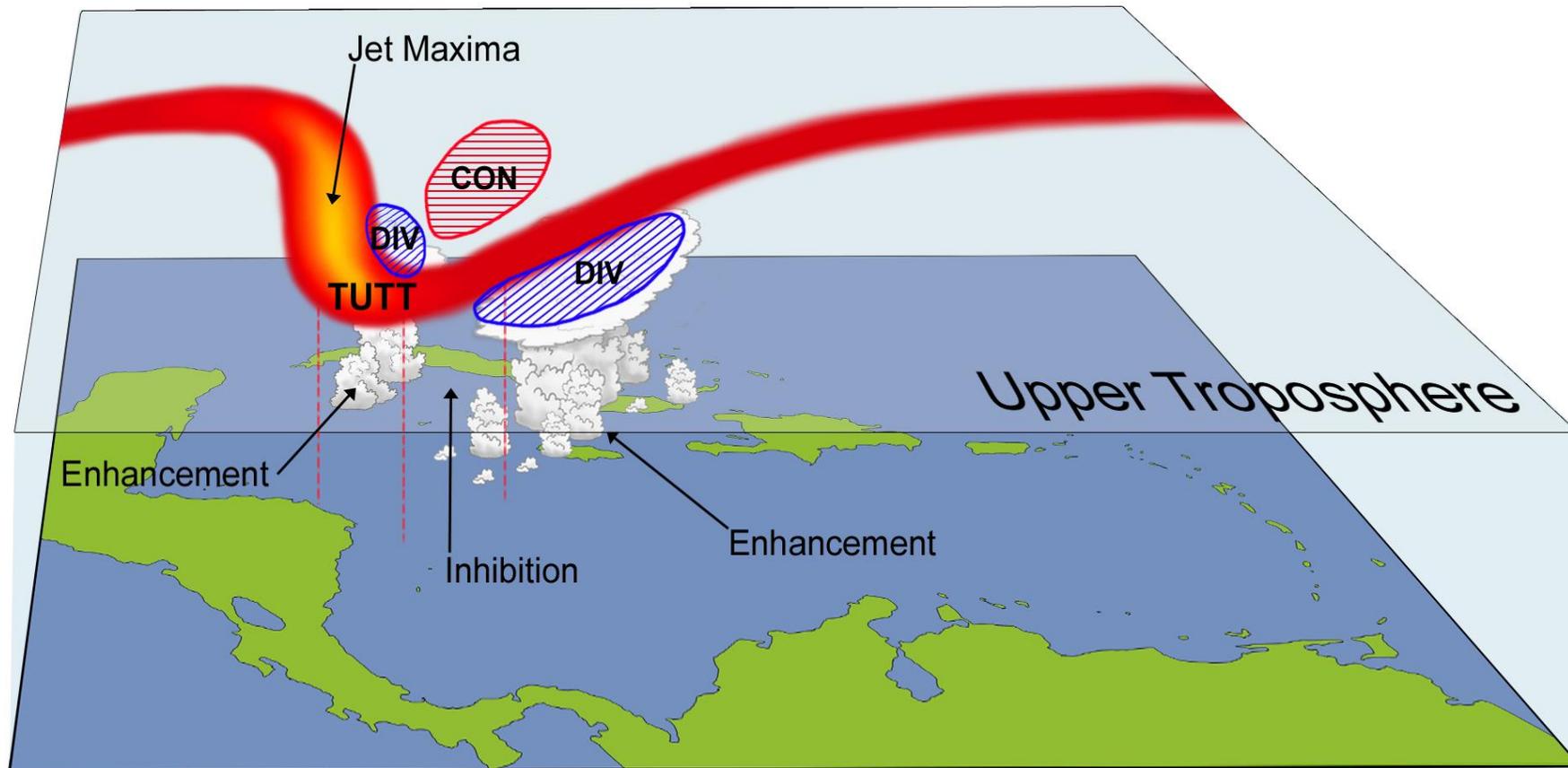
- En una vaguada con el eje inclinado negativamente, la mejor divergencia en altura se encuentra al oeste del eje.
- Convergencia en altura se encuentra al este del eje principal.
- Algunas áreas de convergencia en altura a lo largo del eje.



# Chorro Rotando Alrededor de la TUTT

## Máxima de flujo arriba de chorro (al oeste)

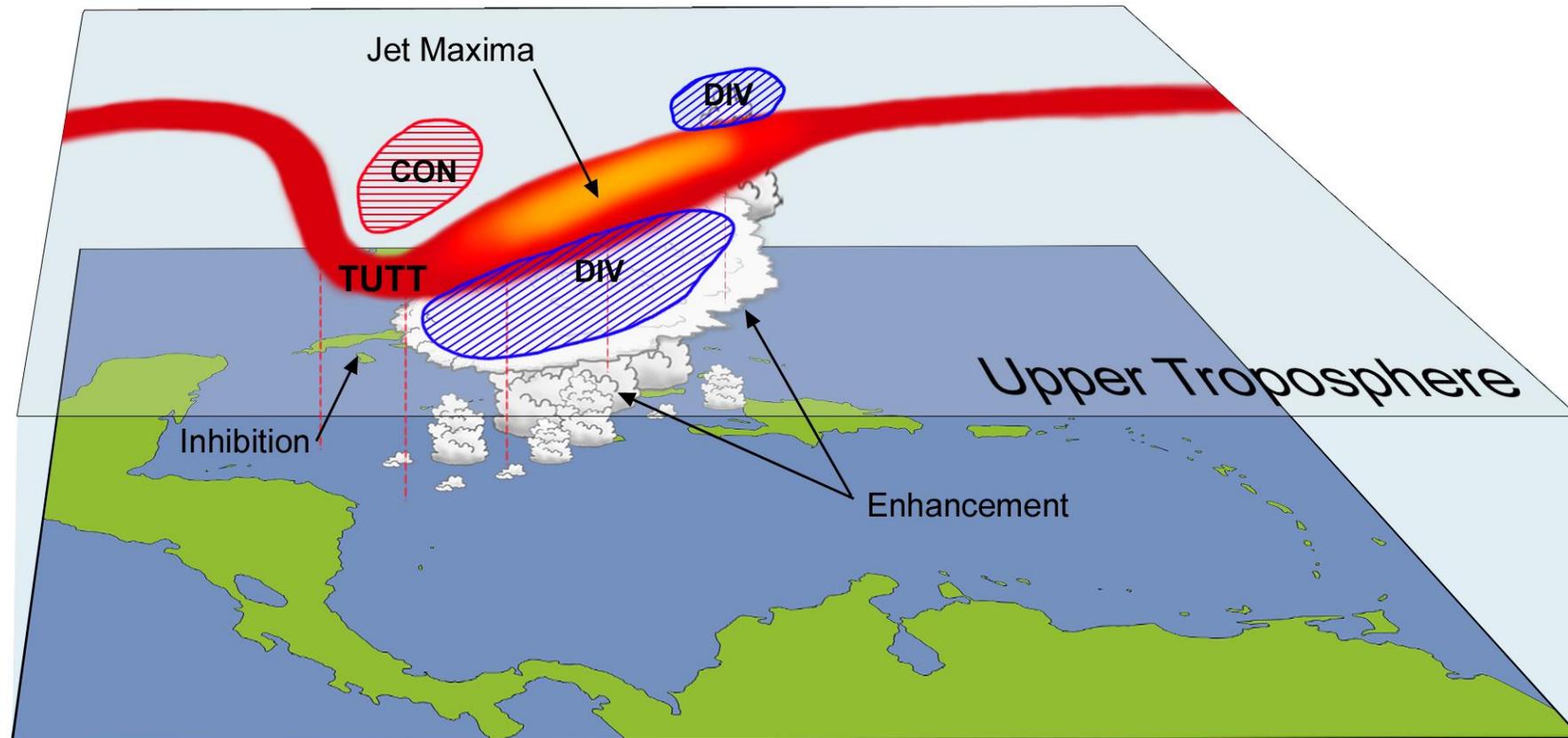
- Mejor divergencia en altura al sureste de la TUTT.
- Áreas de divergencia en altura en la salida izquierda del chorro.
- Convergencia en altura a lo largo del eje de la TUTT.



# Chorro Rotando Alrededor de la TUTT

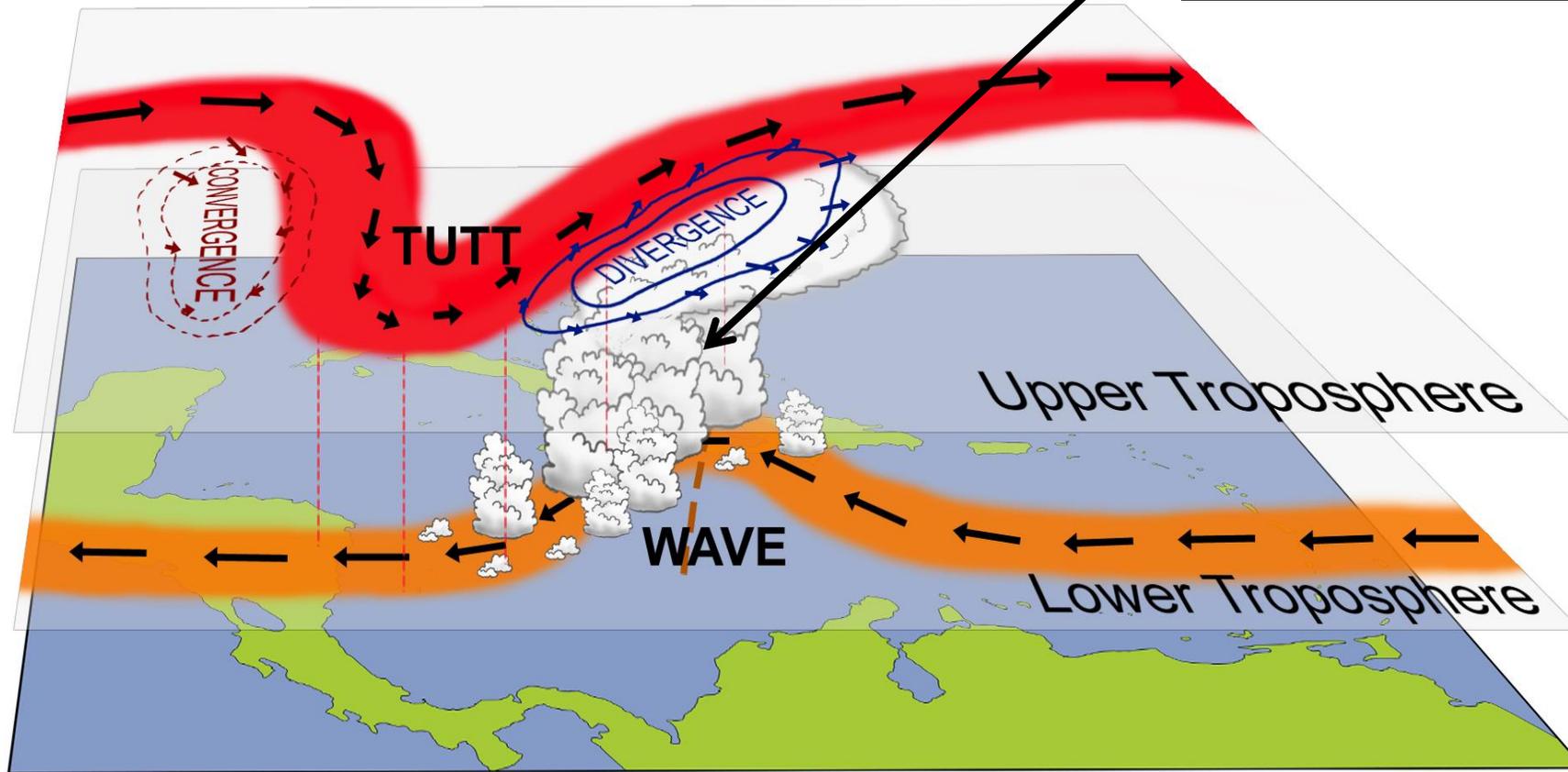
## Máxima flujo abajo del chorro (al este)

- Divergencia en altura **exacerbada** al sureste de la TUTT.
- Algunas áreas de divergencia en altura en la salida izquierda del chorro.
- Convergencia en altura a lo largo del eje de la TUTT.

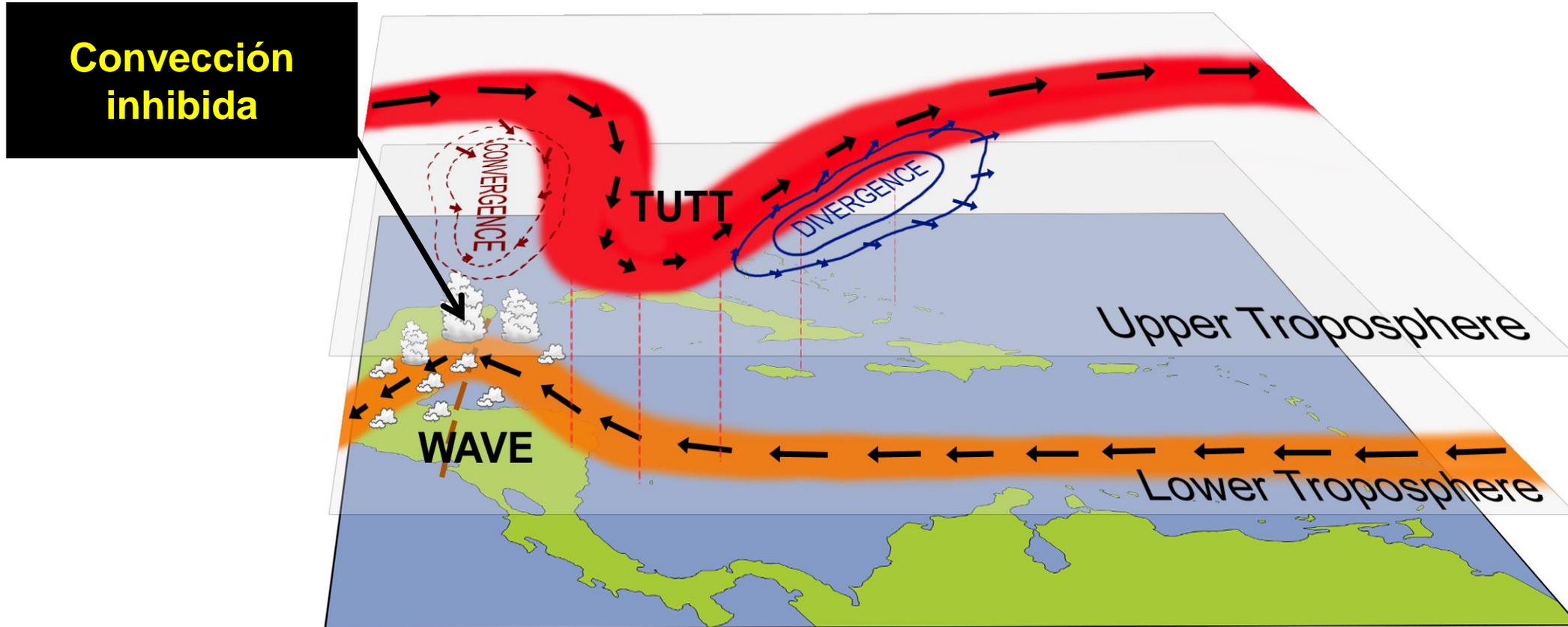


# Interacción Positiva

Convección  
resaltada



# Interacción Negativa

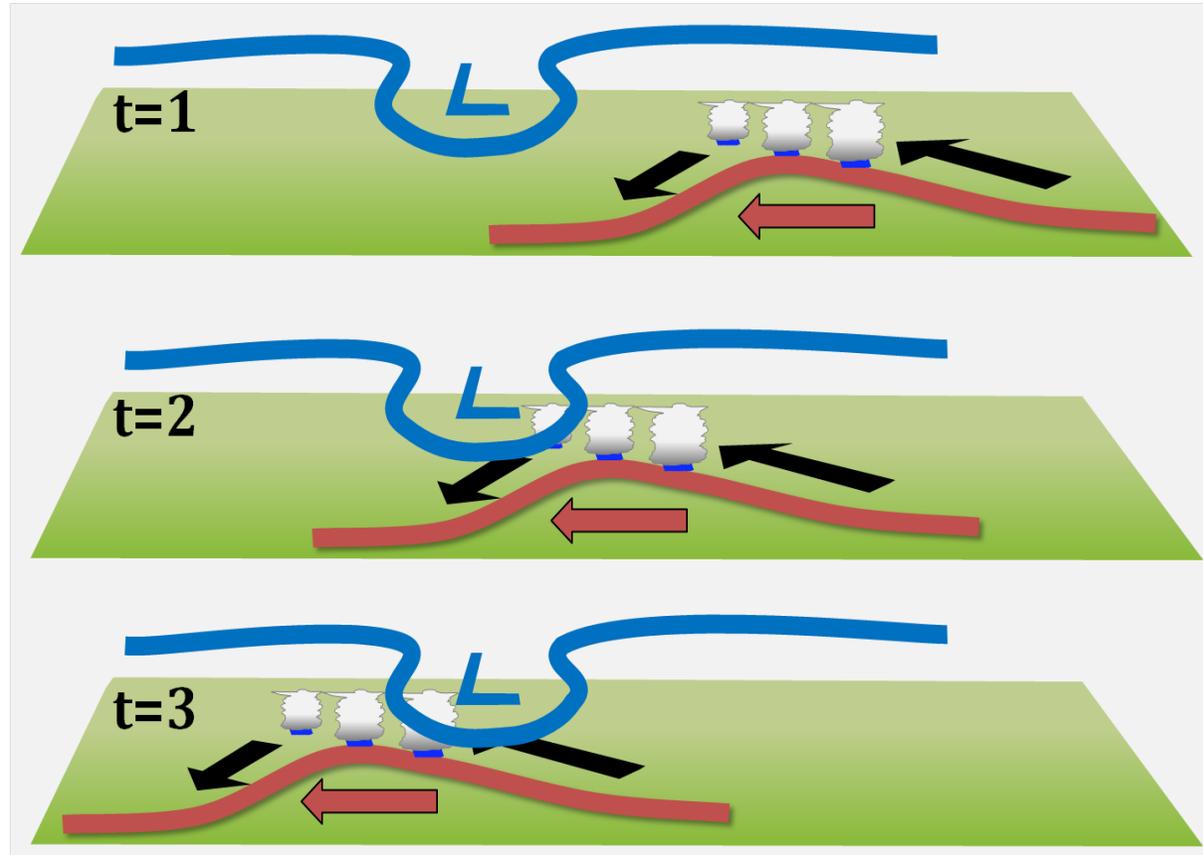


# ¿Cómo diferenciar vaguadas inducidas de ondas tropicales?

**Analizando el movimiento y origen de los sistemas!**

- Si una vaguada invertida en los alisios del este en bajo nivel se esta moviendo independientemente de sistemas en altura, es una Onda Tropical.
- Si una vaguada invertida en los alisios de niveles bajos **se mueve en conjunto** con una TUTT es muy probable que sea una vaguada inducida.
  - Si se desacopla de la vaguada en altura, se vuelve en una onda del este.
- Ocasionalmente una onda del este puede quedar en fase con una TUTT, y parecer moverse en conjunto.

# Ondas Tropicales: Movimiento Independiente

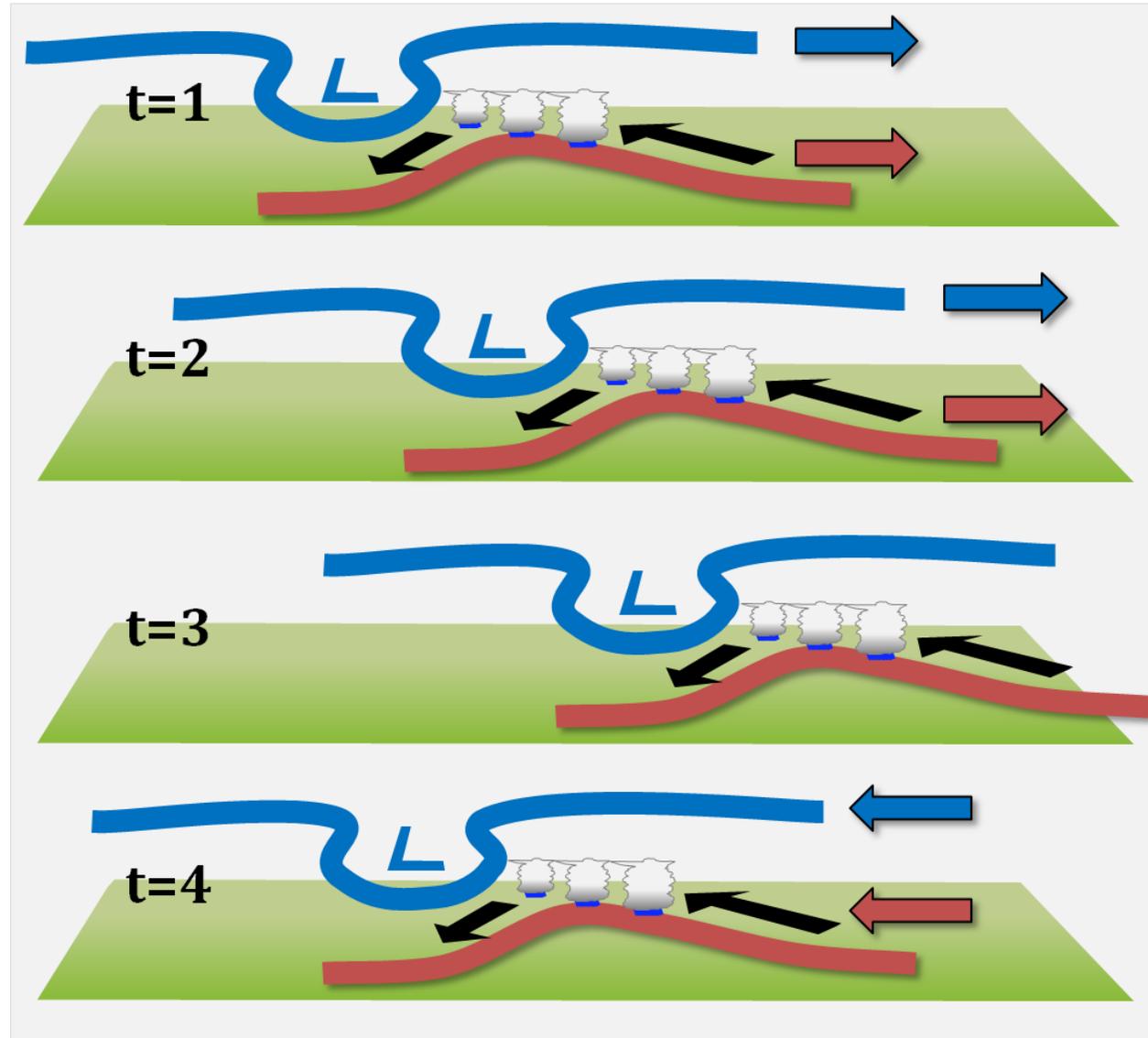


La TUTT en altura se mantiene estacionaria, onda en los alisios se mueve al oeste

# Vaguada Inducida: Movimiento En Conjunto

TUTT moviéndose  
al este

TUTT retrogradando  
hacia el oeste



# Resumen de las Características

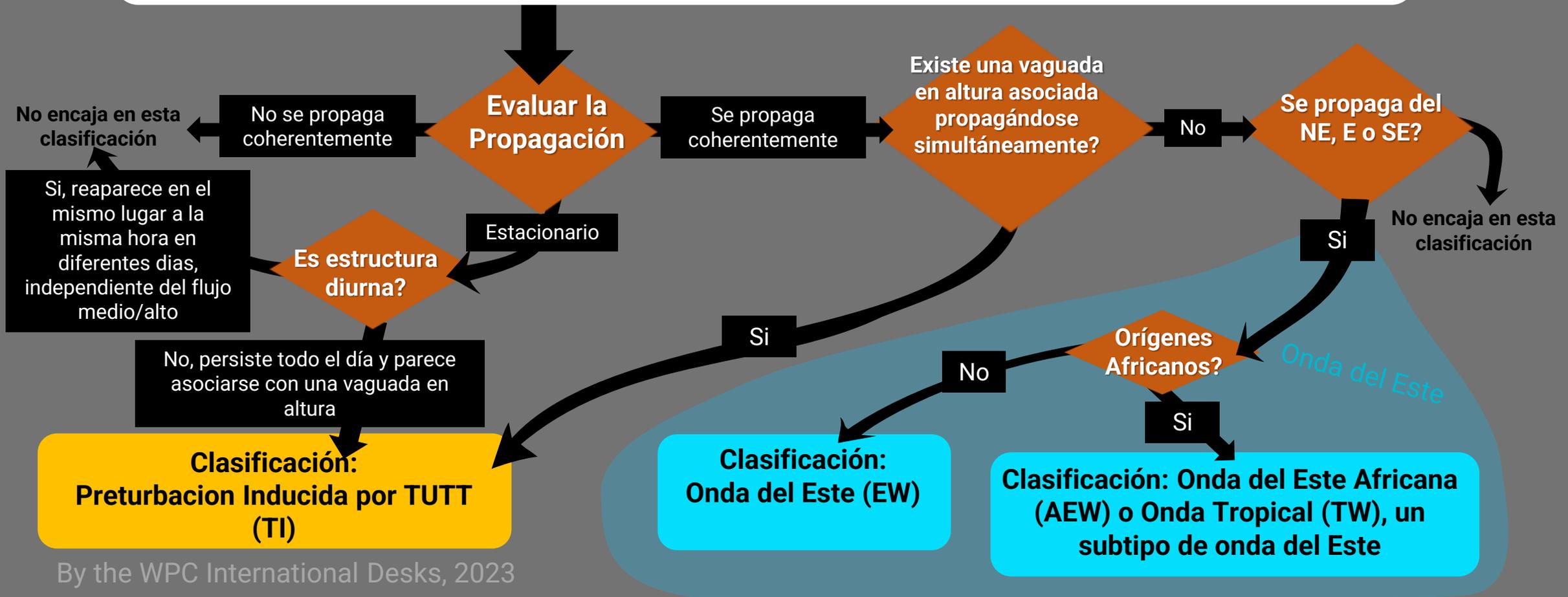
Vaguada Inducida por TUTT	Onda del Este
<ul style="list-style-type: none"><li>• Núcleo Frío domina<ul style="list-style-type: none"><li>– No puede evolucionar directamente a un ciclón tropical (un sistema de núcleo cálido)</li><li>– Podría formarse en un ciclón subtropical (sistema híbrido)</li></ul></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Combinación de núcleo cálido/frío.<ul style="list-style-type: none"><li>– Puedo evolucionar directamente a un ciclón tropical (es la semilla)</li></ul></li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <u>Movimiento</u>: Controlado por flujo alto.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <u>Movimiento</u>: Controlado por la troposfera baja.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <u>Origen</u>: Inducido por una vaguada generalmente al noroeste</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <u>Origen</u>: A lo largo de la vaguada monzónica en África Tropical del Norte.</li></ul>

# Herramientas para Diferenciar Tipos de Ondas

	Vaguada Inducida	Onda Tropical
Imagen de Vapor de Agua	La mejor herramienta para analizar la presencia y profundidad de un ciclón en altura (TUTT).	Determina la fuente de ventilación en niveles altos, o si no hay.
Imágenes Visible e IR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bueno para encontrar la vaguadas “V” Invertidas en campos de nubes en nivel bajo.</li> <li>• Ci/Cs pueden señalar la presencia de una vaguada en altura</li> </ul>	Bueno para encontrar la “V” invertida en campos de nubes en nivel bajo.
Análisis de Flujo	Vaguada en altura: 500-200 hPa, Vaguada en nivel bajo 850-700 hPa	850-700 hPa
Movimiento de Vaguada en nivel bajo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se mueve en conjunto con la vaguada en altura.</li> <li>• Puede mantenerse estacionaria, si la TUTT retrograda, progresa a 5-15 kt.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vaguada de nivel bajo se mueve <b>independiente</b> del sistema en altura.</li> <li>• Se mueven a 10-20 kt.</li> <li>• Inclinada negativamente y pueden ser mas rápidas.</li> </ul>

# Árbol de Decisión para Caracterizar una Onda en los Alisios

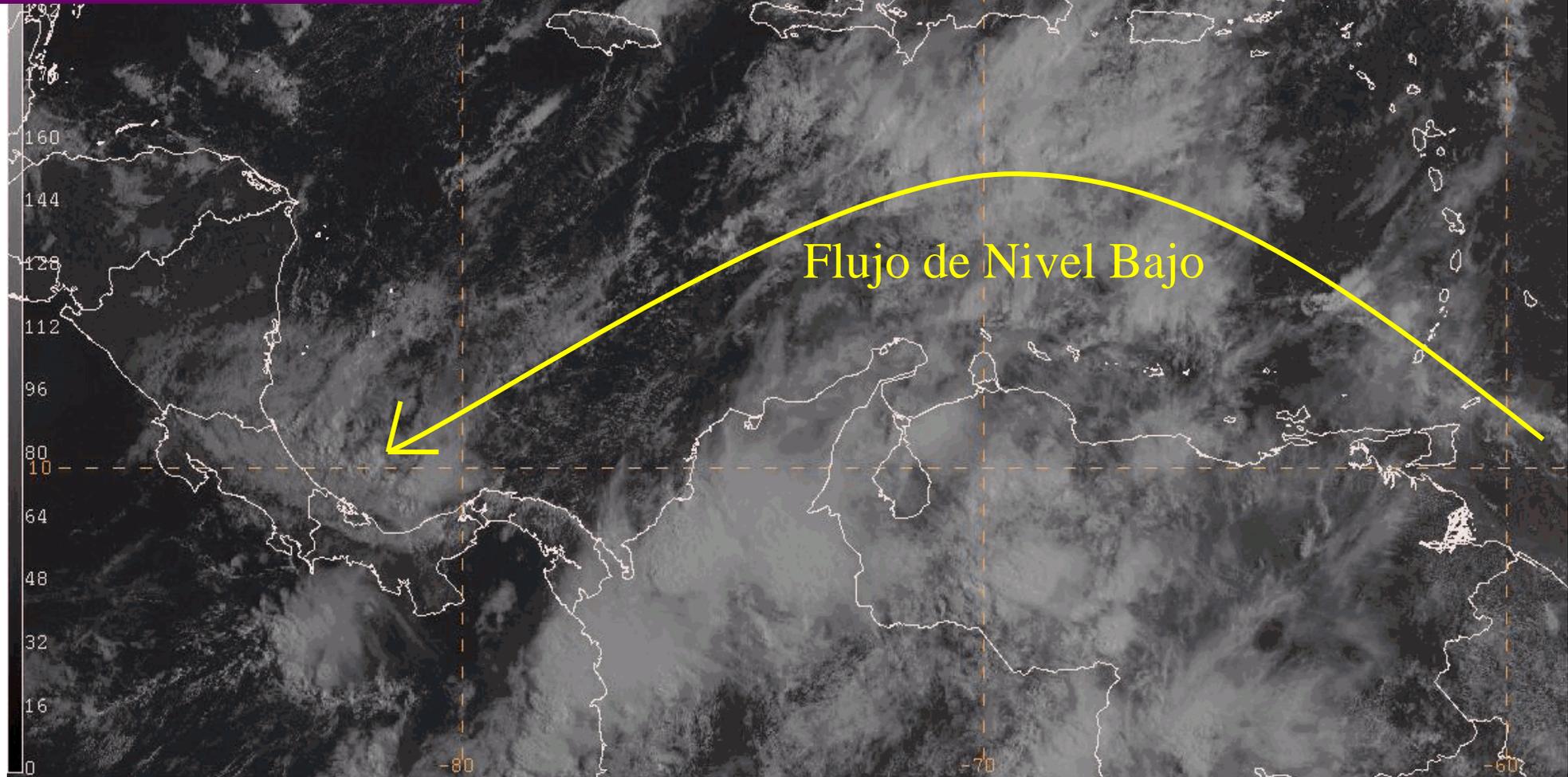
**Problema Inicial:** Una vaguada en los alisios se alarga meridionalmente (>500 km), y se asocia con una vorticidad relativamente máxima en 850 y 700 hPa y con una convección relativamente máxima. Será una perturbación inducida, onda del este, u onda tropical?



**Ejercicio:**

**20 Abril 2004**

Satélite Visible:  
Evaluar las circulaciones  
en bajo nivel. Ve una  
vaguada?



Satelite Visible :  
Evaluar flujo en altura, cual  
es la direcci3n?

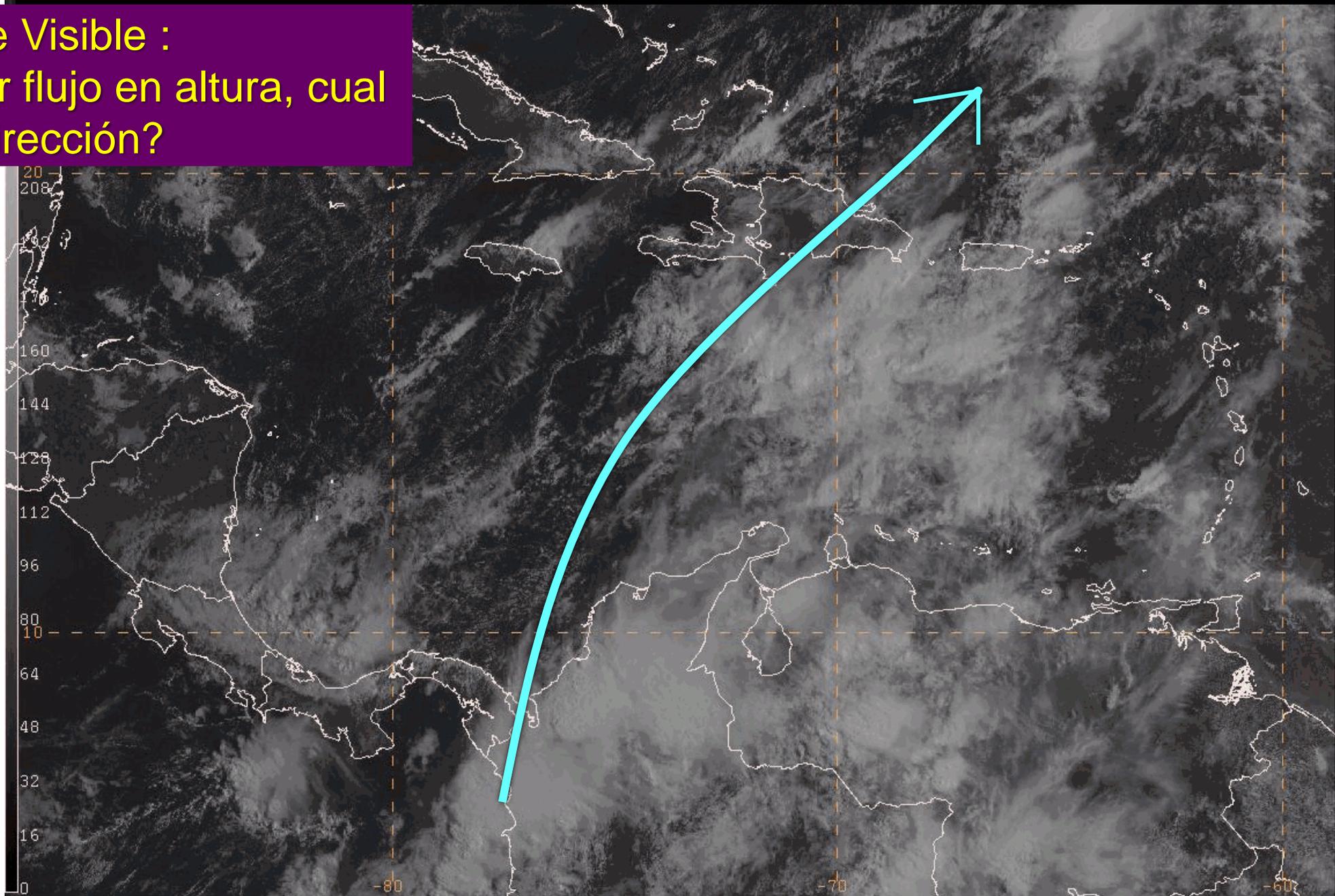
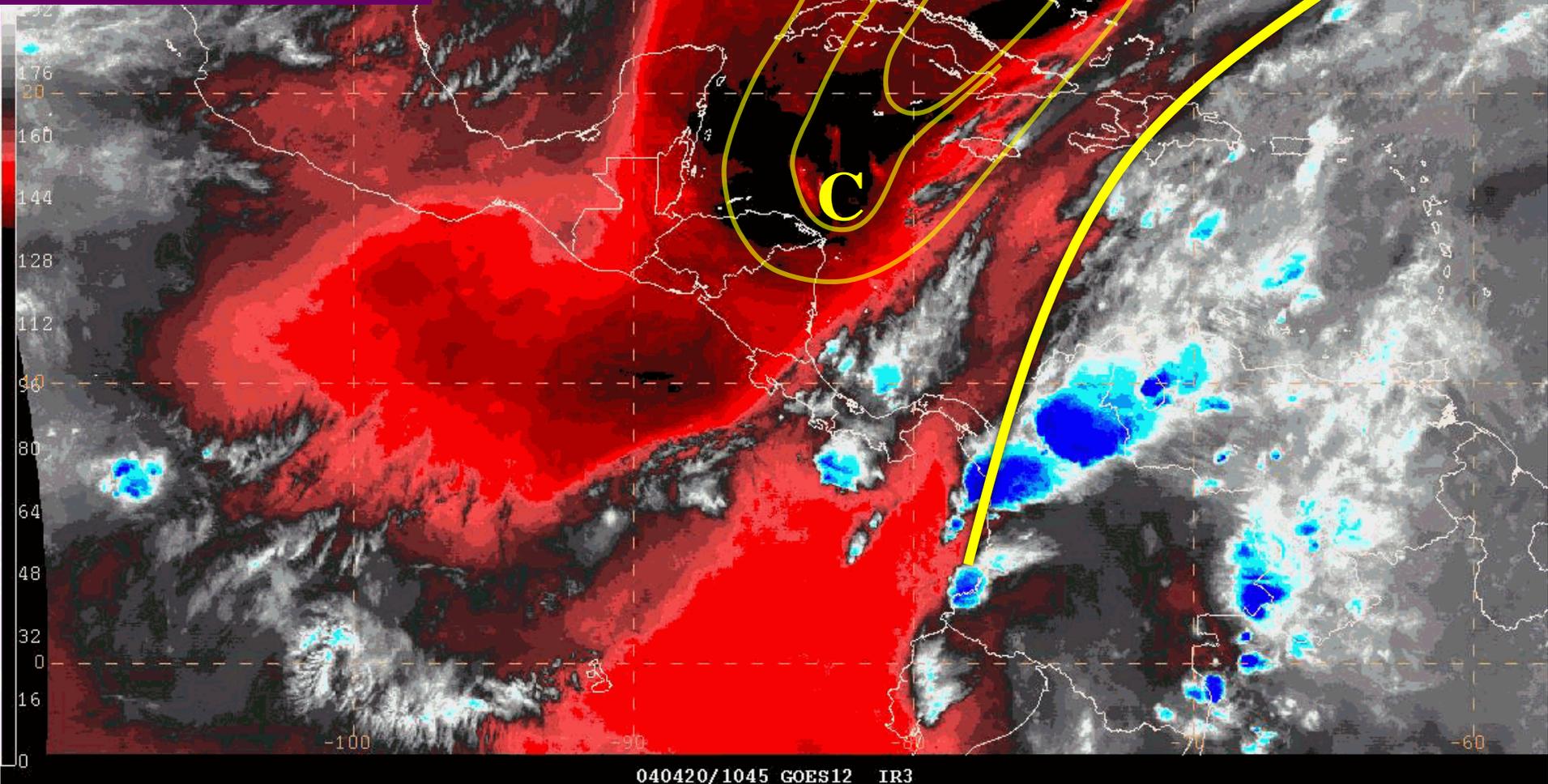
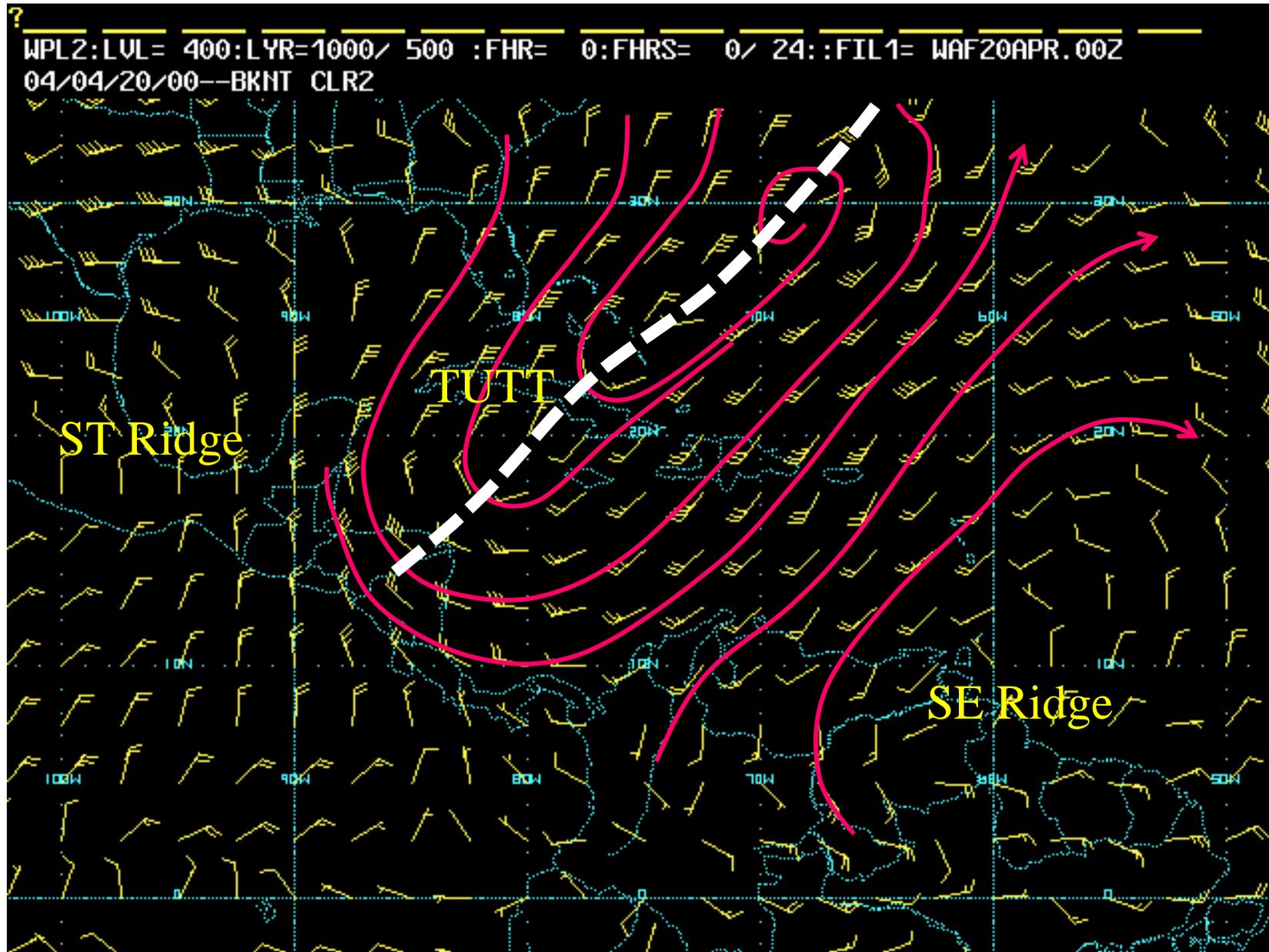


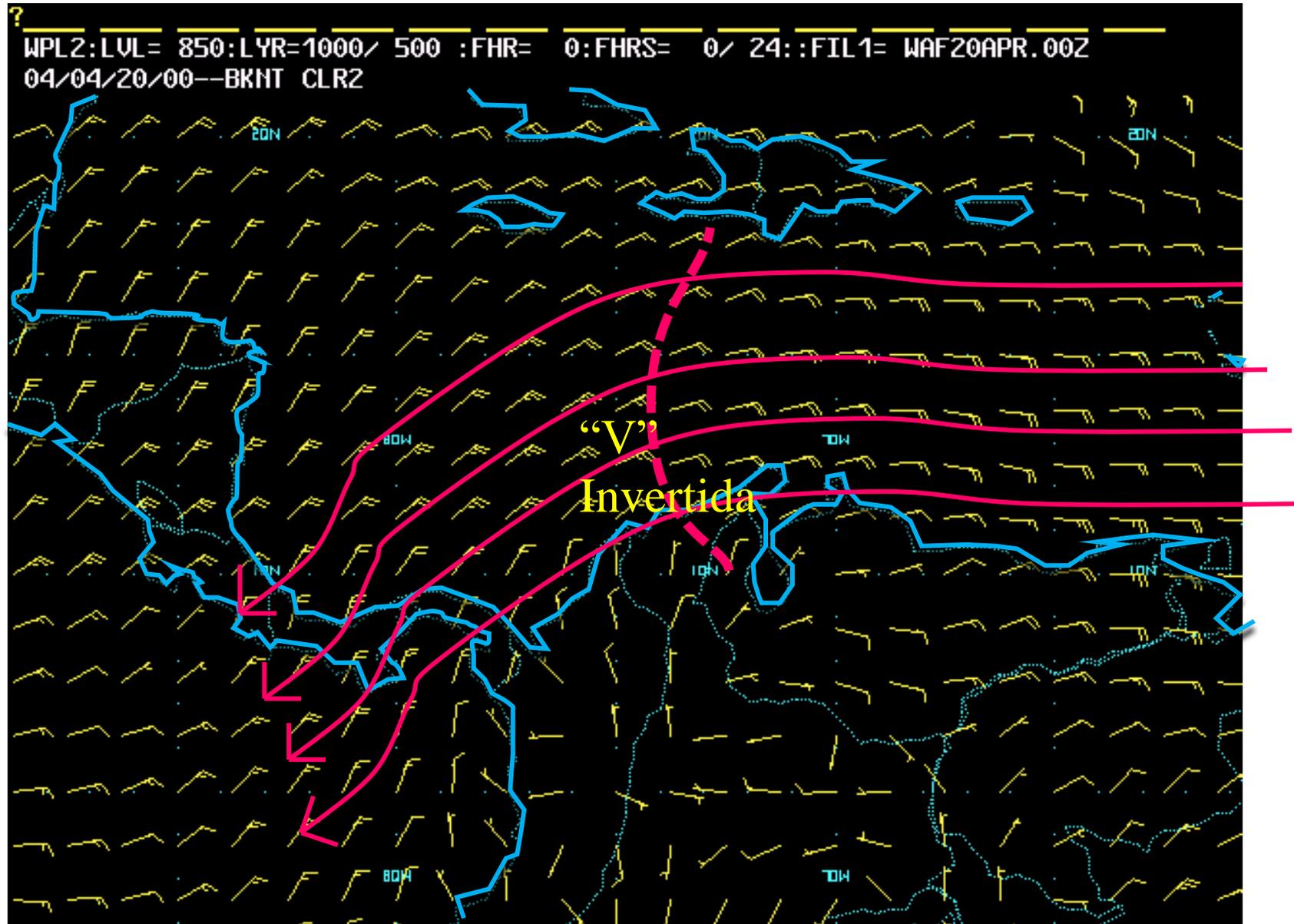
Imagen de Vapor de Agua:  
Evaluar circulaciones en  
altura. Se ve una  
vaguada?



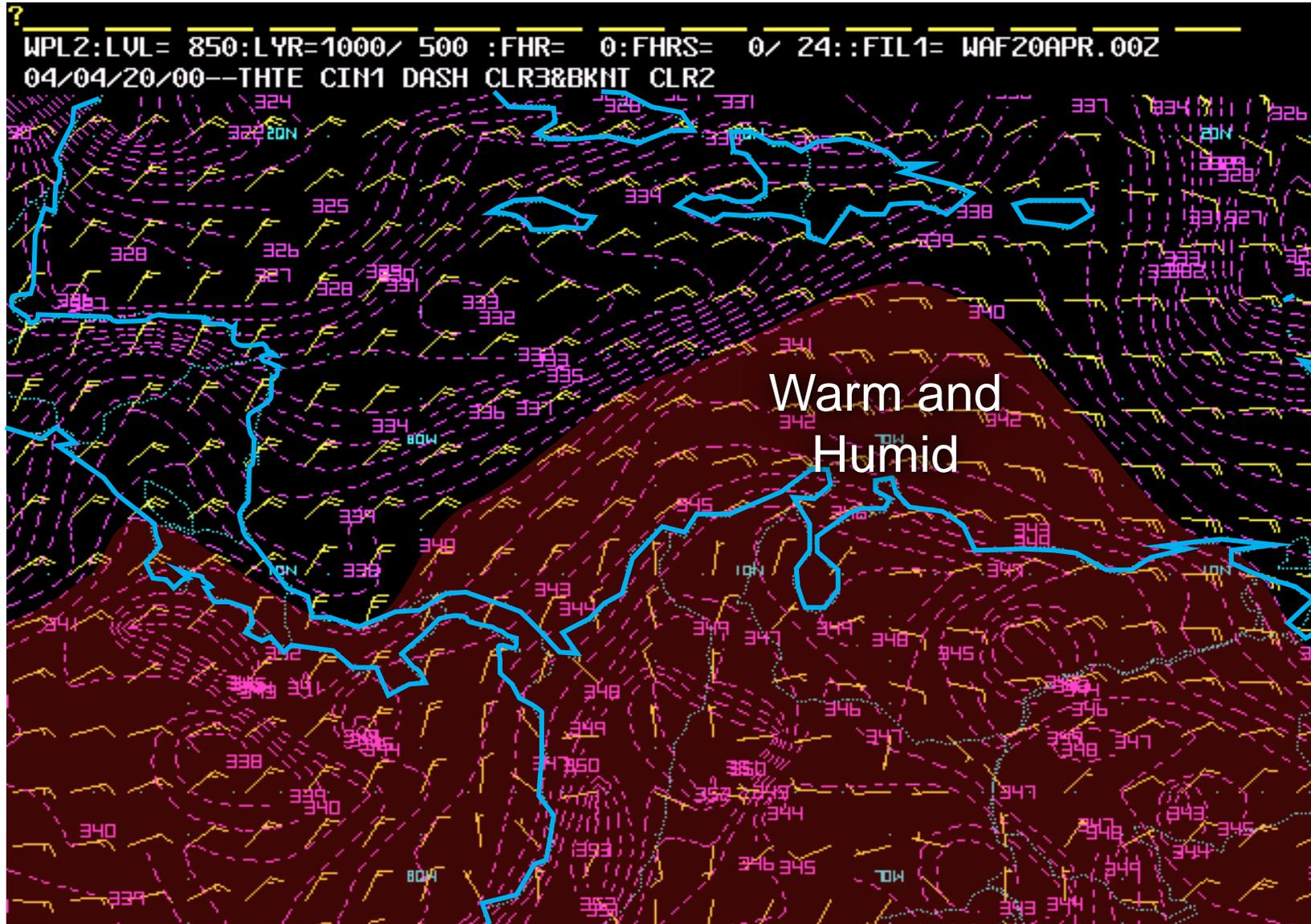
# GFS Análisis en 400 hPa: Flujo en Altura



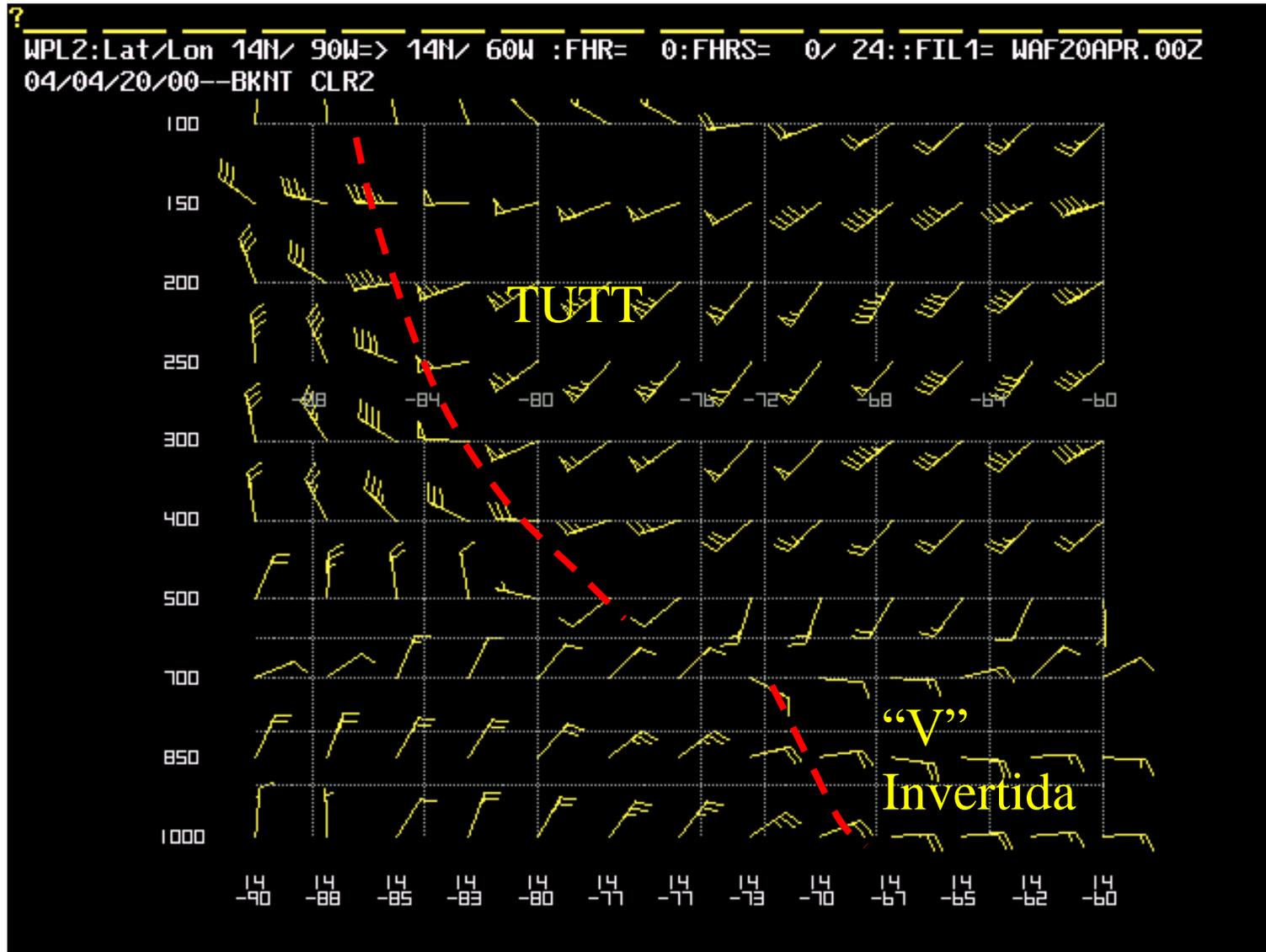
# GFS Análisis en 850 hPa: Flujo en Niveles Bajos



# Vientos y Temperatura Equivalente Potencial ( $\theta_e$ ) en 850 hPa



# Corte Transversal Vientos



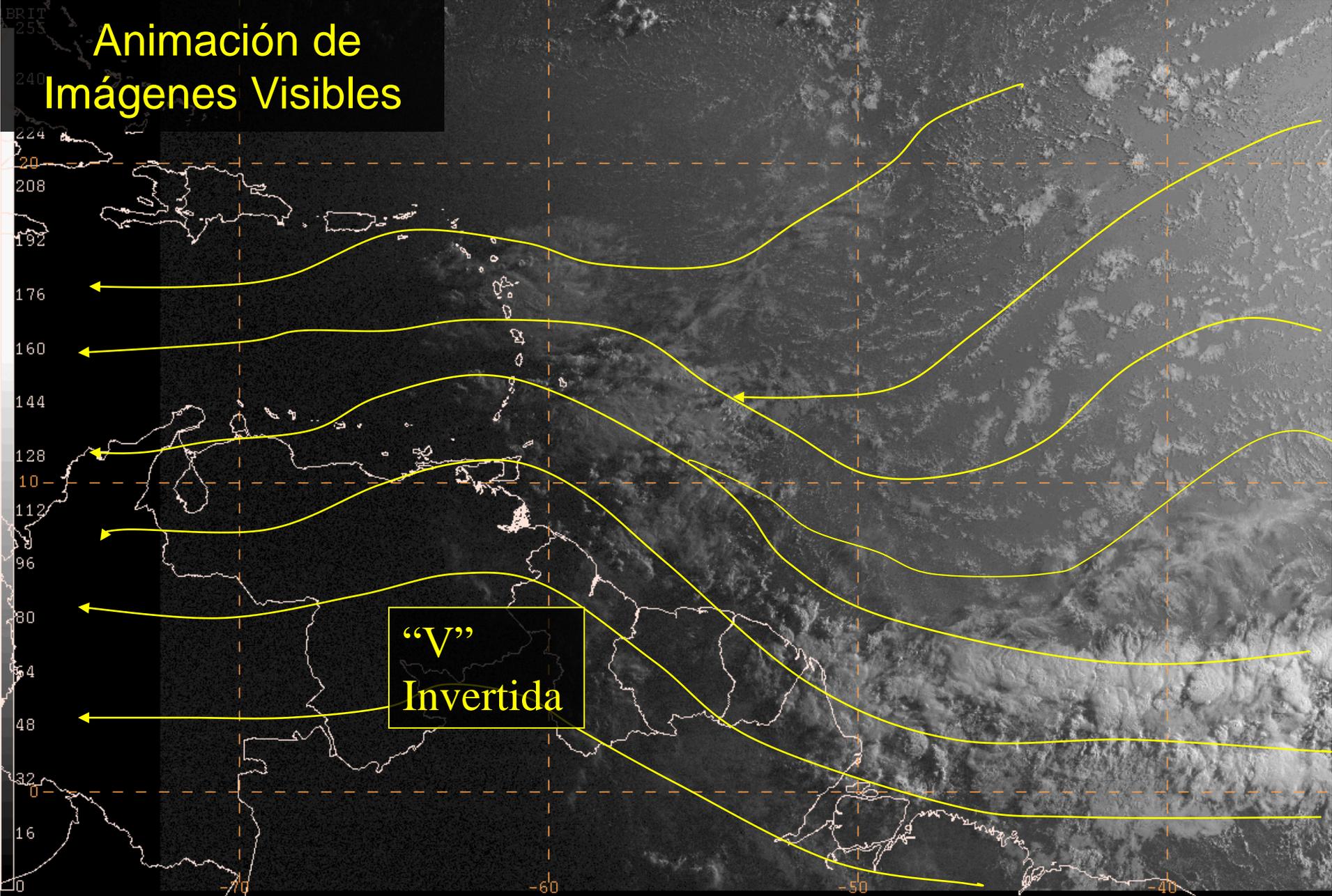
# Observaciones

- Imágenes visibles demuestran una vaguada invertida en los niveles bajos.
  - Imagen visible, sin embargo, no siempre confirma la presencia de un sistema en altura. La onda se podría pasar por onda del este.
  - Es mejor considerar otras herramientas.
- Imágenes de vapor de agua combinados con imagen visible, claramente ensena la vaguada en altura al noroeste de la estructura en niveles bajo.
  - Esto sugiere que las dos estructuras son interesantes. Bucles mas largos ayudaran a determinar interacciones claras entre los sistemas.
  - Si todavía quedan dudas, los cortes transversales de modelos pueden ayudar a clarificar la situacion.

**Ejercicio:**

**Evento del Junio 20, 2008**

# Animación de Imágenes Visibles



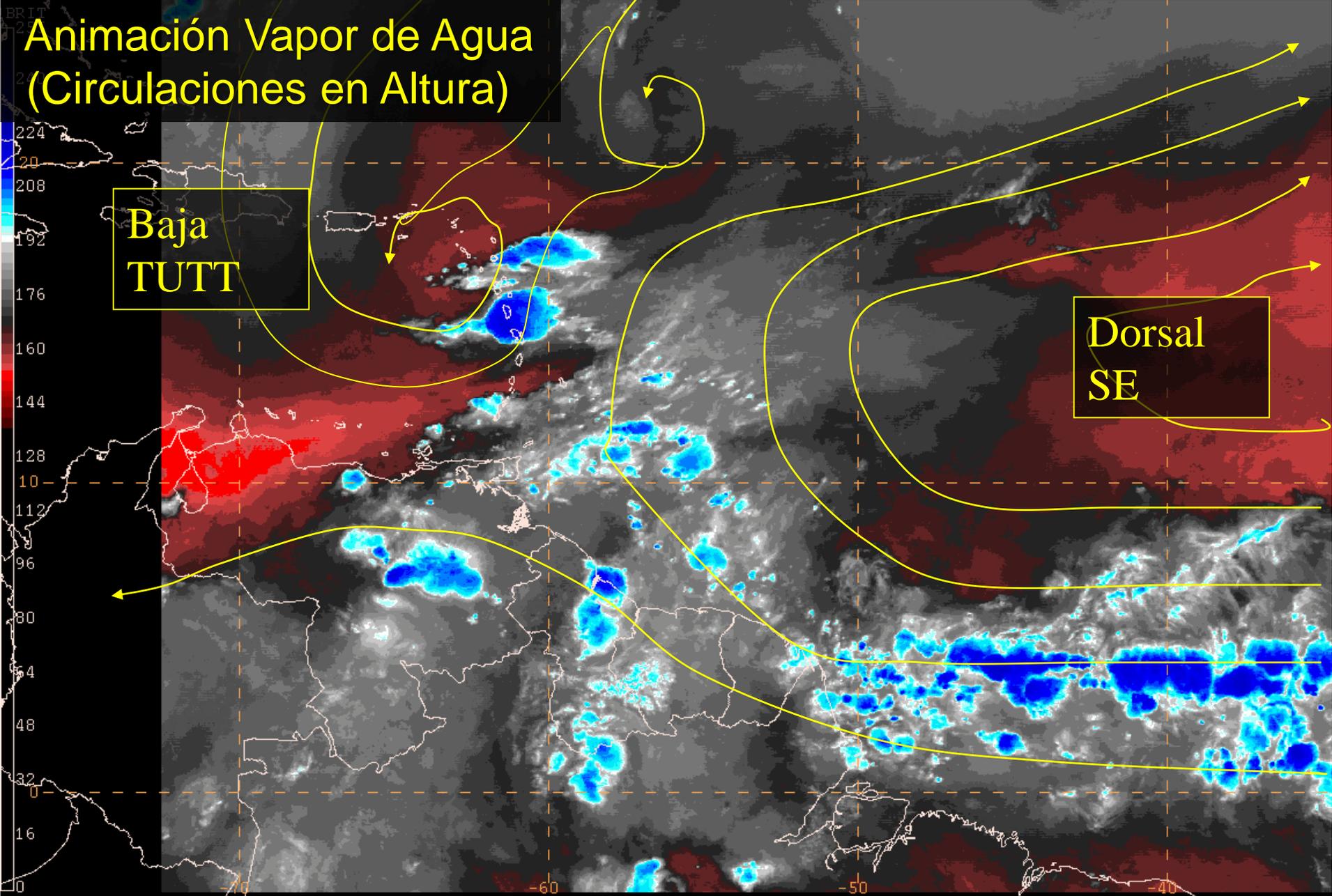
“V”  
Invertida

# Animación Vapor de Agua (Circulaciones en Altura)

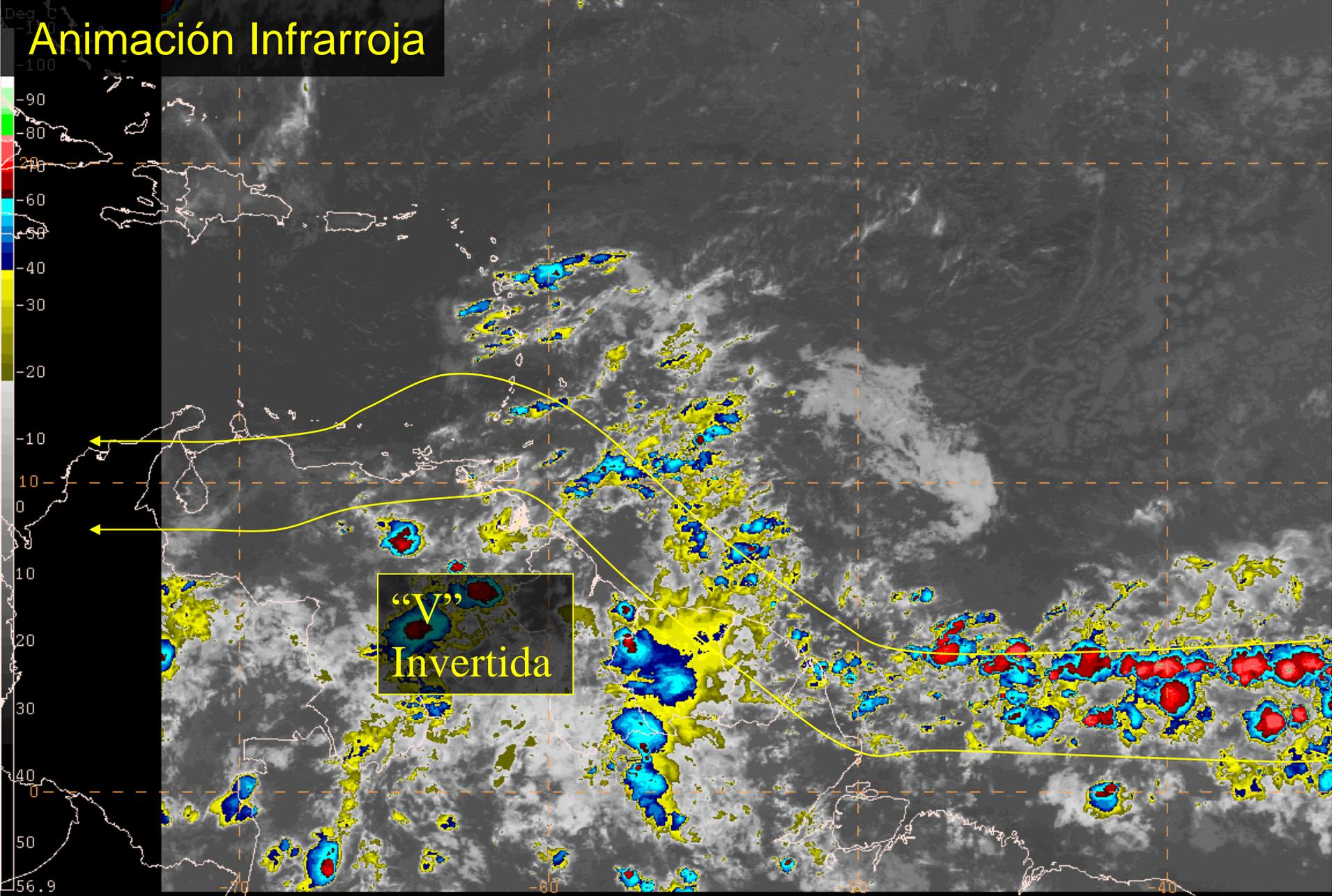
224  
20  
208  
192  
176  
160  
144  
128  
10  
112  
96  
80  
54  
48  
32  
0  
16

Baja  
TUTT

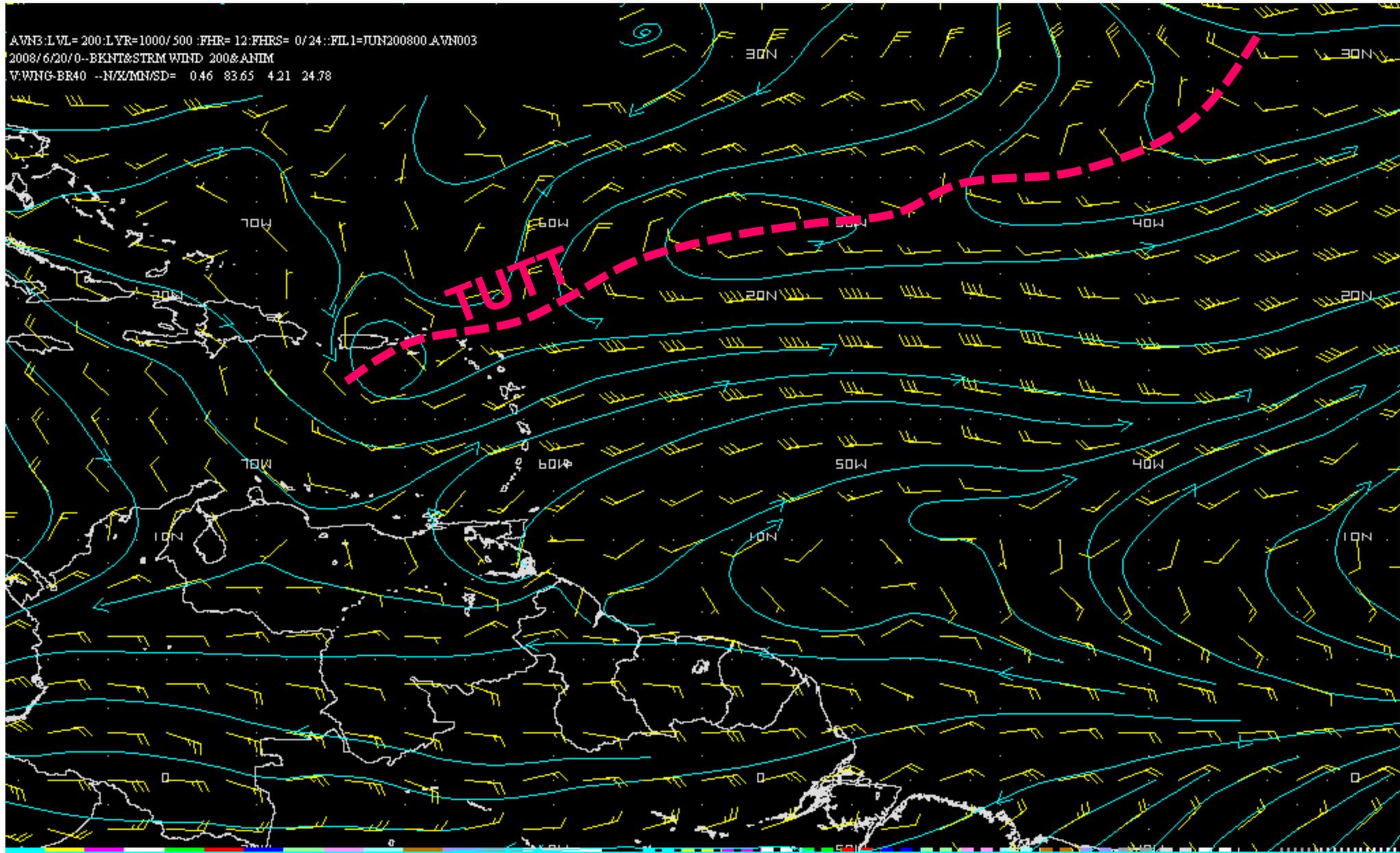
Dorsal  
SE



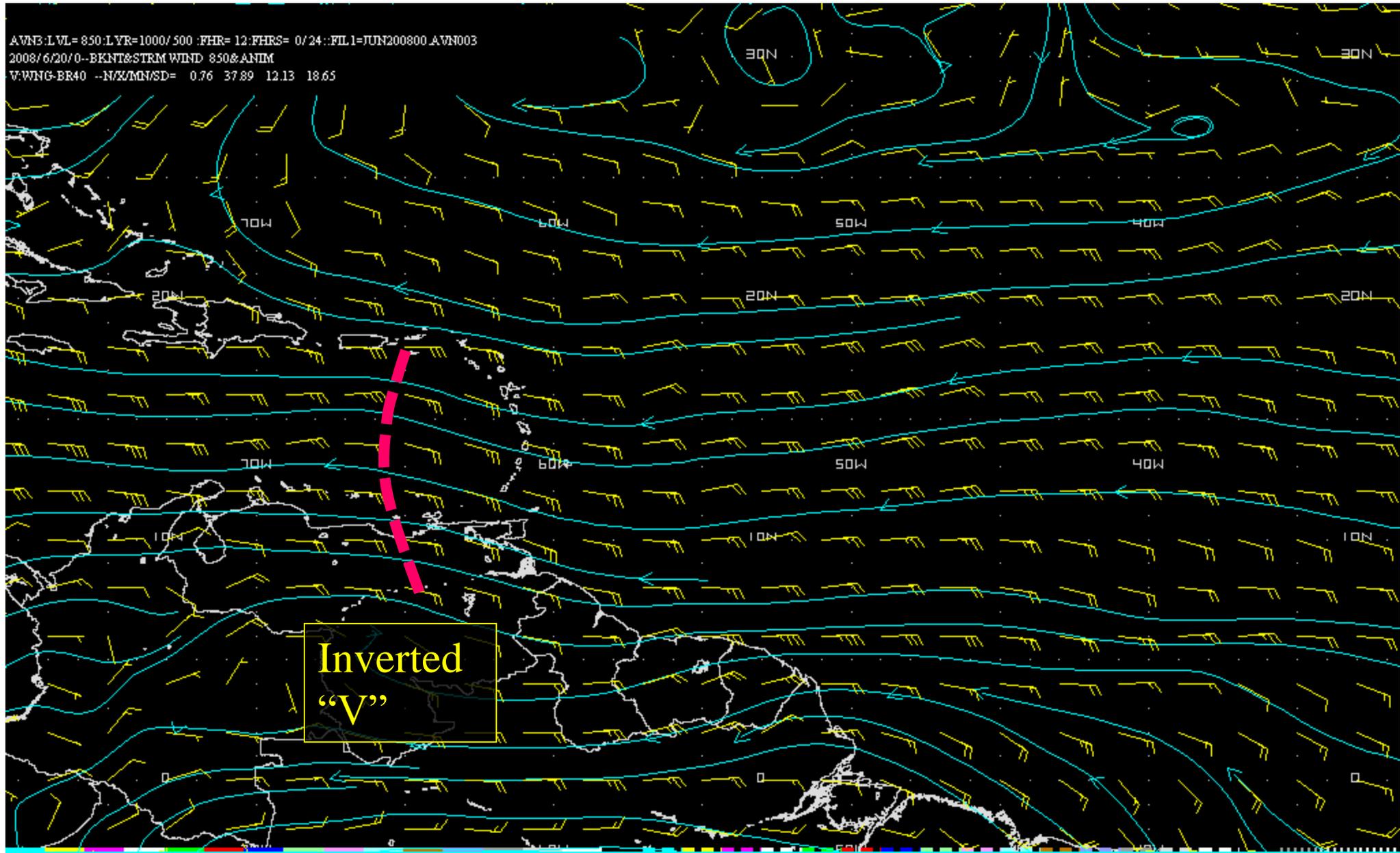
# Animación Infrarroja



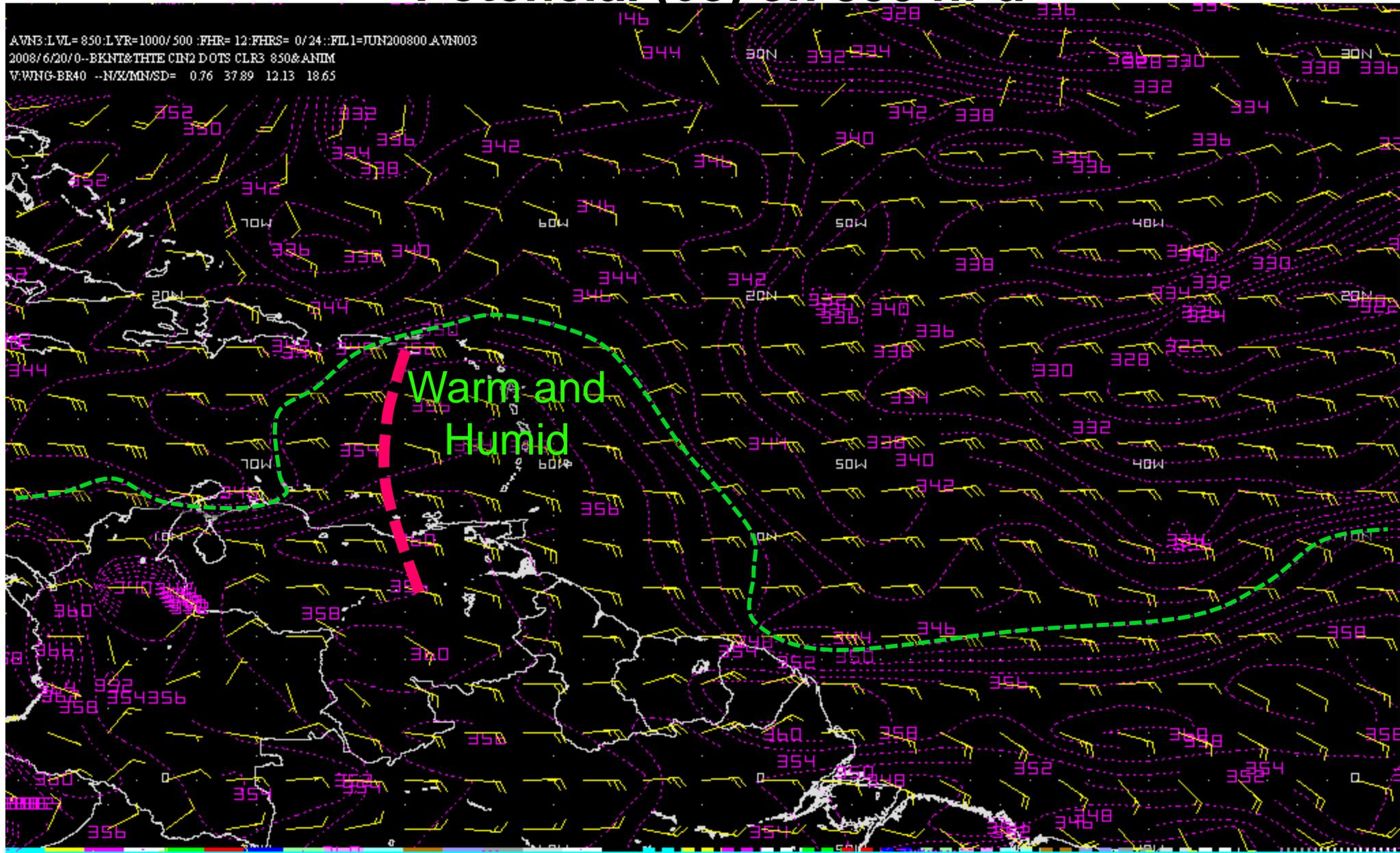
# GFS Análisis: Vientos en 200 hPa



# GFS Análisis: Vientos en 850 hPa

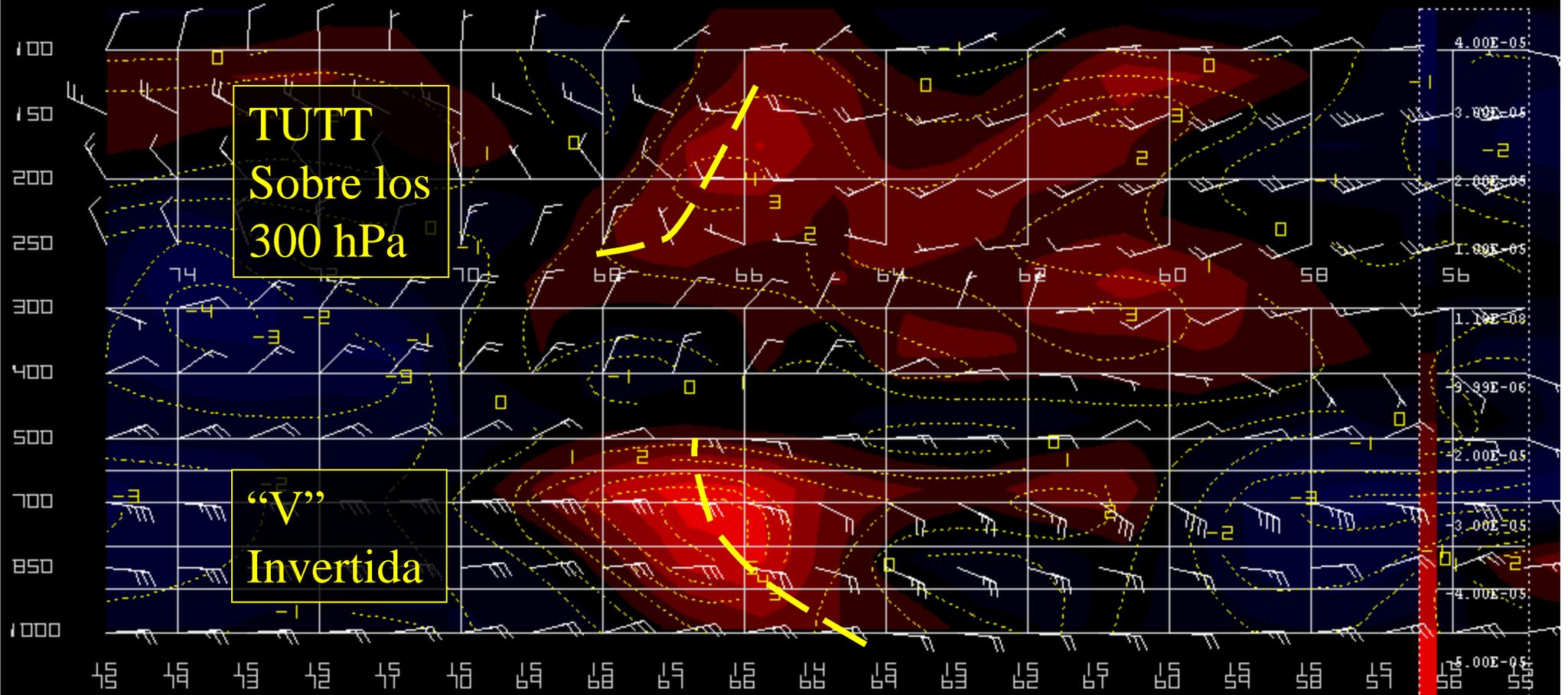


# Vientos y Temperatura Equivalente Potencial ( $\theta_e$ ) en 850 hPa



# Corte Transversal: Vientos y Vorticidad Relativa

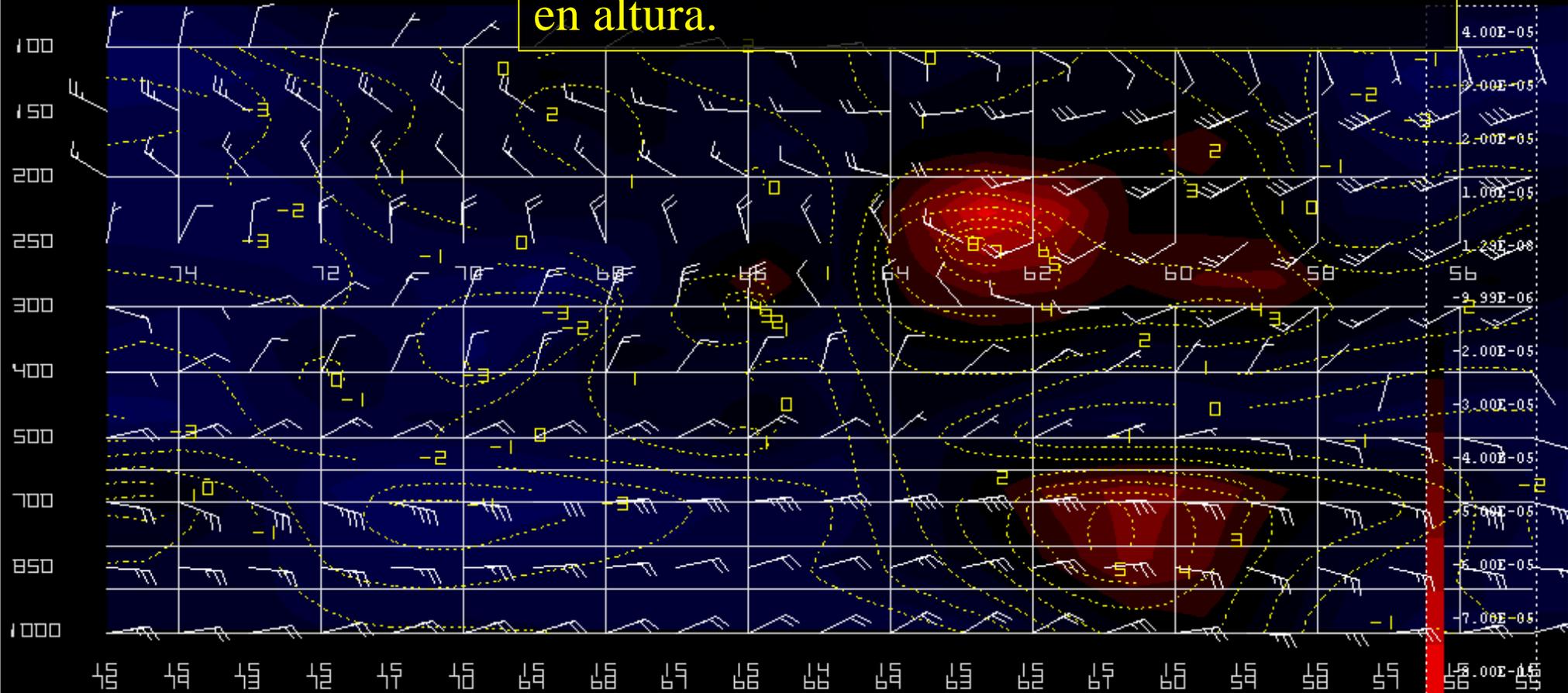
AWN3:Lat/Lon 15N/ 75W=> 15N/ 55W :FHR= 12:FHRS= 0/ 24::FIL1=JUN200800.AWN003  
2008/ 6/20/ 0--BKNT CLR4&PORT WIND DOTS&SMLC -1 PORT WIND CTFC CFCU&ANIM



# Animación: Vientos y Vorticidad Relativa

AGW3:Lat/Lon 15N/ 75W=> 15N/ 55W :FHR= 0:FHRS= 0/ 24::FIL1=JUN200800.AGM003  
2008/ 6/20/ 0--BKMT CLR4&RVRT WIND DOTS&SMLC -1 RVRT WIND CTFC CFCV&ANIM

Según el modelo GFS, la vaguada en niveles bajos se propaga independiente de la vaguada en altura.



# Observaciones

- Imagen visible y la de IR demuestran una vaguada invertida en los alisios de niveles bajos.
- La imagen de vapor de agua muestra una TUTT.
- La animación de las imágenes satelitales y los modelos de pronóstico están indicando que la perturbación en los alisios del este se esta propagando **independientemente** de la perturbación en los niveles altos.
  - **Pero hay una interaccion positiva entre los dos sistemas en diferentes escalas, con convección profunda en las Islas Sotavento.**



---

Thank You!