ICAO

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION

A UN SPECIALIZED AGENCY

Patrones Climatológicos de las Américas

José Manuel Gálvez

Investigador e Instructor

Axiom para WPC International Desks/NWS/NOAA

ICAO

Descripcion General

01 La Importancia, Aplicaciones y Bases de la climatología

02 Características de la superficie: Terreno, Océanos, y los impactos en la atmosfera

03 Alto, Media, y Baja Troposfera: Climatología del Flujo y Sistemas de Interés

04 Características y Patrones Climatológicos Impactantes

05 Impactos del ENSO, MJO y otras Oscilaciones Climáticas

01

La Importancia, Aplicaciones y Bases de la climatología

La Importancia y Aplicaciones de la Climatología

La climatología es la base para entender los procesos presentes en el sistema de la tierra-atmosfera y para poder interpretar los modelos numéricos:

- Es la mejor herramienta disponible para entender si los modelos no están representado la realidad apropiadamente y si no se pueden confiar.
- La climatología nos ayuda a reconocer si los siguientes eventos son inusuales o no estacionales, por lo tanto potencialmente mas impactante.

La Importancia y Aplicaciones de la Climatología

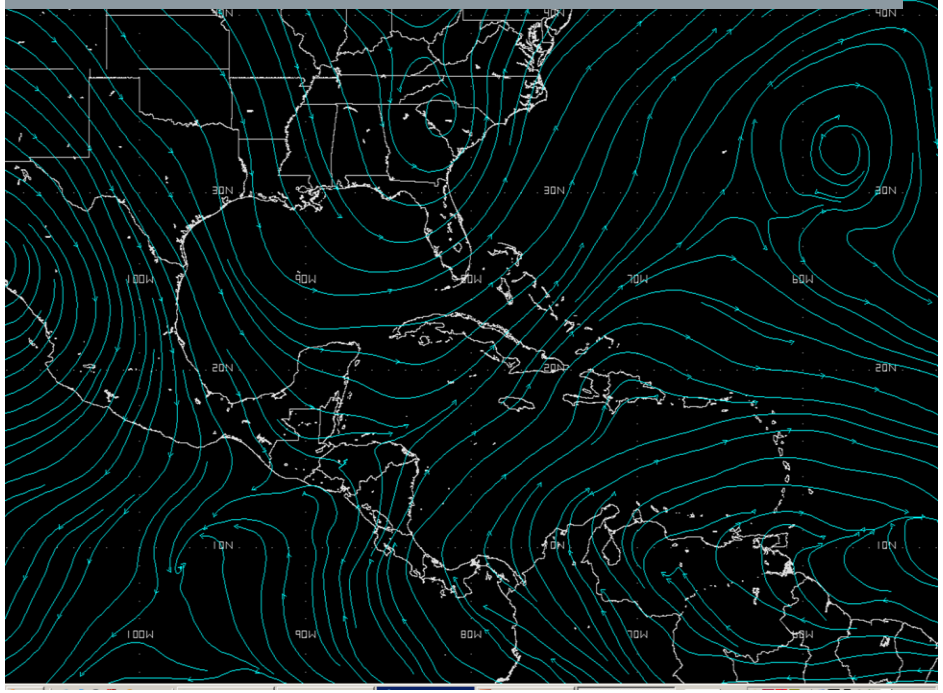
Es este patrón típico o inusual para marzo?

- Si es típico o recurrente para marzo, seria útil saber los tipos de fenómenos se producen y usarlo para hacer decisiones en el pronostico.
- Si es inusual:

a) Los modelos pueden estar exagerando y las soluciones se deberían consideran con precaución.

b) Pero si hay confianza con los modelos, puede significar que habrán efectos impactantes y se necesitaran avisos y anuncios.

500 hPa flow pattern forecast during March



Bases de la Predicción

Atmosfera

Balance Radiativo

Precipitación

Flujos de Calor y Humedad

Interacciones

Estrés por Viento

TSM

Interacciones

Terreno

-Morfología
- Elevación
- Orientación y forma
- Inclinación

-Cobertura
- Vegetación, humedad de la tierra, albedo y otras propiedades radiactivas que regulan el intercambio de calor y humedad con la atmosfera vía flujos de la superficie.

Oceanos

- La atmosfera interpreta la temperatura superficial y la comunica por medio de flujos, radiación y precipiation.
- El océano interpreta el estres por viento y los efectos de los flujos de calor y humedad y precipitación.
- Temperaturas sub-superficiales impactan las escalas de medio rango y las climáticas.

02

Características de la superficie: Terreno, Océanos, y los impactos en la atmosfera

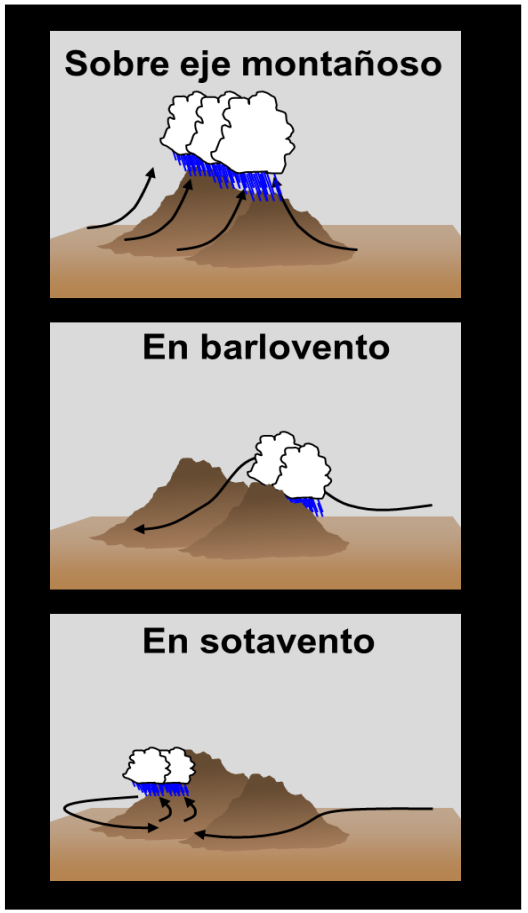
Efectos del Terreno en el Pronóstico

Dinámica:

- Aire es forzado a ascender, descender o desviarse sobre la estabilidad. Cuanto mas estable, mas es la lucha para ascender.
- Puede provocar convección profunda, alterando toda la columna.

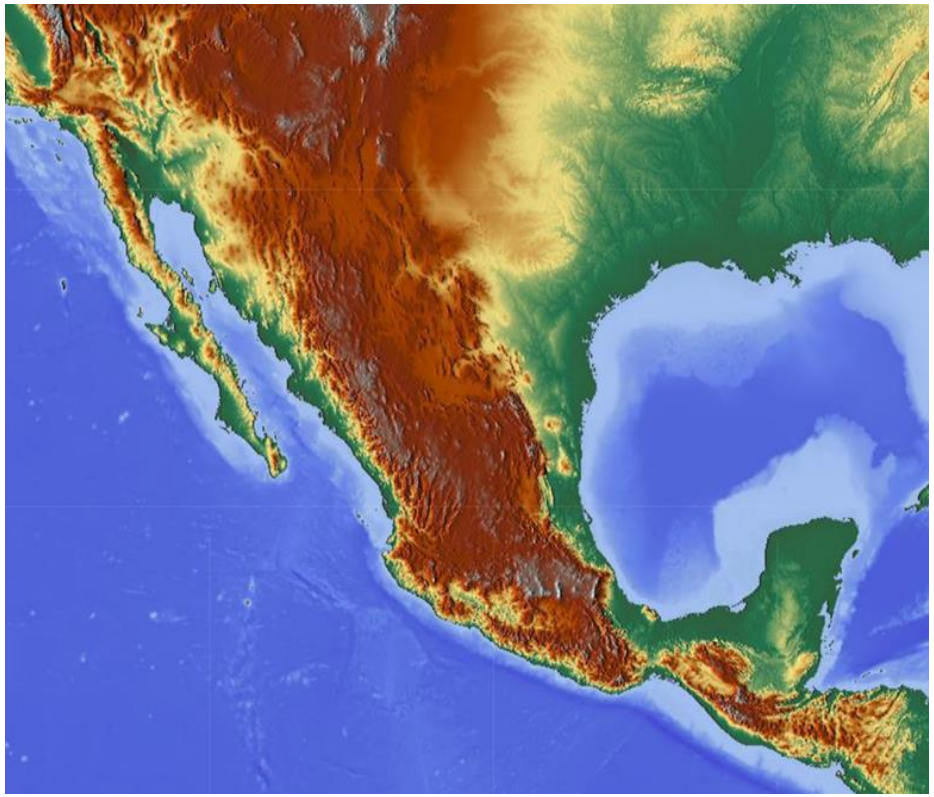
Termodinámica:

- Calentamiento diferencial genera cambios en presión/geopotencial y desviación del.
- Esto afecta regiones de convergencia y divergencia, impactando precipitación.



Terreno de Mexico

- **Diferentes “sierras” o cadenas de montanas.**
- **Intensifican la convección diurna.**
- **El flujo promedio sobre la cordillera (850 – 500 hPa) empuja el área de génesis diurna flujo abajo.**
- **Las montanas de la Sierra Madre Oriental pueden generar precipitación extremas durante frentes y eventos de viento del N, NE, y E.**
- **El Istmo de Tehuantepec canaliza vientos, mas frecuentemente del norte, cuando Altas polares se desarrollan en EEUU o el Golfo de México.**
- **Las sierras bloquean la entrada de flujo de humedad hacia el Ante plano Central Mexicano y la Tierra Cálida, favorecieron climas secos.**

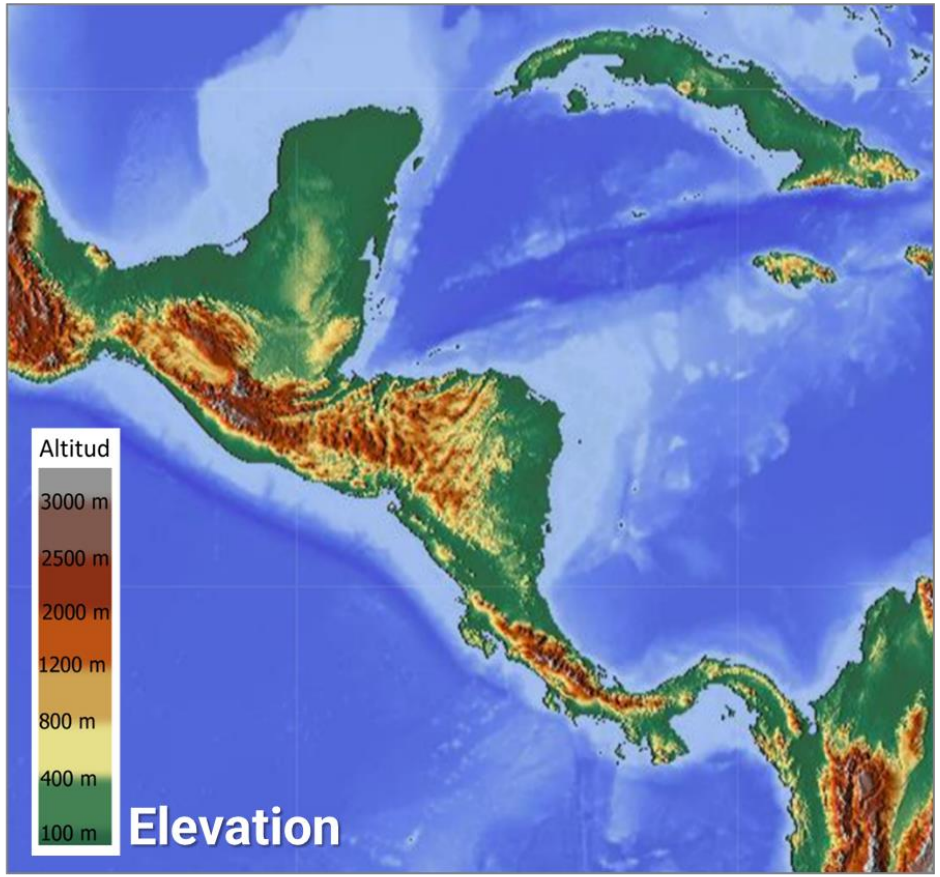


Ejemplo, el terreno favorece cierta regiones para el desarrollo de tormentas eléctricas y otros tipos de nubes de precipitación.

Promedio de imágenes visibles de MODIS durante la época de lluvias (MAY-OCT). Se ve como la orografía modula las regiones de desarrollo de nubosidad. Fuente: NSSL

Terreno de Centroamérica

- **Mas alto en Costa Rica y Guatemala/Chiapas.**
- **Terreno escabroso en Honduras and El Salvador.**
- **Montanas intensifican la convección diurna cuando el flujo es débil.**
- **Vientos del este predominantes favorecen ascensos (húmedo) en la cuenca caribeña y descensos (seco) en el pacifico.**
- **Aun así, periodos de vientos del oeste en el pacifico pueden producir tormentas fuertes.**
- **Unas regiones favorecen lluvias extremas cuando se ha desarrollado flujo húmedo perpendicular (e.g. N Honduras, Central Guatemala, Bocas del Toro/Eastern Costa Rica, S Costa Rica/Oeste Panamá, S Guatemala y El Salvador.**
- **Flujos de brechas producen cizalla/cizalladura, ráfagas y turbulencia de importancia.**



Chorros de Bajo Nivel Canalizados por Brechas

Promedio de Vientos en 925 hPa en Febrero

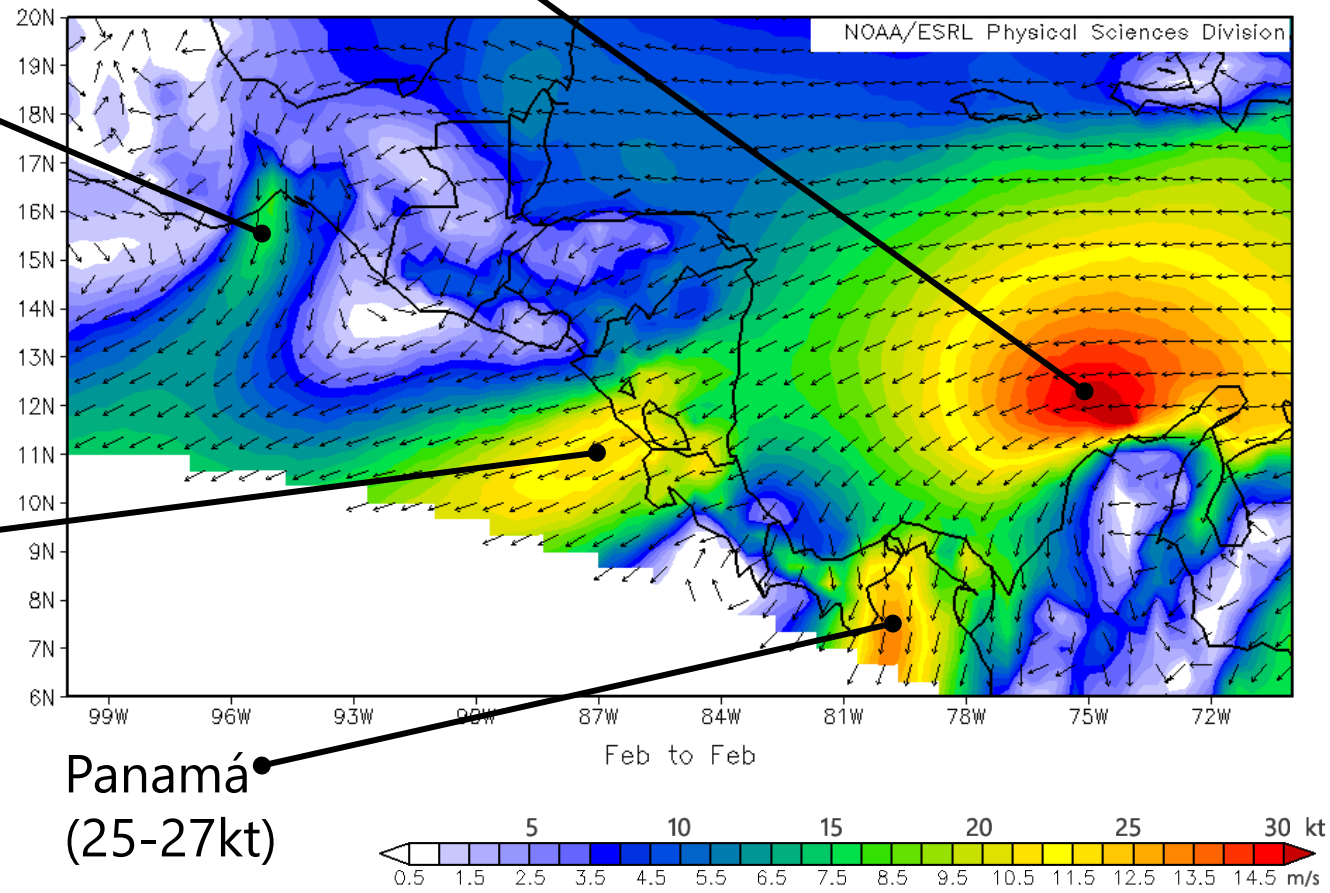
Sur del Caribe (>30kt)

Tehuantepec
(15-17kt)

Pico de vientos es mas temprano (Octubre-Diciembre) y viento pueden llegar a 70 kt

Nicaragua/
Papagayo
(22-24kt)

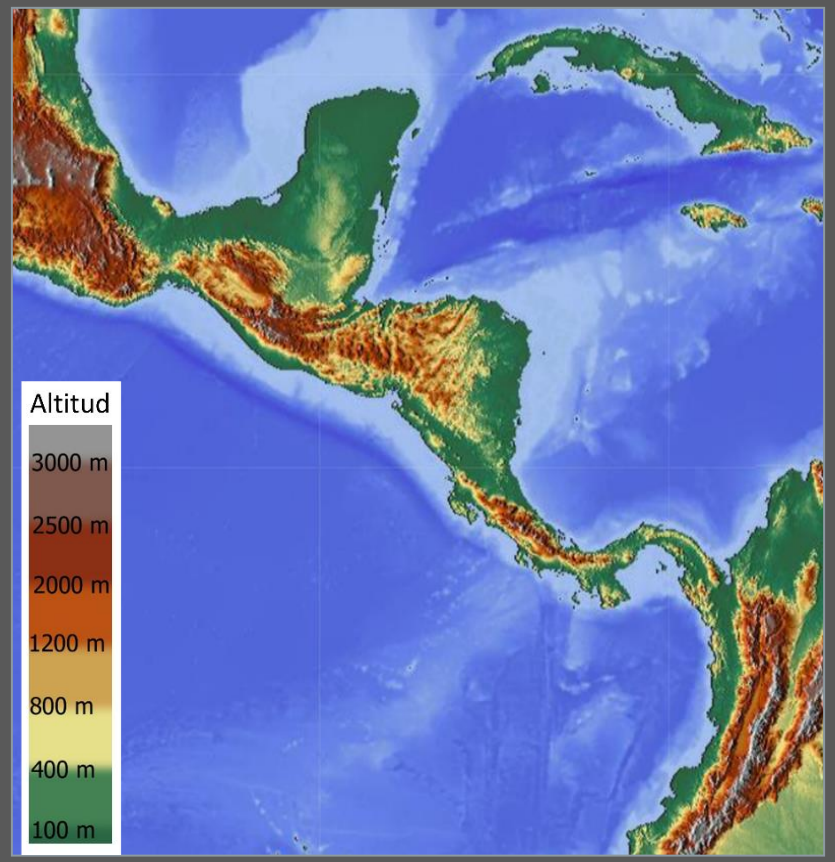
Panamá
(25-27kt)



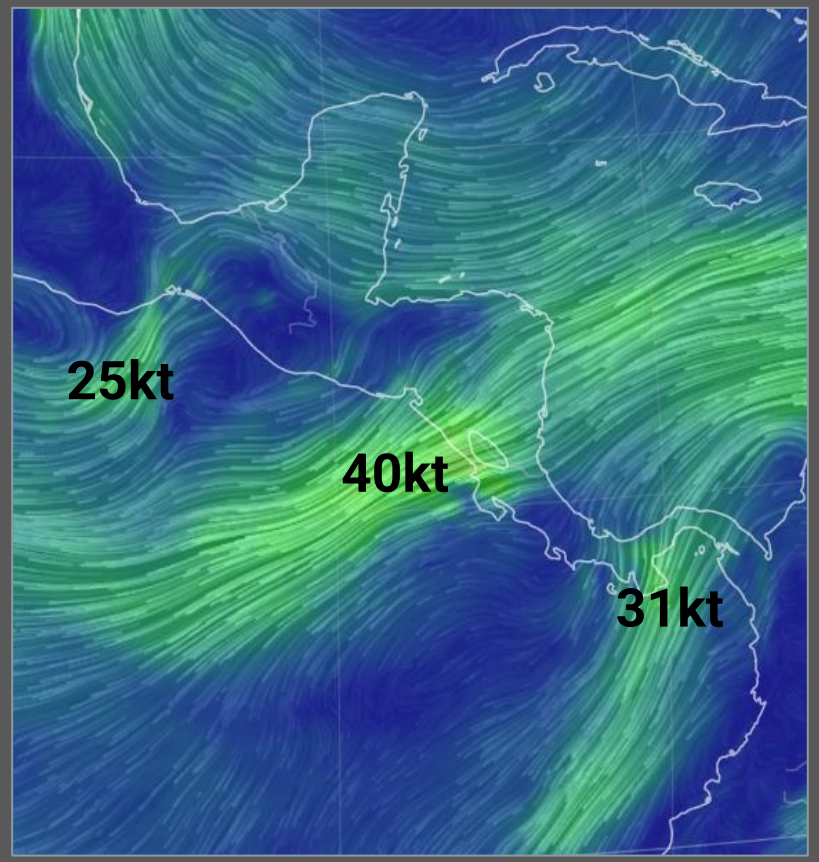
Fuente: NARR (https://www.esrl.noaa.gov) – Climo 1981-2010

Flujo de Brechas en Centroamérica

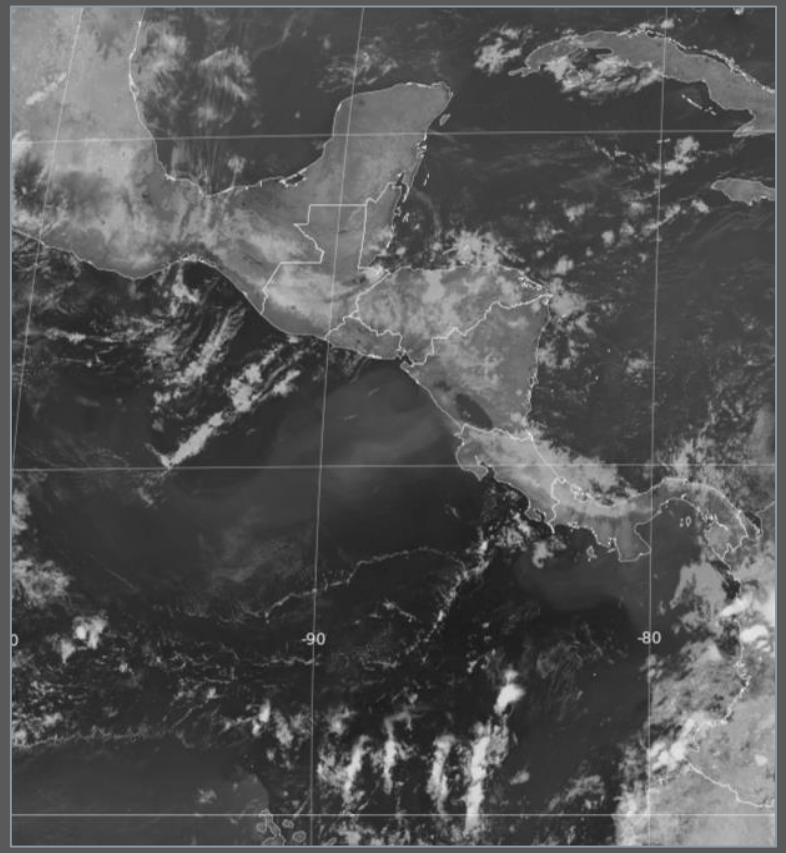
Elevacion



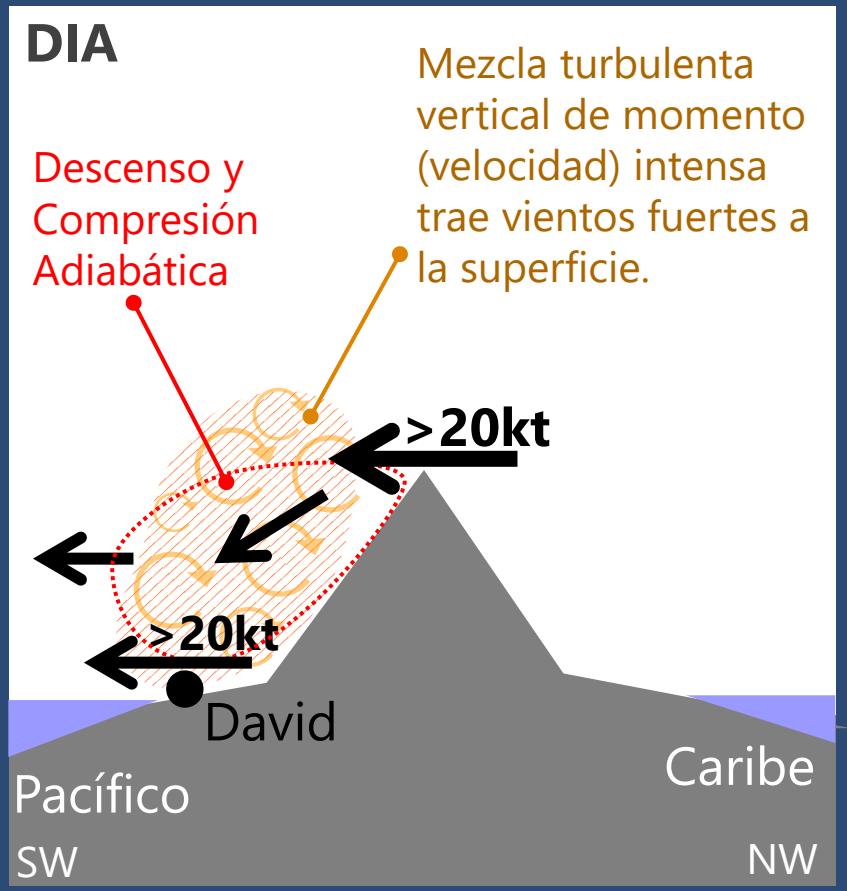
Vientos en 850 hPa

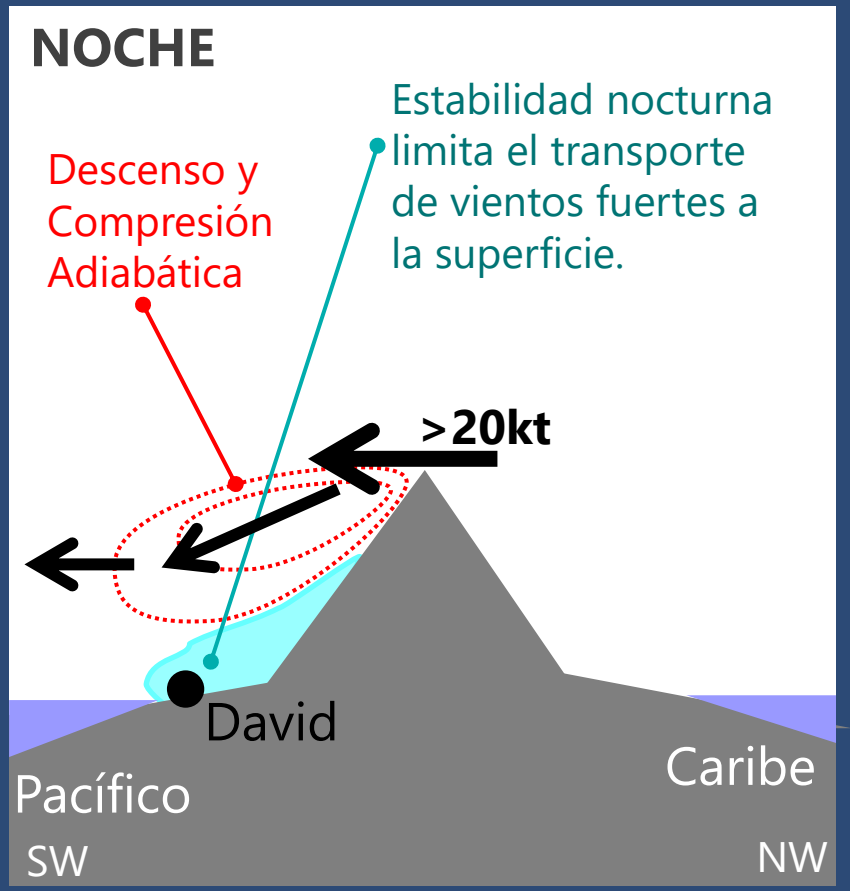


Proxy Vis



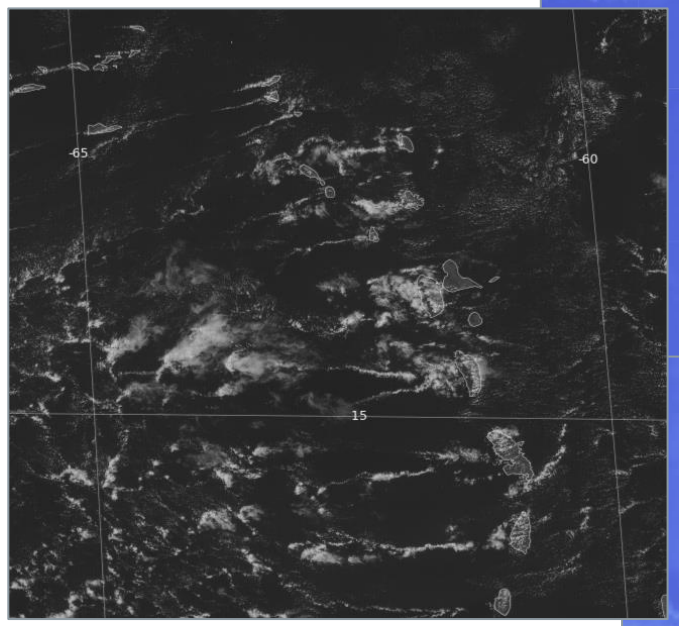
El terreno en Centroamérica puede favorecer vientos fuertes en áreas pobladas, como David, Panama.

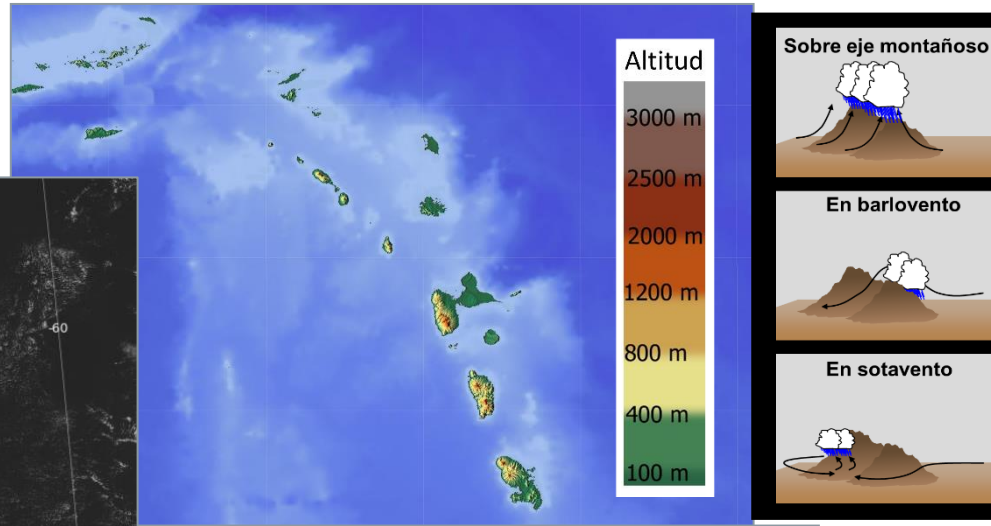


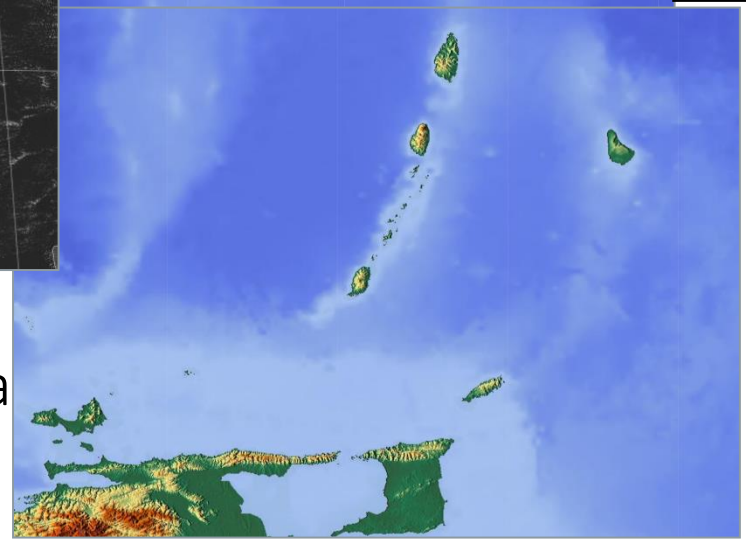


Terreno en las Antillas Menores

- **Volcanico: elevación puntiagudo.**
- **Los modelos globales no pueden resolver el terreno apropiadamente, que generalmente causa subestimación generalmente de lluvias e impactos de otro clase de tiempo.**
- **Producen serpentinas**



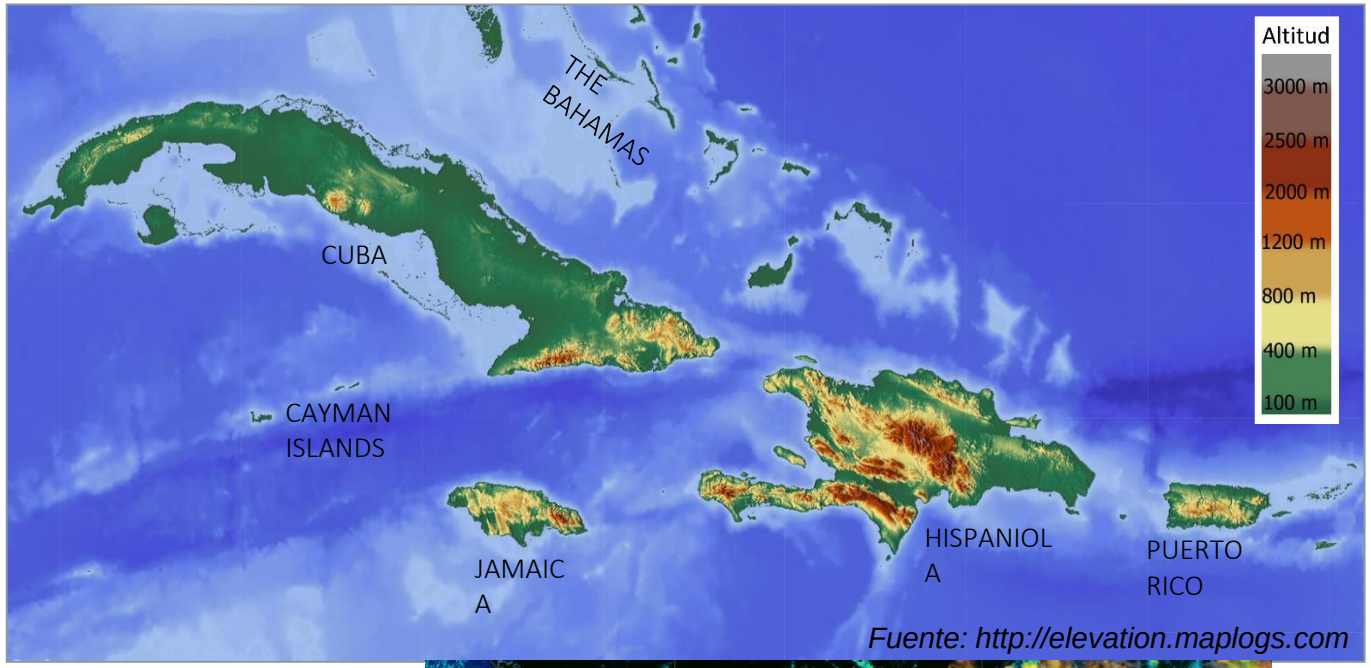




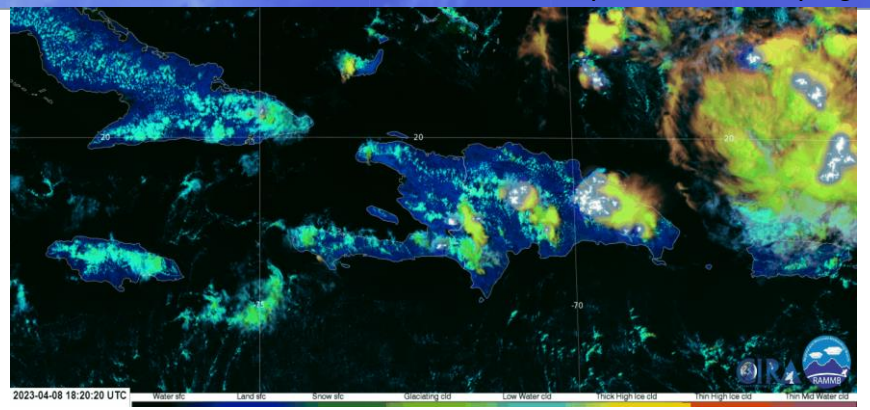
Nubes serpentinas se forman sobre y/o con la corriente de las Antillas Menores

Terreno en las Antillas Mayores

- **Hispaniola tiene terreno alto.**
- **Seguido por Puerto Rico, Jamaica y el sureste Cuba.**
- **Estimula convección en la tarde, que se altera con la corriente siguiendo los vientos bajo-medio troposféricos.**
- **Ascensos contracorriente de la cordillera favorece lluvias fuertes, especialmente en la noche/madrugada.**
- **Favorece regiones de descensos y secamiento con la corriente.**



Fuente: http://elevation.maplogs.com



Terreno de Sudamérica Tropical (Norte)

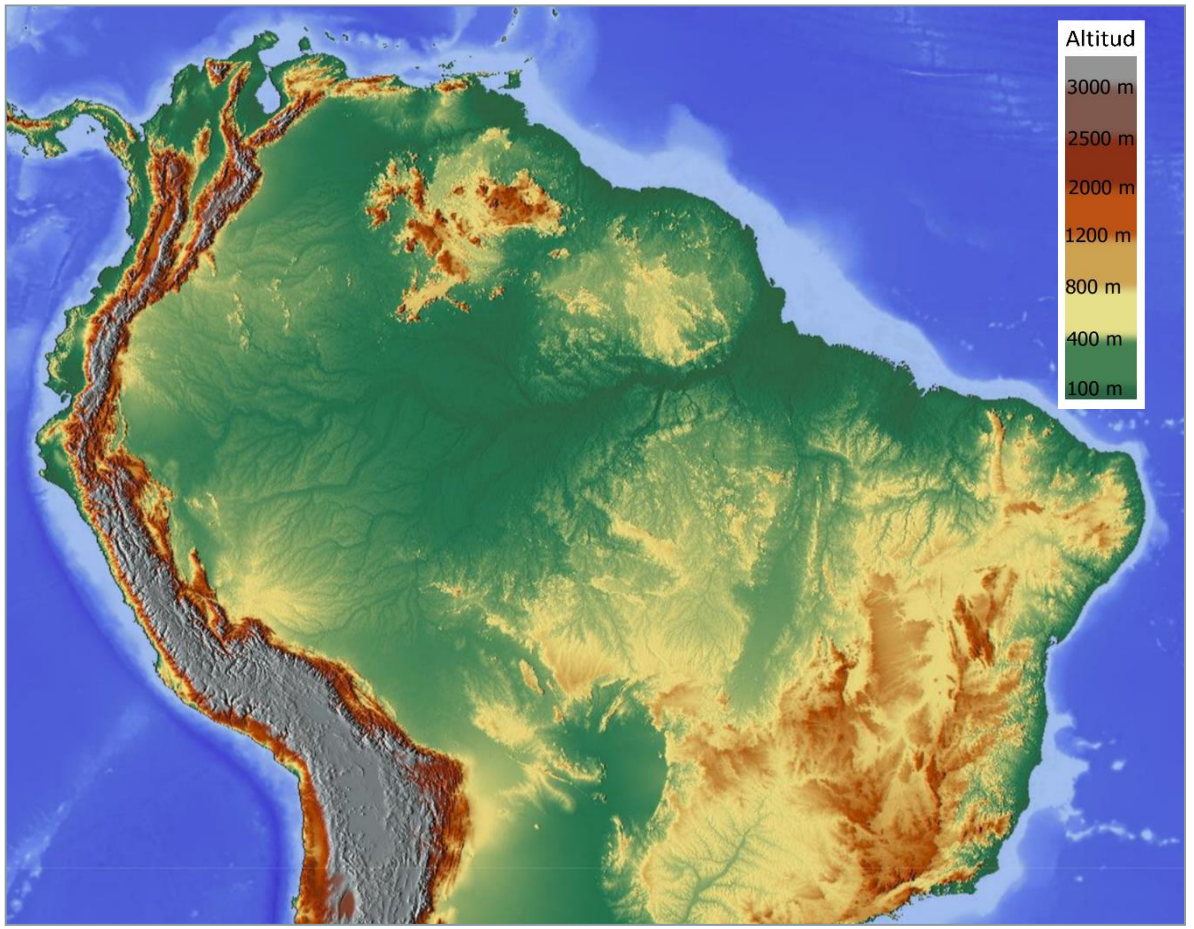
- **Los Andes son los mas prominentes.**
- **Roraima/Canaima/Guianas actúan como escudo, y el este de Brasil tiene elevación**
- **Los Andes:**

a) **Dividen las masas de aire del Pacifico y de la Amazona, especialmente debajo de los 10000 pies.**

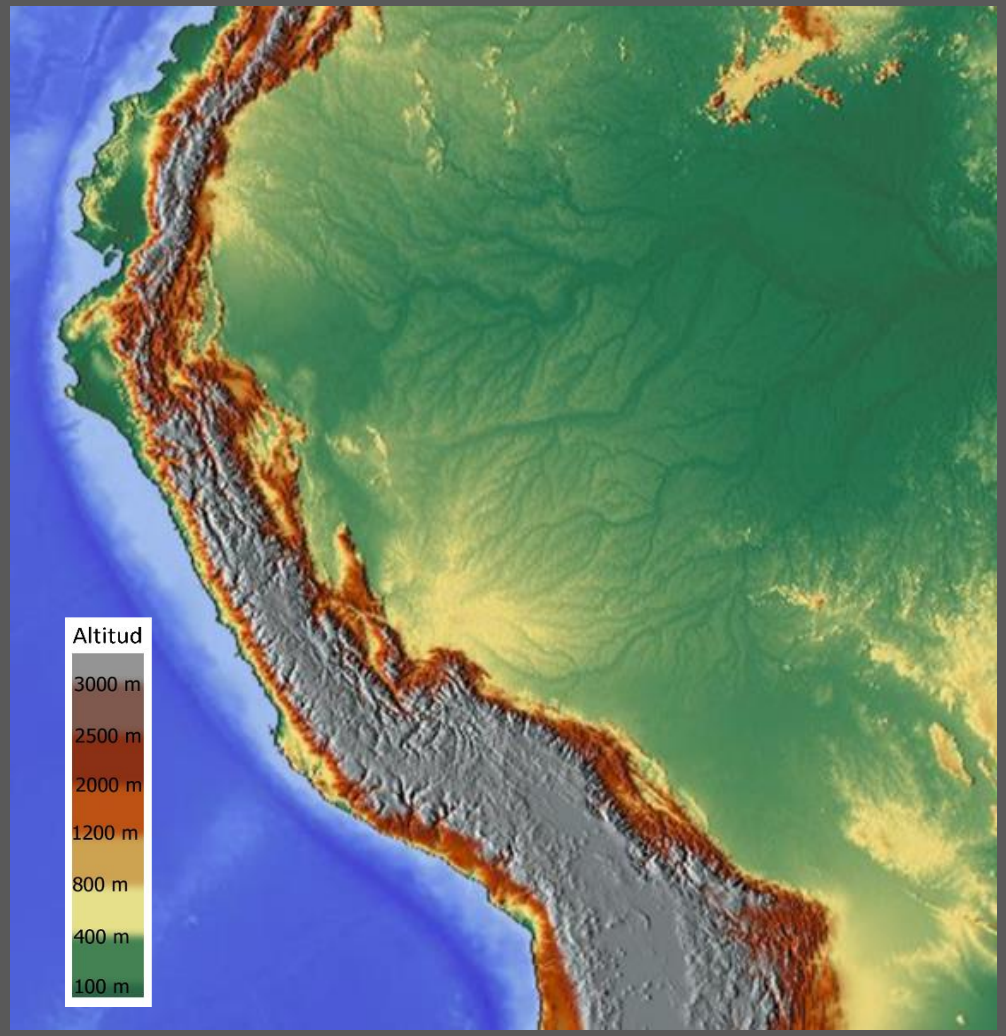
b) **Canalizan el flujo de las regiones que desarrollan los chorros de niveles bajos y medios.**

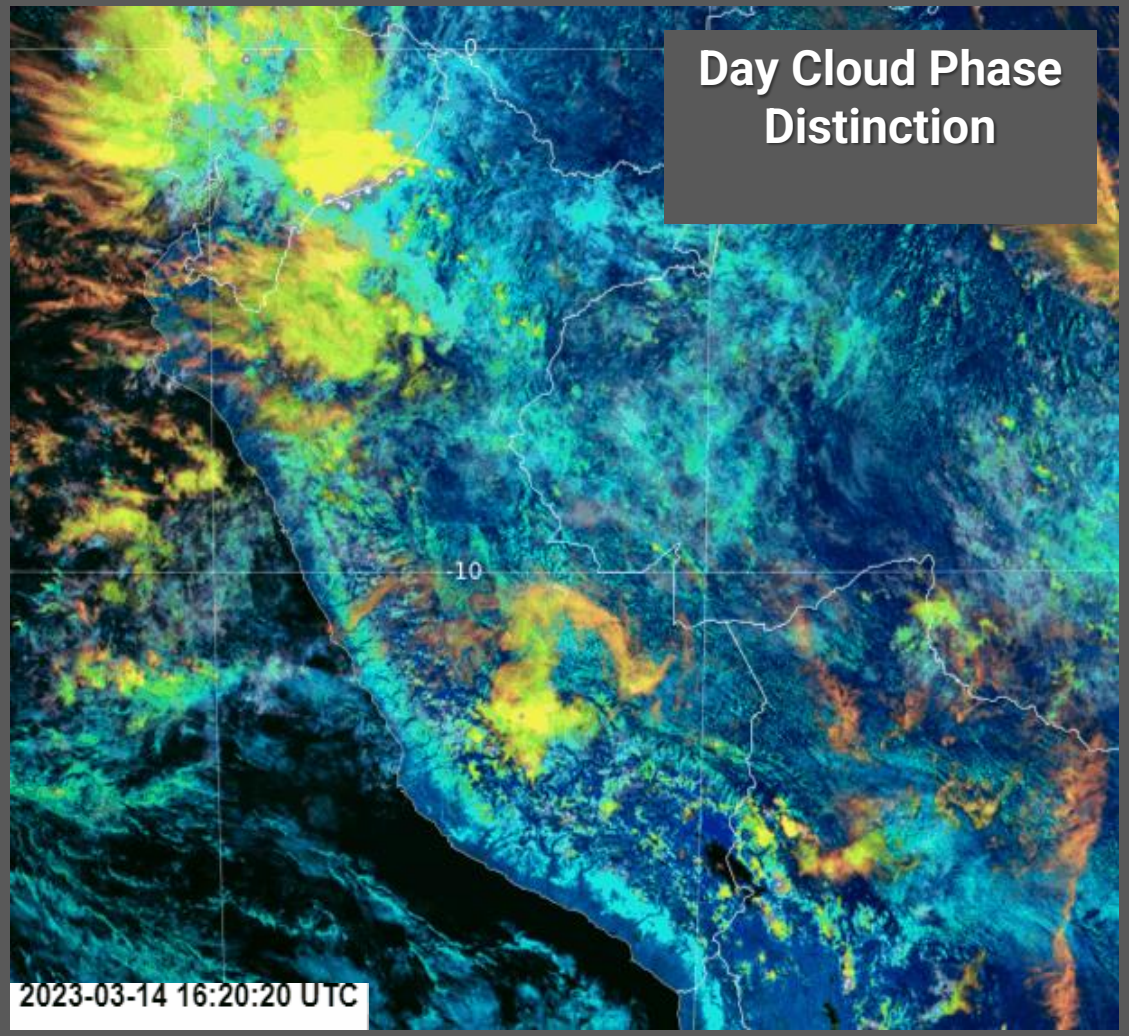
c) **Favorecen lluvias extremas por los vientos húmedos perpendiculares.**

d) **Favorecen convección en la tarde, especialmente cuando el flujo de niveles medios están débiles y hay humedad disponible.**



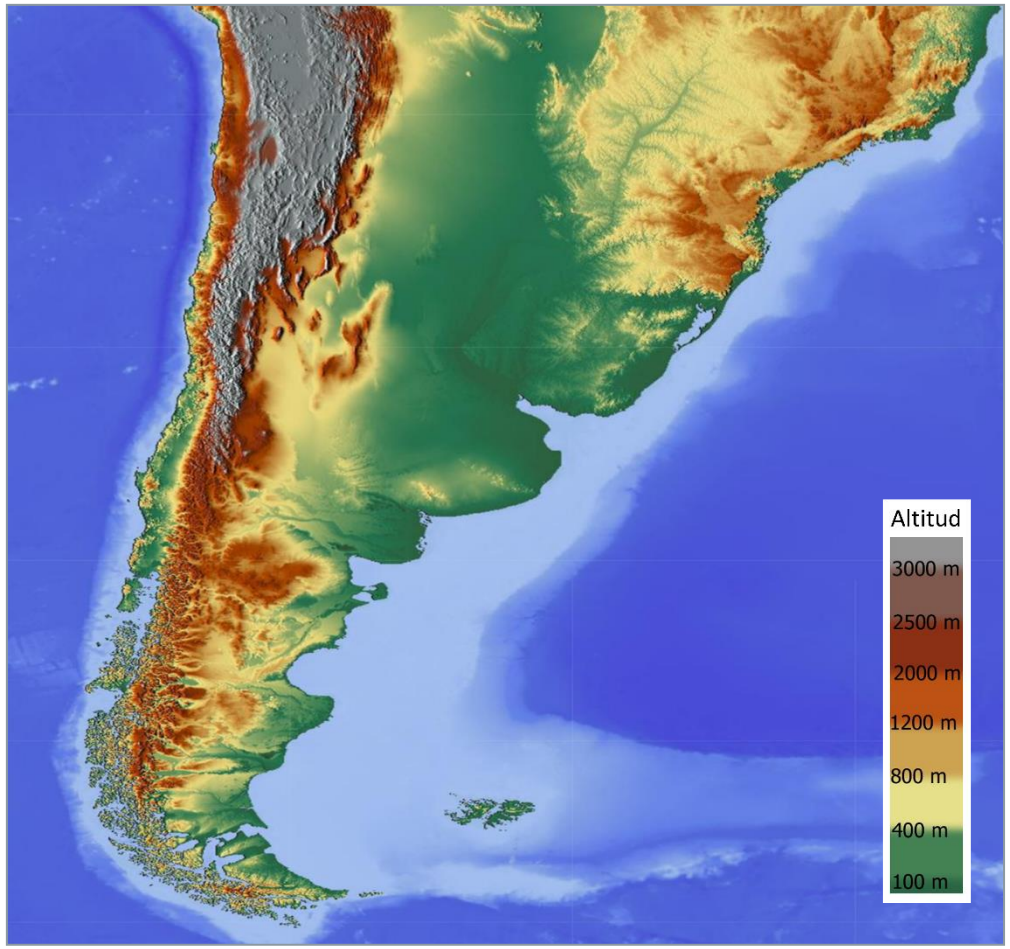
Efectos de los Andes en la Convección





Terreno en el Sur de Sudamerica

- **Los Andes son muy altos (>600 hPa) al norte de 40°S y hasta 900-800 hPa al sur.**
- **Vientos fuertes frecuentes favorecen compresión adiabática fuerte y turbulencia en Patagonia, cuando se descienden en el sotavento de los Andes.**
- **Vaguadas en altura y chorros también favorecen turbulencia fuerte cuando cruzan los Andes al norte, con vientos fuertes.**
- **La Serra do Mar (SE Brasil) pueden producir lluvias fuertes con flujo húmedo del S, SE y E.**
- **El corredor plano en el centro favorece el transporte húmedo de la Amazona a Patagonia.**



Dificultades del Predicción Numérica del Tiempo (PNT) con el Terreno

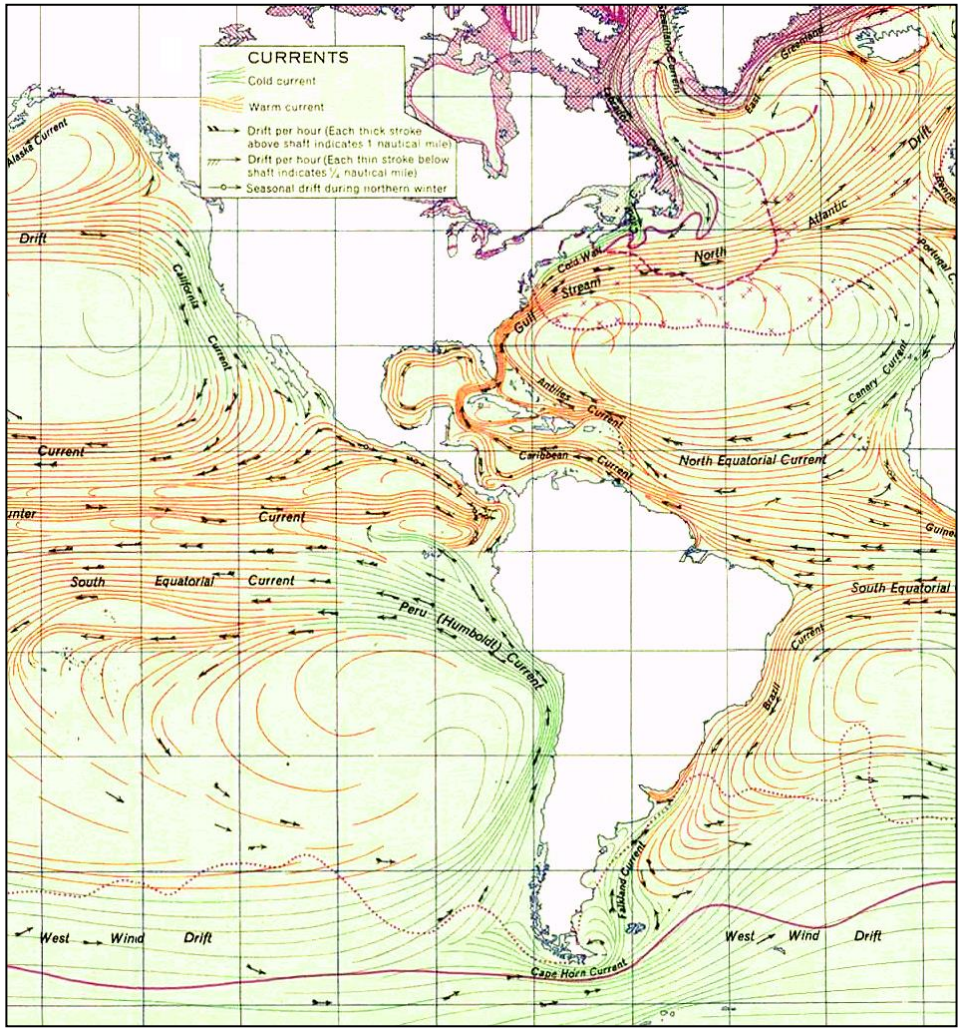
- **La resolución relativamente baja de los modelos globales limita la habilidad de “ver” o resolver el verdadero terreo y sus efectos. Ejemplos:**
  - Unas islas caribeñas son muy pequeñas (los efectos de las nubes serpentinas no son resueltas apropiadamente.
  - Los Andes son muy angostos y altas en partes de Sudamérica (los modelos suavizan las montanas).
- **Dado por ejemplos como estos, las circulaciones diurnas y sus impactos en la precipitación no son resueltas apropiadamente.**

02a

El Océano y los Impactos en la Atmosfera

Corrientes de los Océanos

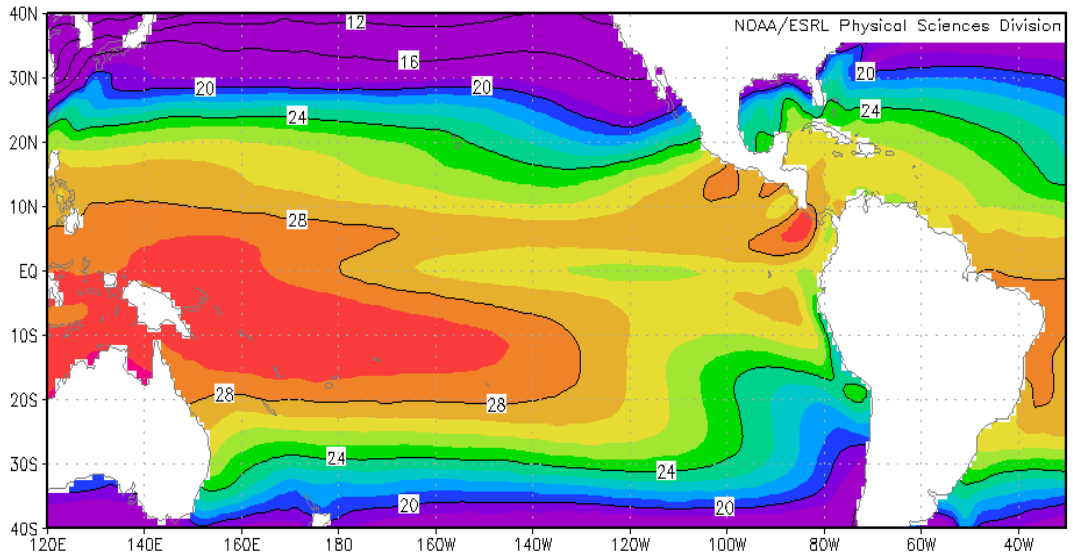
- **Revueltos por los vientos de superficie, y en un grado menor por los procesos subsuperficial.**
- **Corrientes frias a lo largo de las costas oeste.**
- **Corrientes calientes a lo largo de las costas este.**
- **Gradientes intensos en las costas este en el extratropical donde la corriente del Golfo se encuentra con la corriente Labrador y conde la corriente por Brasil se encuentra con la corriente Mavinas. Estos favorecen cyclogenesis.**
- **Corrientes ajustan las TSM.**



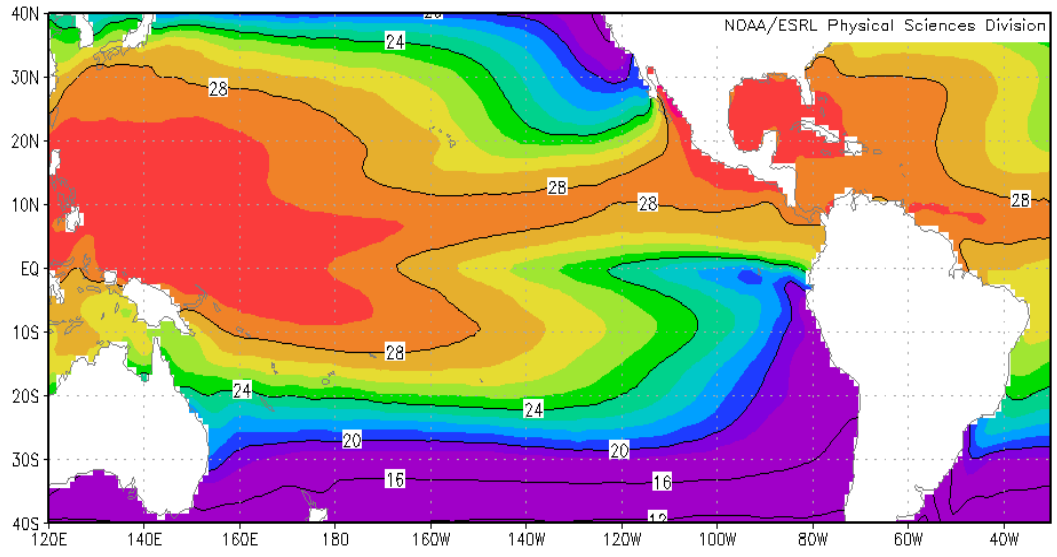
Map collection of the Perry-Castañeda Library (PCL) of the University of Texas at Austin.

Temperatura Superficial del Mar

FEB-MAR



AGO-SET



El Pico de la Temporada Caliente en el Hemisferio Sur

El Pico de la Temporada Caliente en el Hemisferio Norte

Fuente: OISST (NOAA/ESRL) – Climatología 1981-2010

TSM son las variables importantes del clima

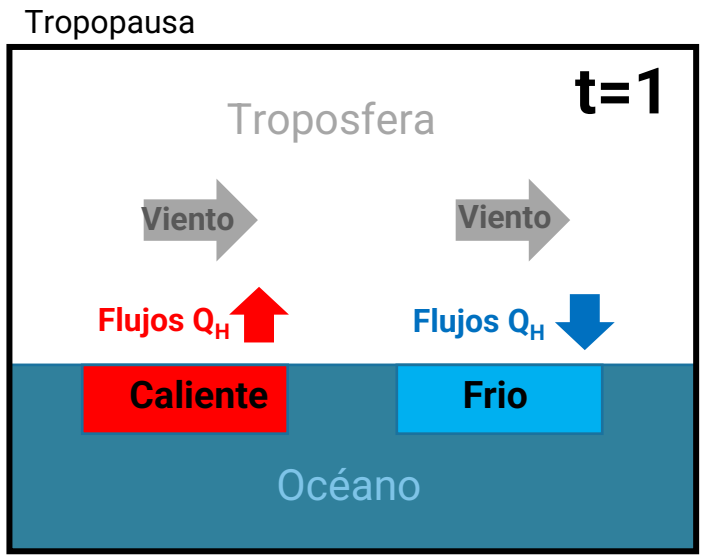
- Los océanos cobren la mayoría del mundo.
- Son fuentes estables de calor y humedad, ya que sus temperaturas varían lentamente. [El calor especifico alto del agua C_P estabiliza variación de temperatura].
- La atmosfera solo “ve” las temperaturas superficiales del mar (TSM), pero las anomalías de temperatura de la capa pueden afectar las TSM en semanas y meses.
- Precipitación y convección también reaccionan a las TSM y las anomalías, generalmente amplificado (inhibido) flujo abajo por las anomalías calientes (frias).

Clave: Temperaturas del océano que cambian lentamente son útiles para los pronósticos climáticos y subestacionales.

?Como modulan las TSM las circulaciones atmosféricas?

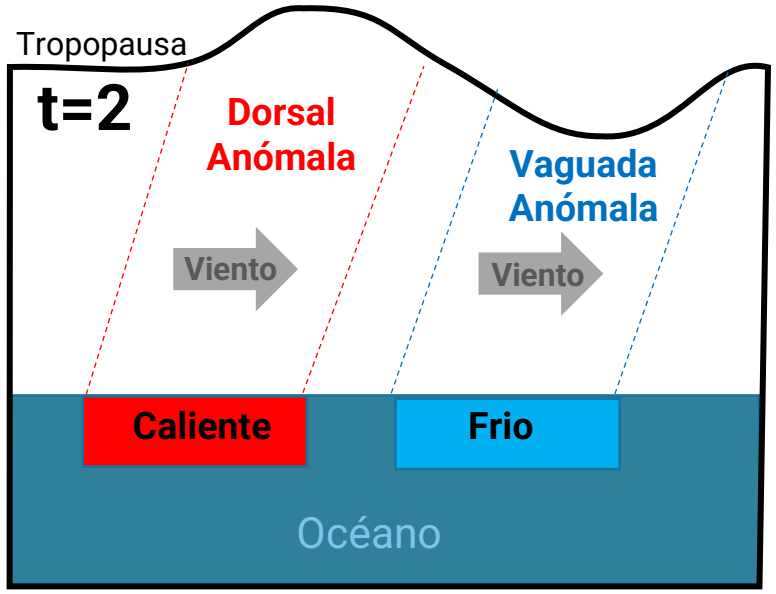
TSM afectan las termodinámicas atmosféricas y el flujo reacciona

Calentamiento diferencial favorece dorsales y vaguadas anómalas.



Anomalías de TSM calientes y frías se comunican con los flujos generales de la atmosfera, controlados por los gradientes de los vientos y temperaturas.

Esto en torno, se comunica con el resto de la troposfera por medio de mezcla turbulenta, favoreciendo dorsales y vaguadas anómalas flujo bajo de las anómalas iniciales.

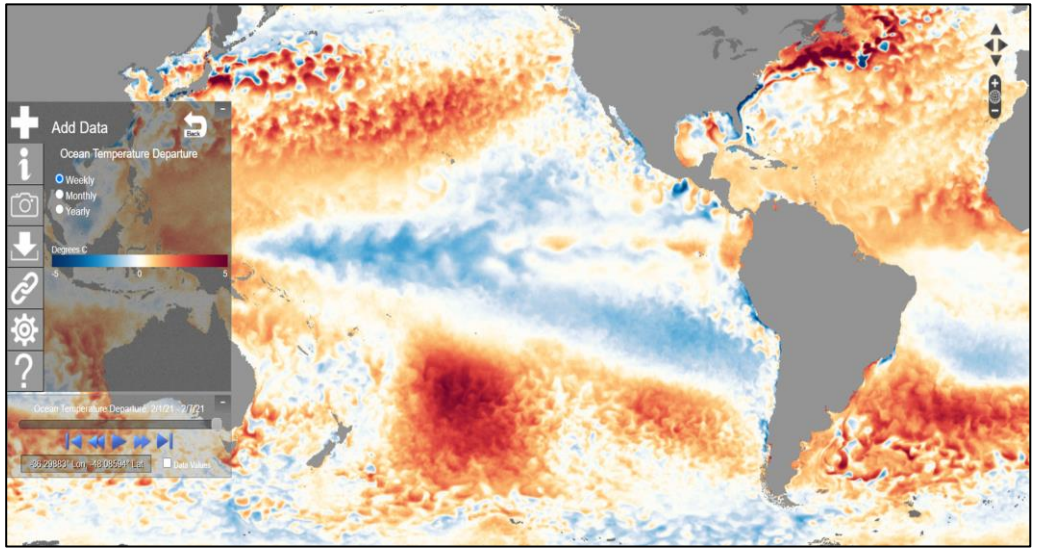


Los dorsales y vaguadas que resultan desarrollan circulaciones anómalas.

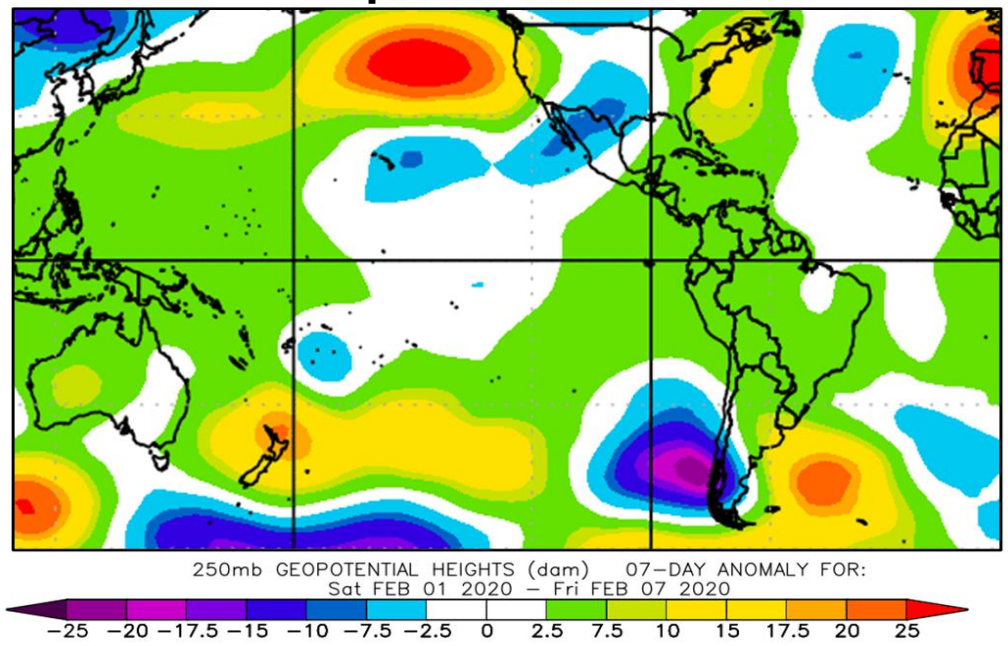
TSM afectan las termodinámicas atmosféricas y el flujo reacciona

- Vaguadas y dorsales son favorecidas sobre y flujo bajo de las anomalías de TSM.
- Aun, la variabilidad sinóptica en los extra tropicales sobrepasa la influencia de las TSM y sus anomalías.

Anomalías TSM

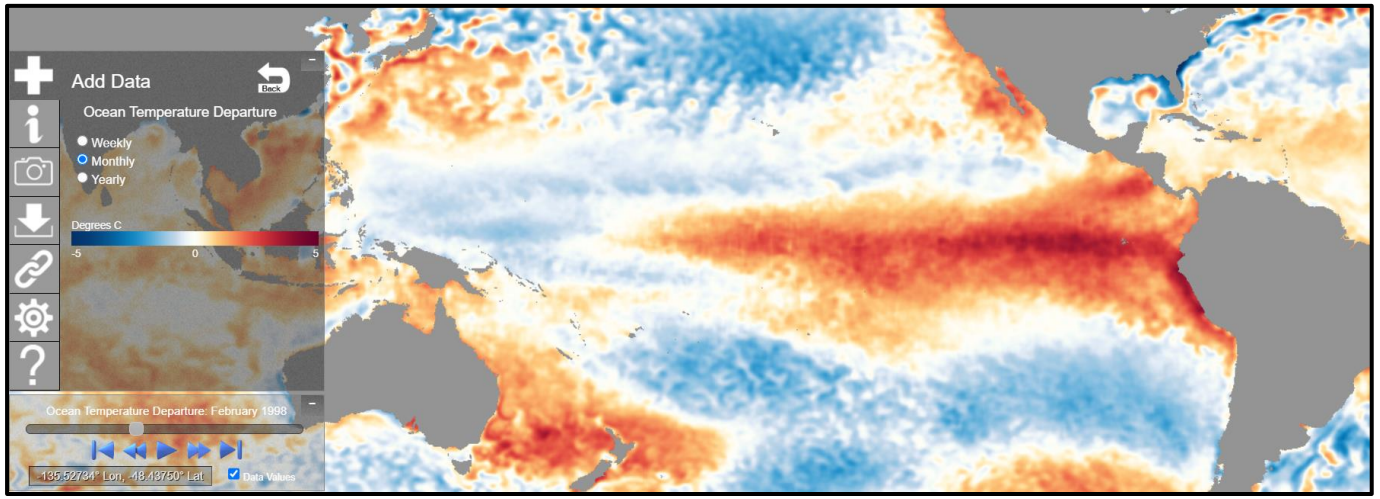


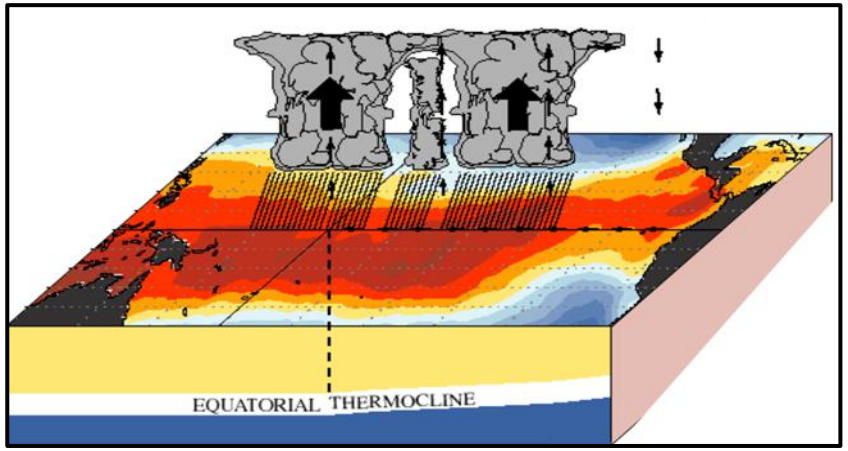
Altura Geopotencial en 250 hPa



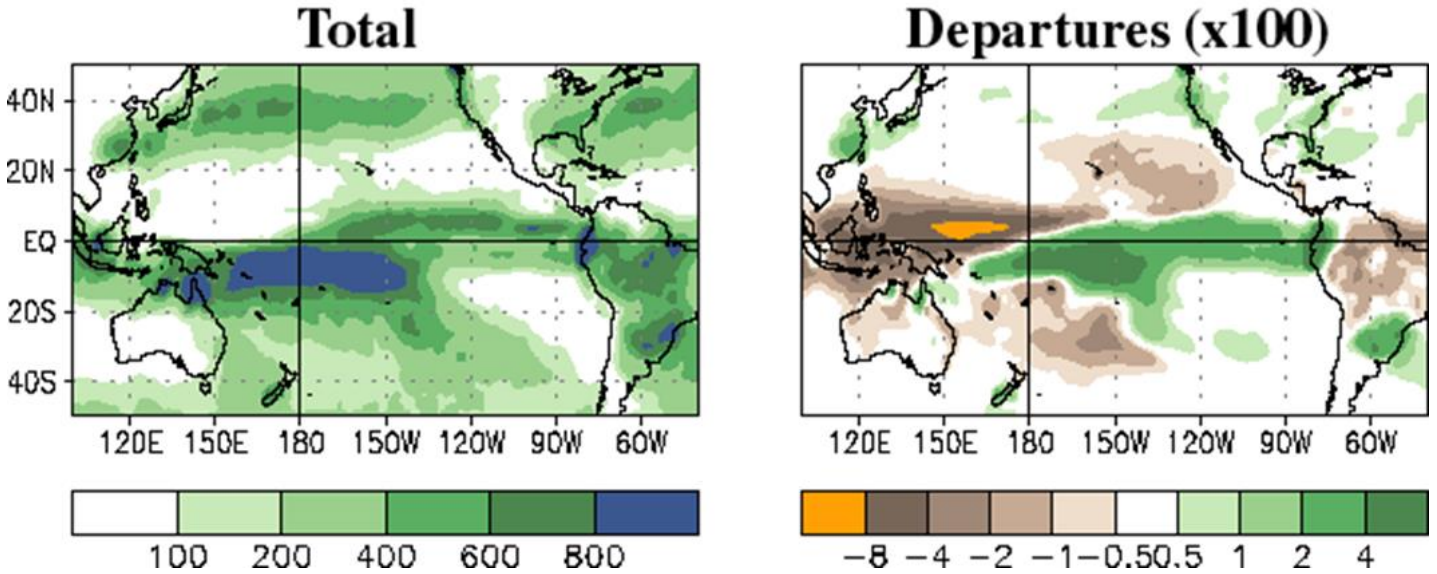
El Niño de 1998

TSM Anomalías Feb 1998

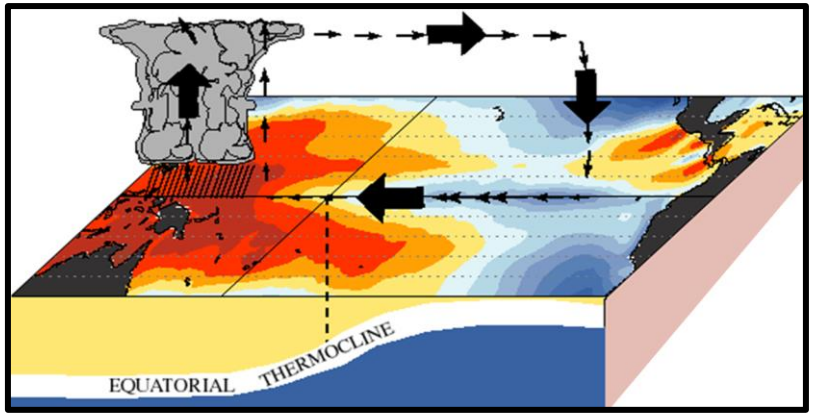




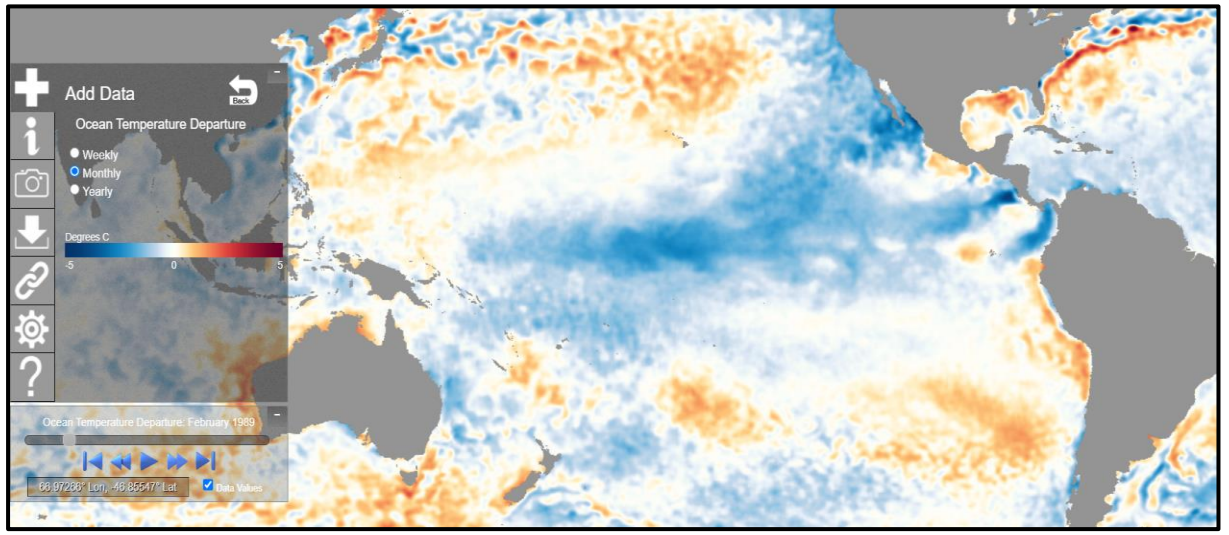
Jan-Mar 1998 Precipitation (mm)



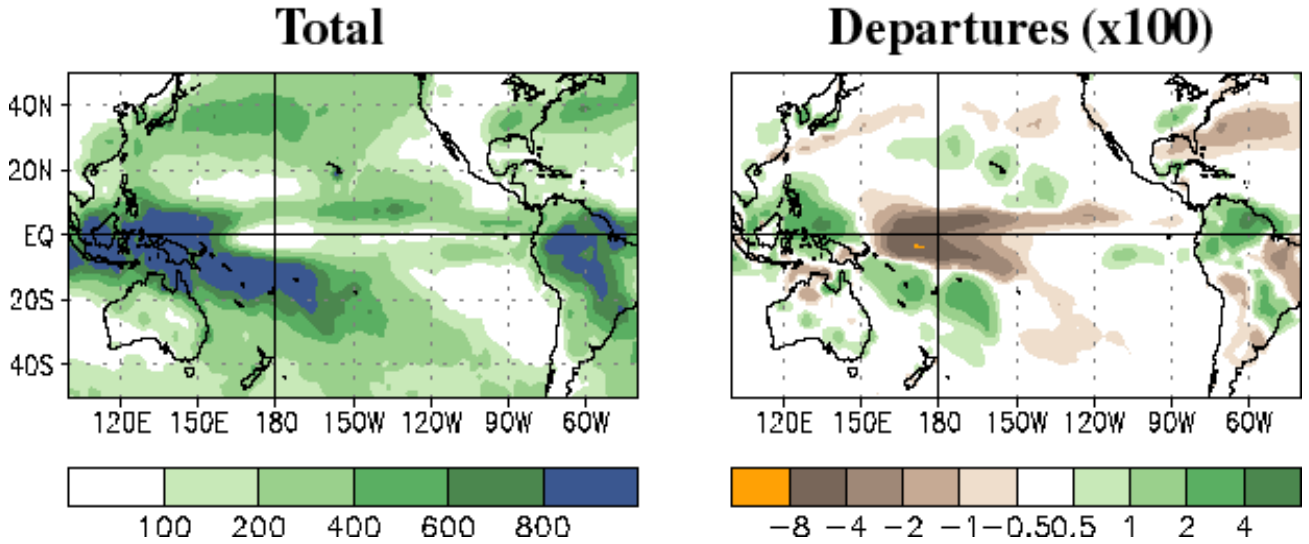
La Niña de 1989



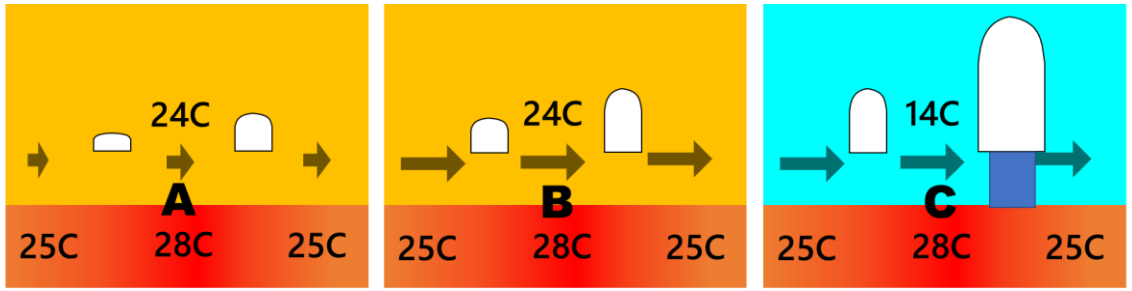
TSM Anomalías Feb 1989



Jan-Mar 1989 Precipitation (mm)

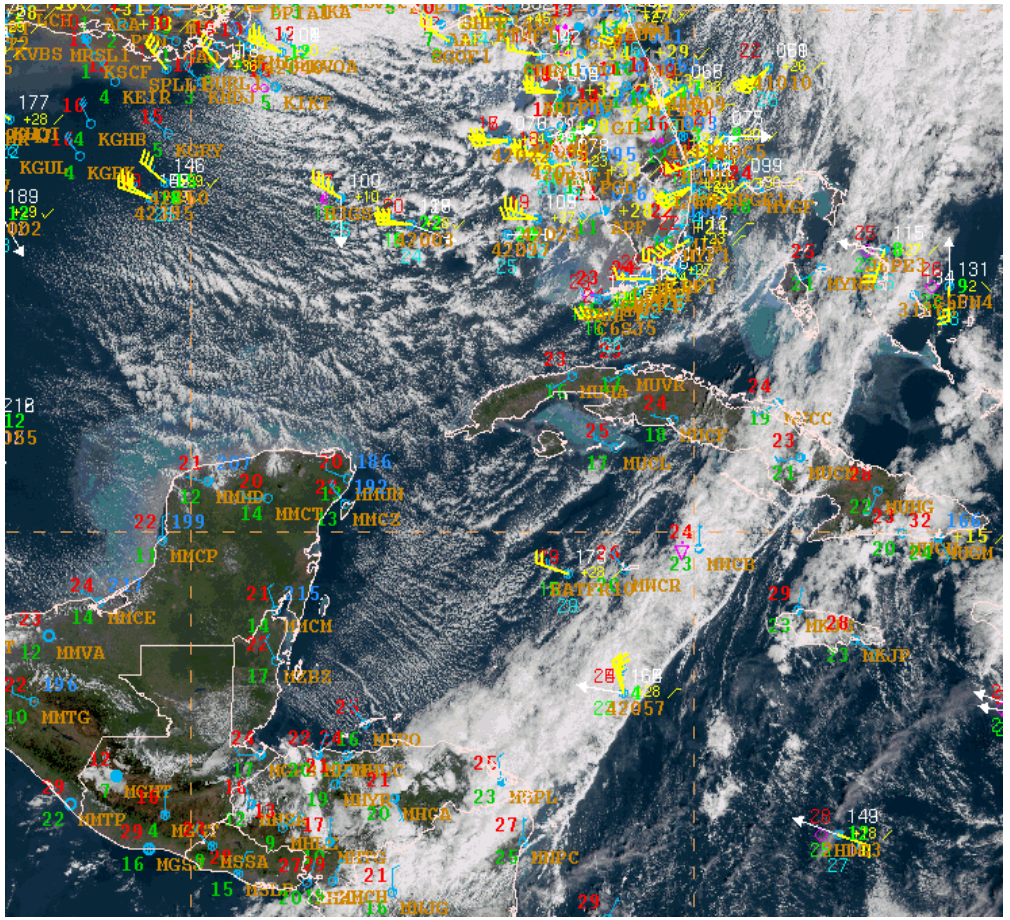


Intrusiones de aire helado generan convección (Aire helado Cu)



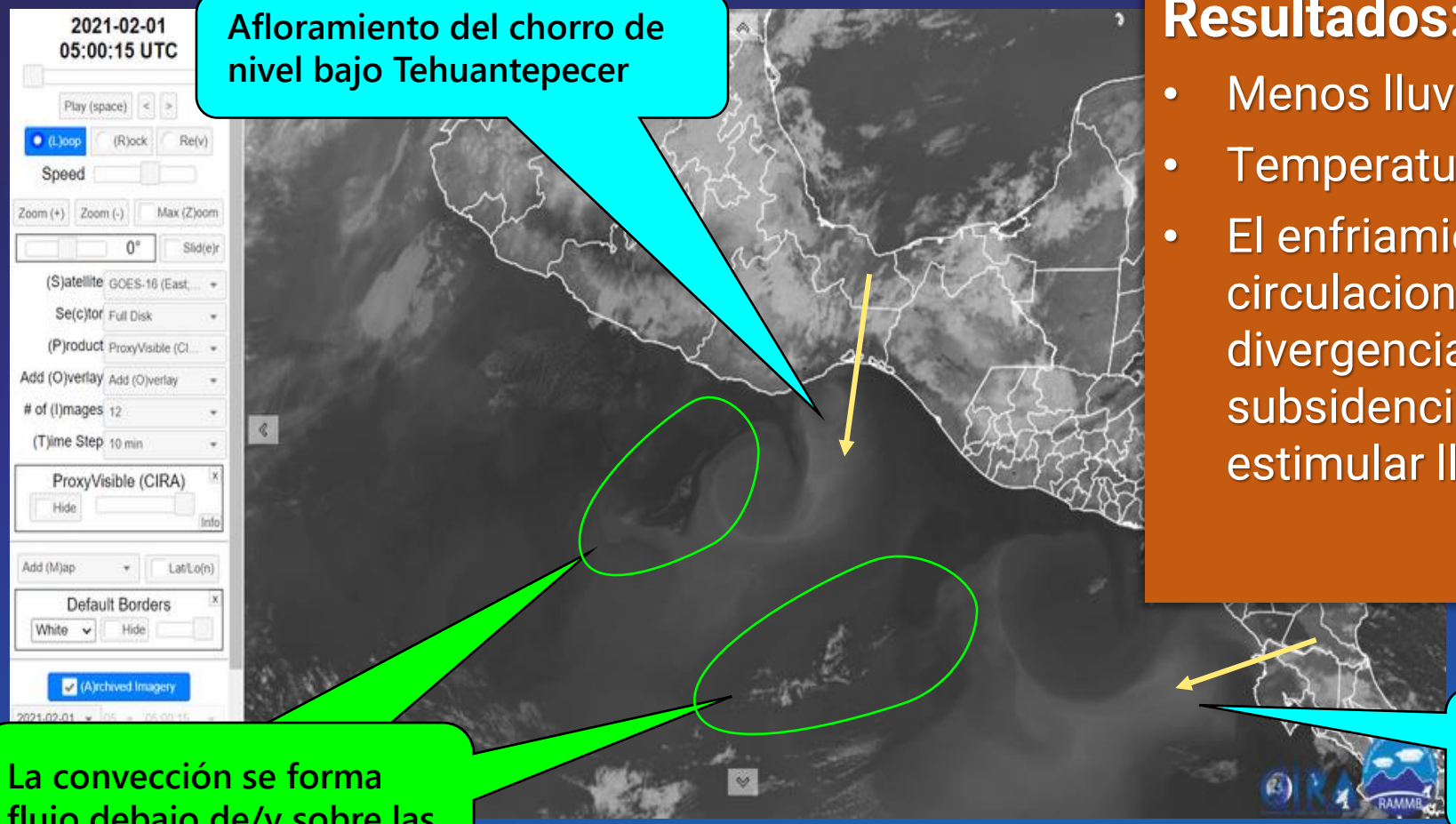
Después de que pasa un frente o durante el cambio de vientos del norte (en el Caribe), adveccion de aire helado sobre aguas calientes:

1) Extraen calor y humedad del océano
2) Desestabilizan la troposfera baja.
3) Cúmulos de aire helado se forman (Cu moderados y Cu congestus)



Implicaciones en la Aviación: Convección y turbulencia en la troposfera baja.

TSM fríos tienden inhibir la convección



Afloramiento del chorro de nivel bajo Tehuantepecer

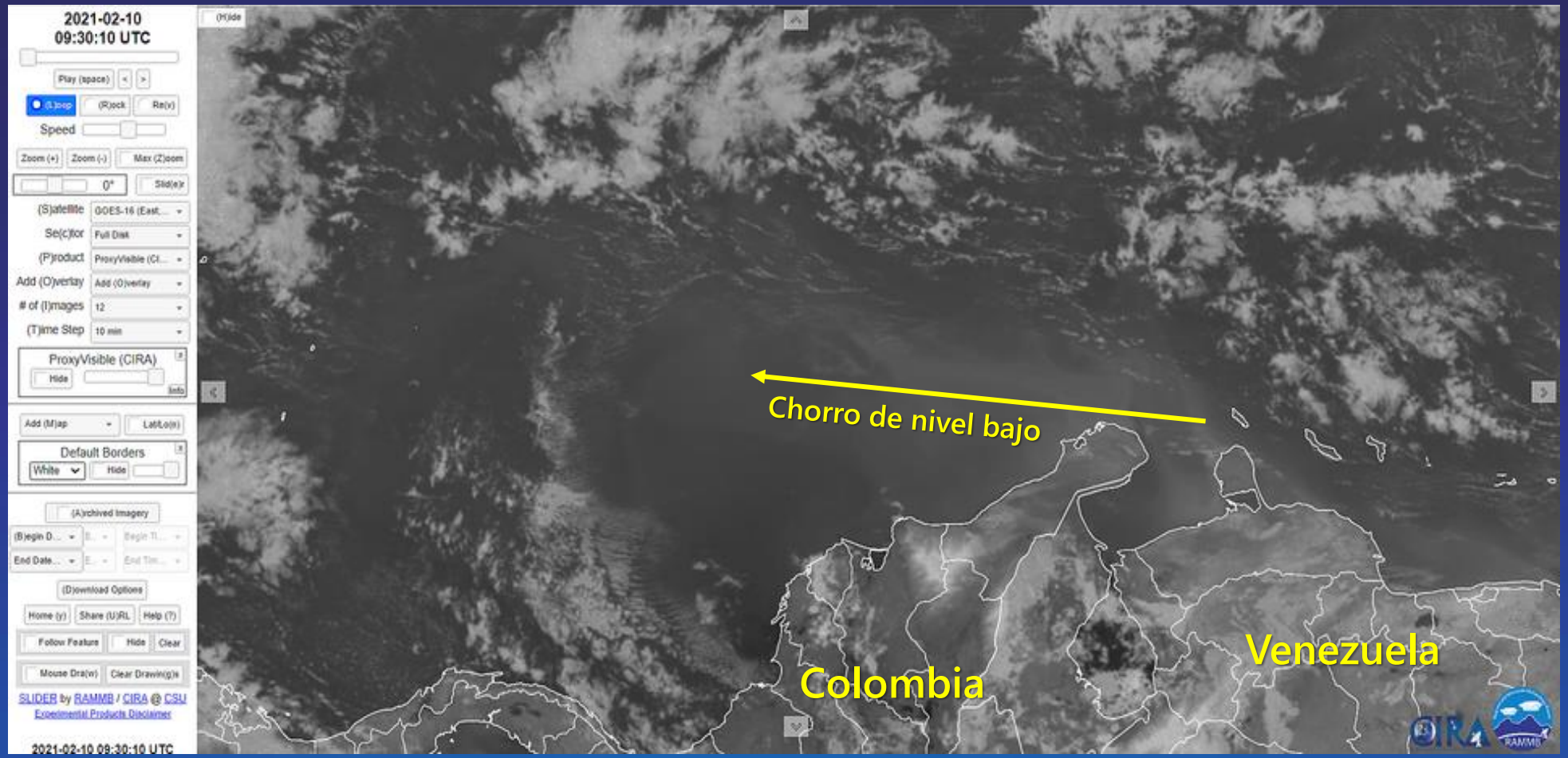
Resultados:

- Menos lluvia que se espera.
- Temperaturas bajas.
- El enfriamiento también puede modificar circulaciones por el desarrollo de divergencia en niveles bajos y subsidencia localmente. Esto puede estimular lluvias en la periferias.

La convección se forma flujo debajo de/y sobre las TSM mas cálidas

Afloramiento del chorro de nivel bajo Papagayo

TSM: Afloramiento inhibe convección



03

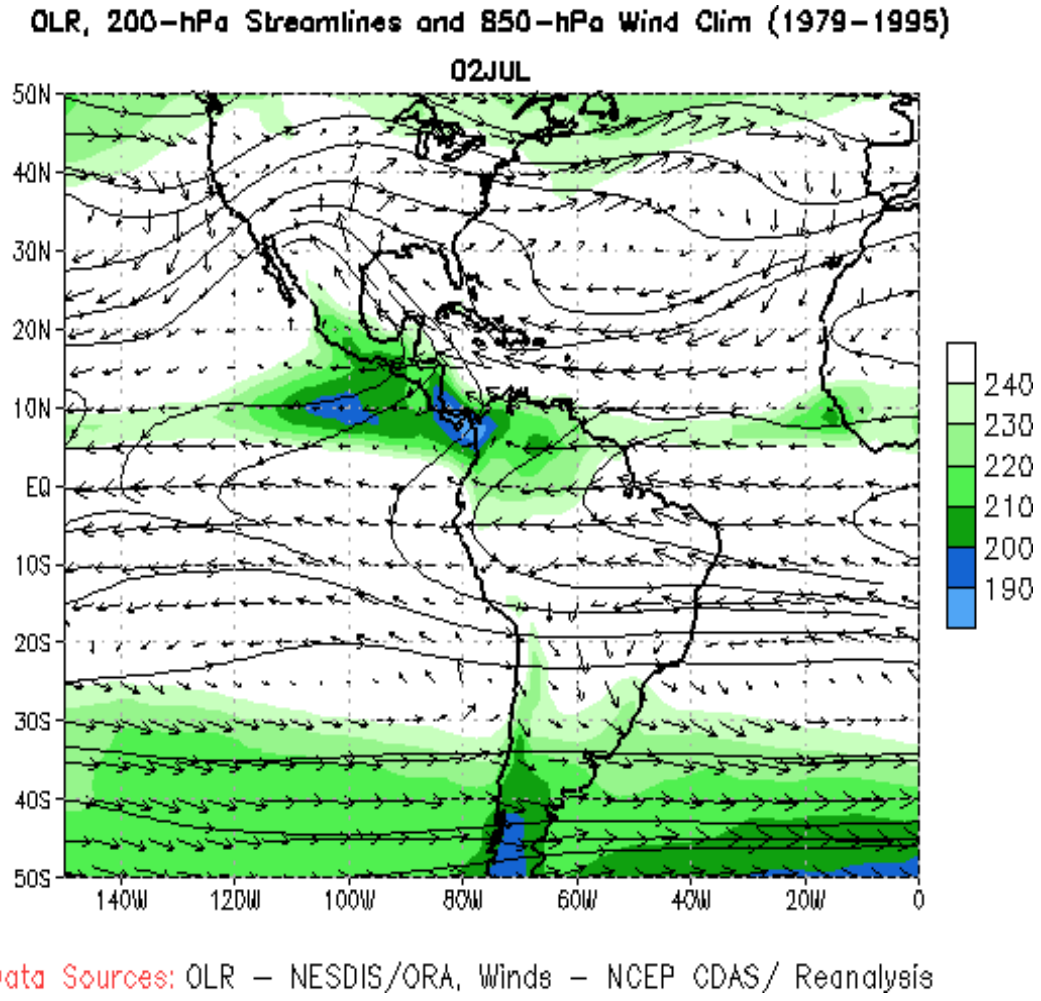
Alto, Media, y Baja Troposfera: Climatología del Flujo y Sistemas de Interés

03a

Flujo en Altura y Sistemas de Interés

Ciclo Anual del Flujo en 200 hPa

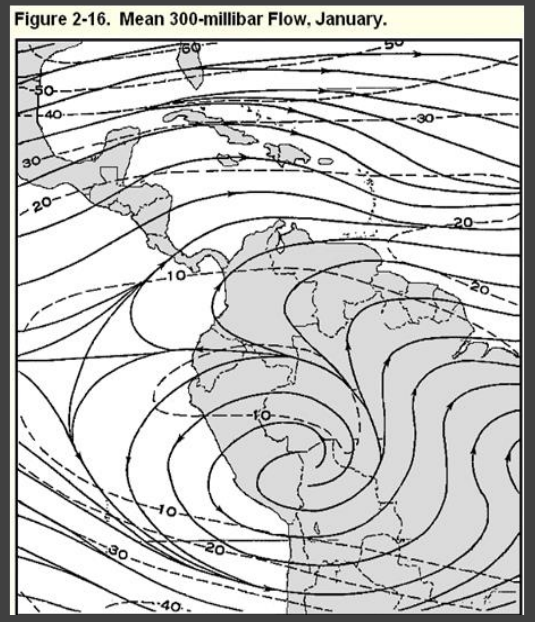
- **Dorsales en altura siguen al calentamiento por condensación de la convección profunda.**
- **Radiación de Onda Larga Saliente (OLR, siglas en ingles) baja (azules y verdes) representa topes de nubes mas frias, que frecuentemente es asociado con mas tormentas.**
- **Notar que las dorsales en altura (en líneas de corriente) siguen las OLR bajas (convección profunda).**
- **Dorsales subtropicales se forman sobre regiones continentales mas amplias durante el verano.**
- **Sobre el Atlántico tropical, Caribe, y norte de Sudamérica, domina la dorsal “Subecuatorial”**



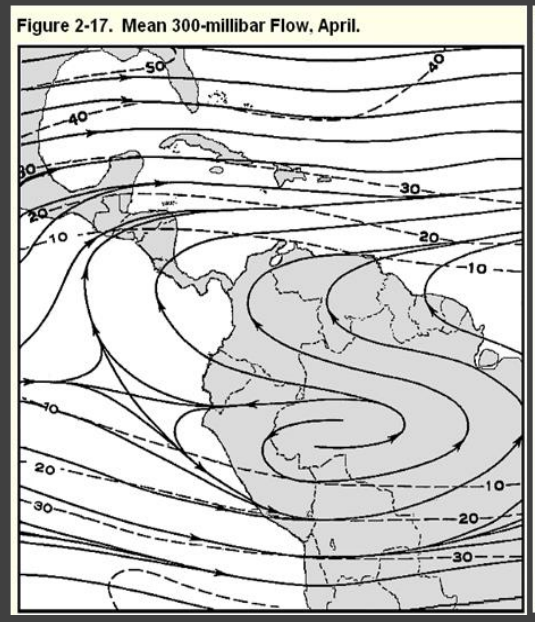
Flujo en 300 hPa

- Dorsales en altura se desarrollan en los subtropicales durante las temporadas cálidas. Ejemplo: El Alta de Bolivia en Sudamérica en enero y la dorsal subtropical sobre el sur de México en octubre.
- La dorsal subtropical también se mueve del norte de Sudamérica y el sur de Centroamérica en abril hacia el Atlántico norte para julio después de calentamiento.
- Se favorecen las TUTTs entre junio y noviembre, en el norte del caribe.

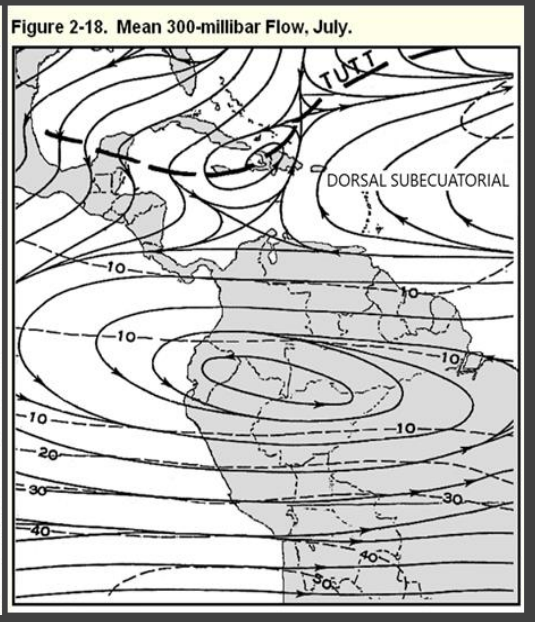
January



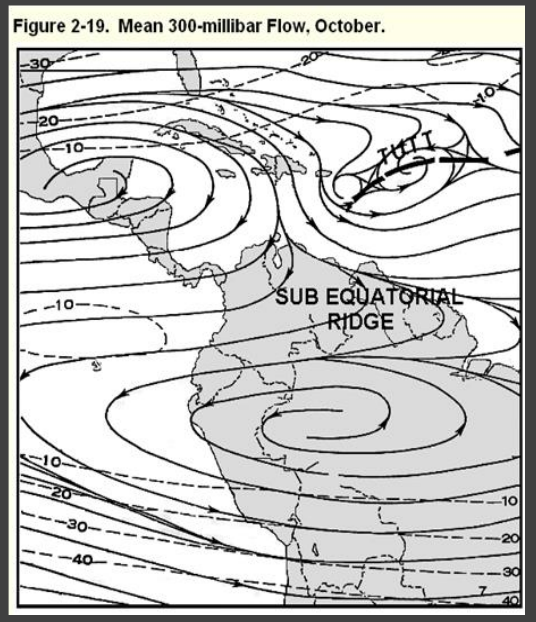
April



July

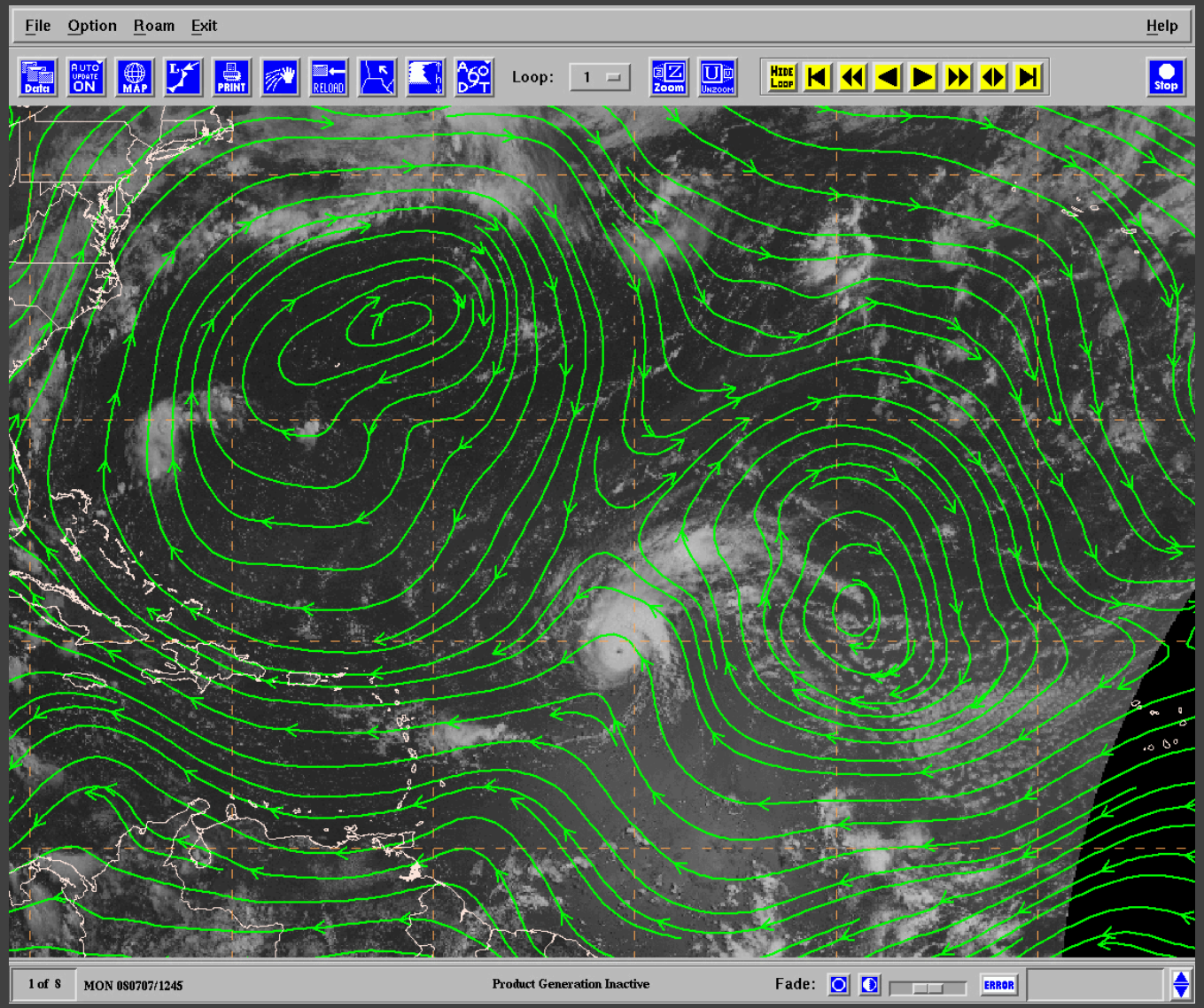


October



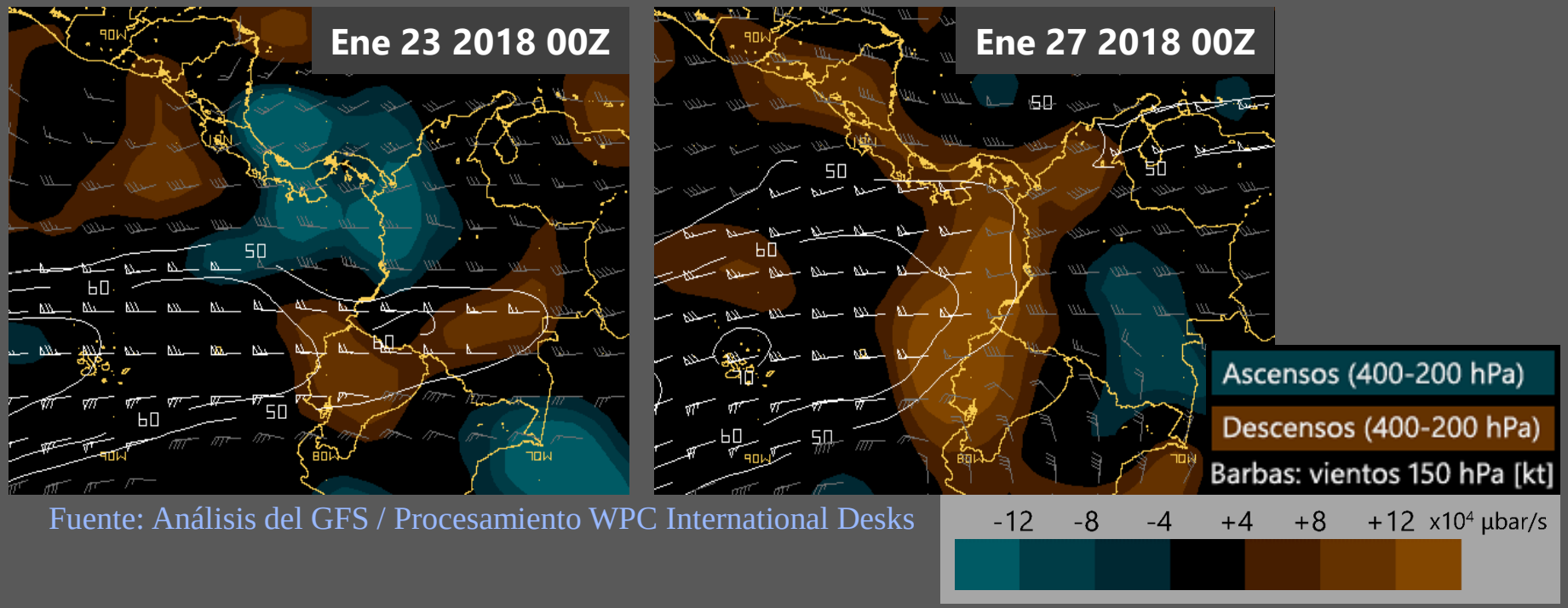
Dorsales en altura dirigen a los ciclones tropicales

Ejemplo: huracán Bertha (2008) dirigiéndose al norte debido a la debilidad de dorsales



Chorro Subecuatorial

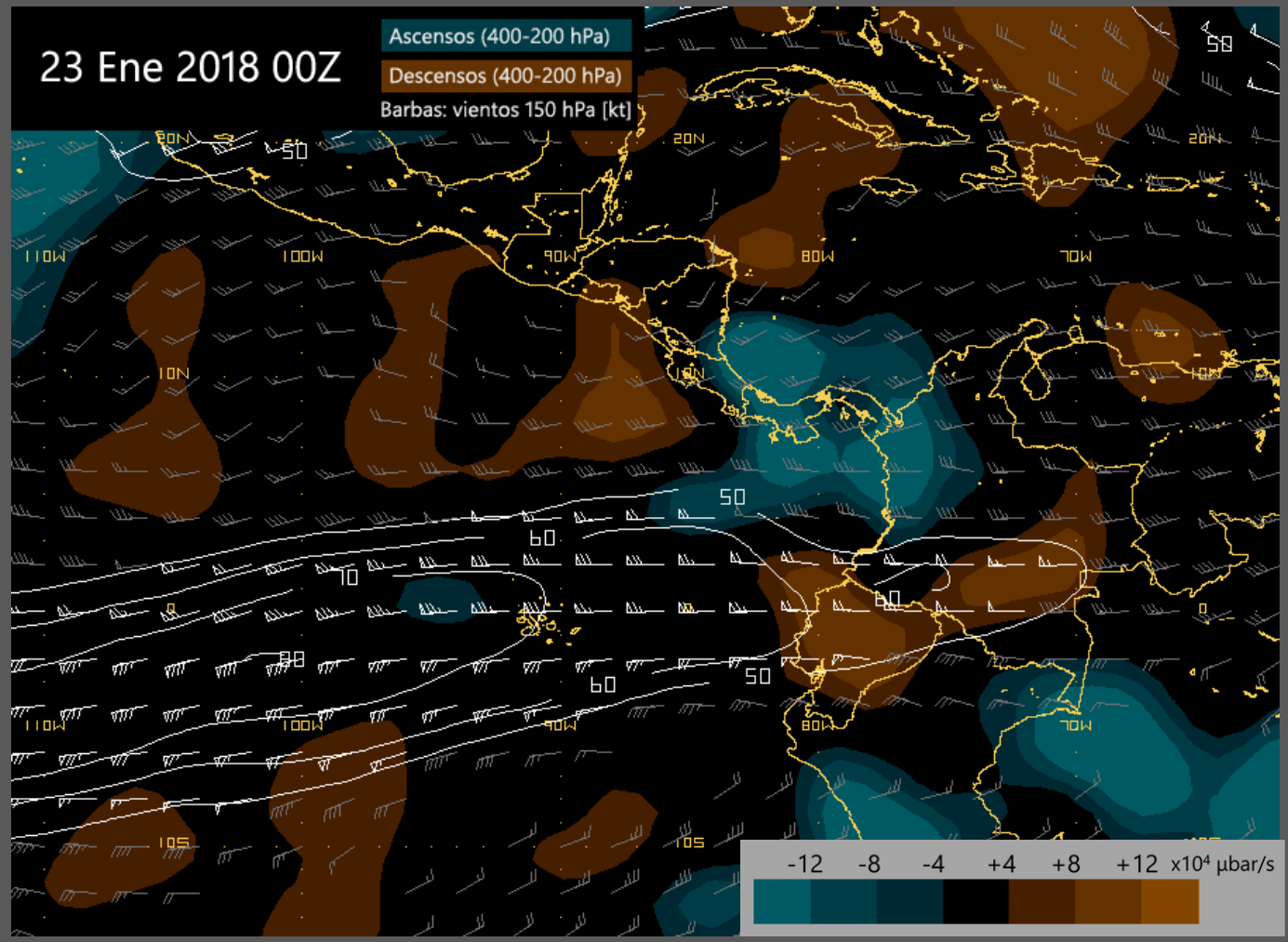
- Intermitente entre diciembre y febrero sobre el este del Pacifico.
- Se define mejor entre 200 y 150 hPa.
- Desciende isotrópicamente desde el Pacifico tropical hacia la costa de Sudamérica. Convergencia intensificada en la entrada estimula descensos in la capa de 200-400 hpa, limitando el desarrollo de convección profunda (condiciones mas secas).



Fuente: Análisis del GFS / Procesamiento WPC International Desks

Chorro Subecuatorial

Animación: Evento de fines de enero de 2018



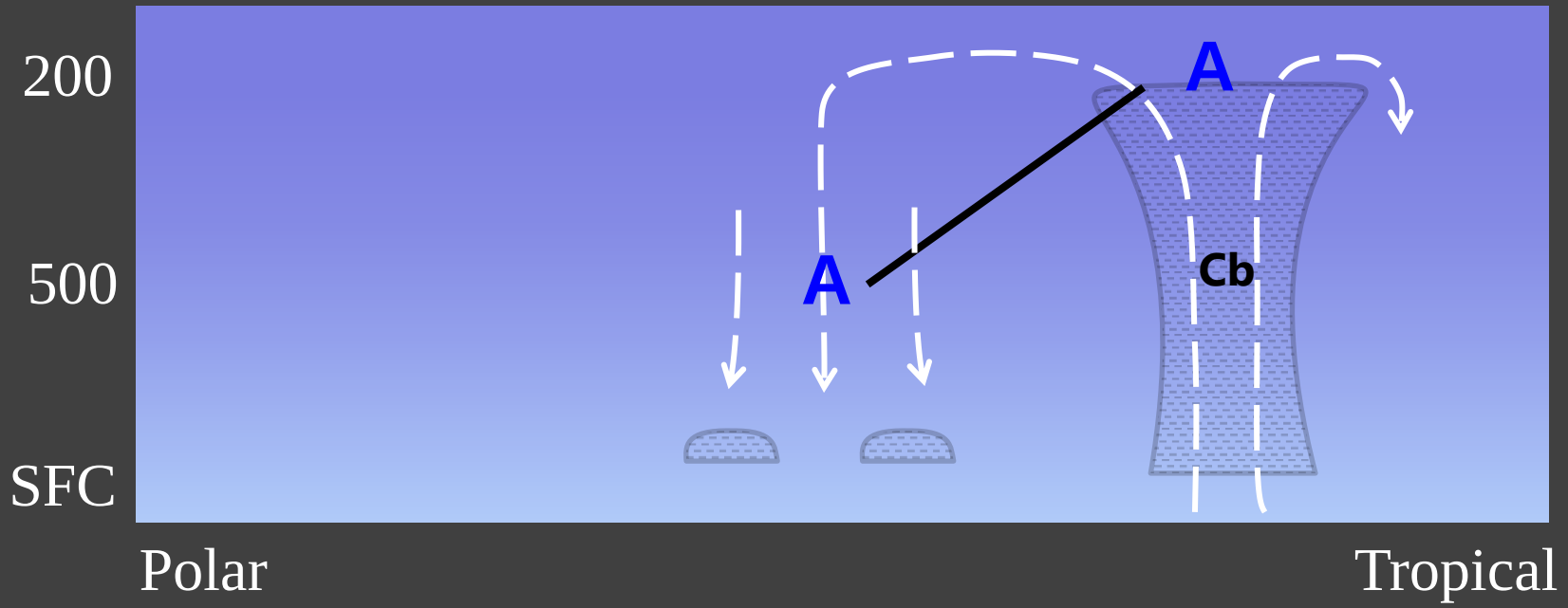
Fuente: Análisis del GFS / Procesamiento WPC International Desks

03b

Flujo Medio y Sistemas de Interes

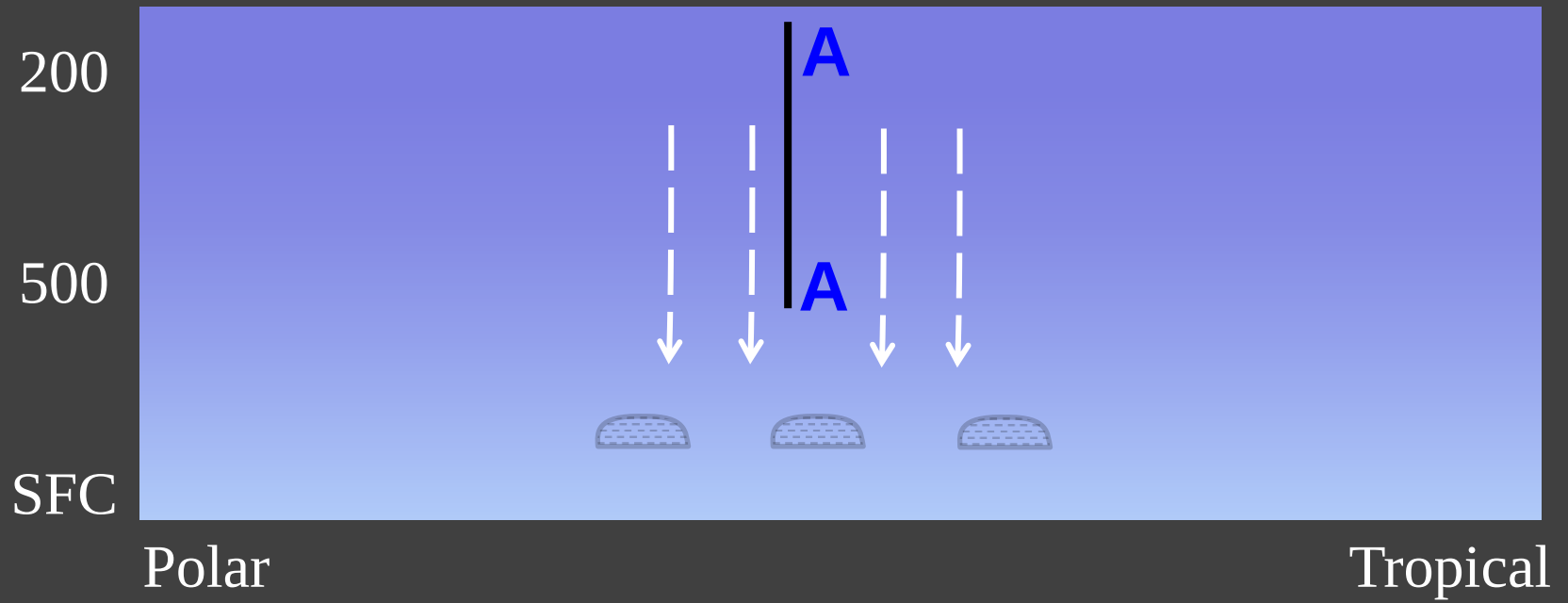
Dorsales en Niveles Altos-Medios

- Dorsales en los niveles medio-altos se inclinan hacia la zona tropical con altura
  - Dorsales en 500 están mas cerca a las zonas polares que las dorsales en 200 hPa
  - La dorsal en 500 hPa favorece subsidencia y buen tiempo. La dorsal en 200 hPa favorece ventilación (divergencia en altura intensificada).

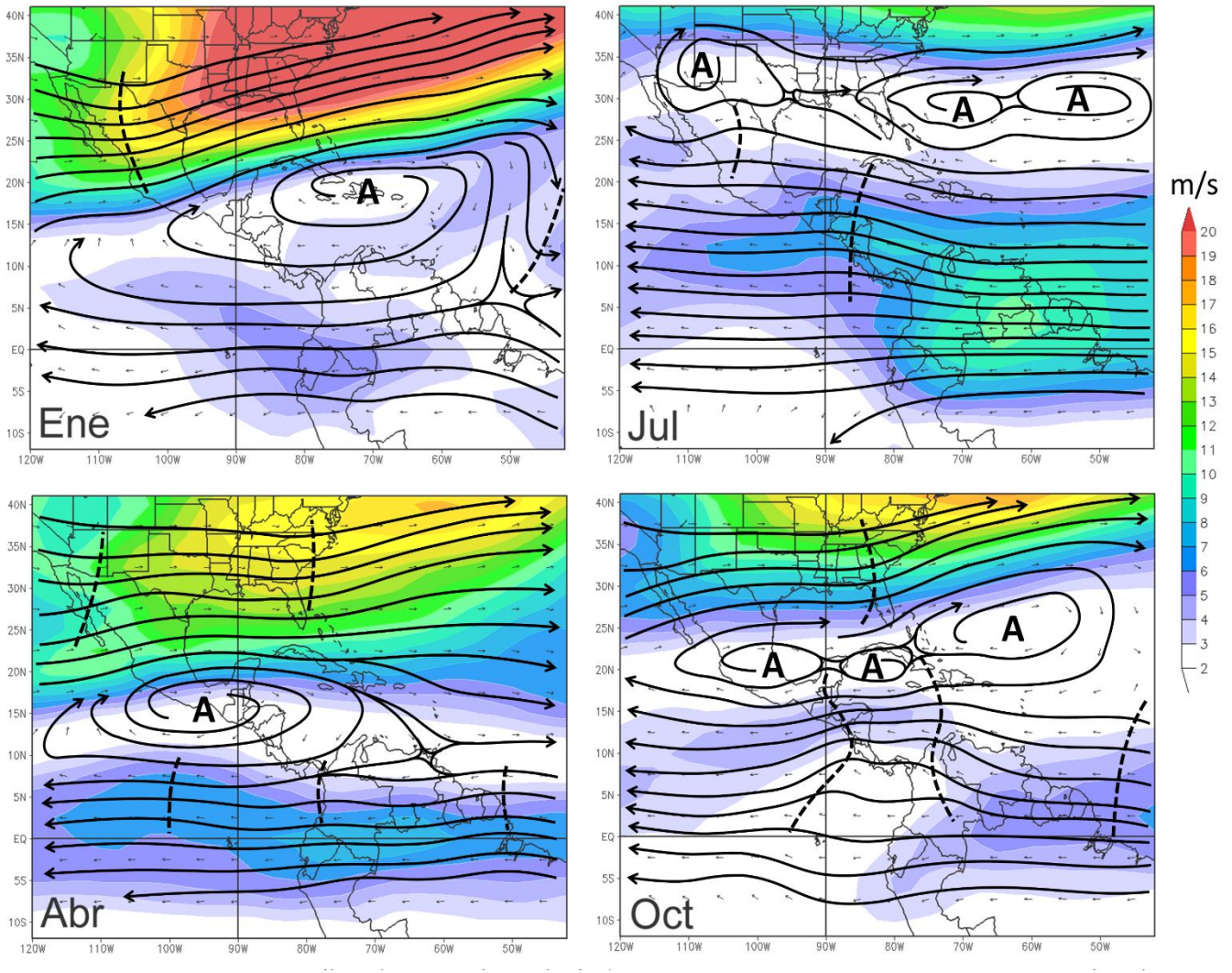


Dorsales Subtropicales Apiladas Verticalmente

- Cuando las dos dorsales en los niveles 500 y 200 hPa se apilan verticalmente, domina la del medio nivel por la estimulación de subsidencia.
- Esto fortalece la inversión de temperatura en la troposfera baja, desconectando los procesos de niveles bajos de los procesos de la troposfera alta.



500 hPa: Niveles Medios



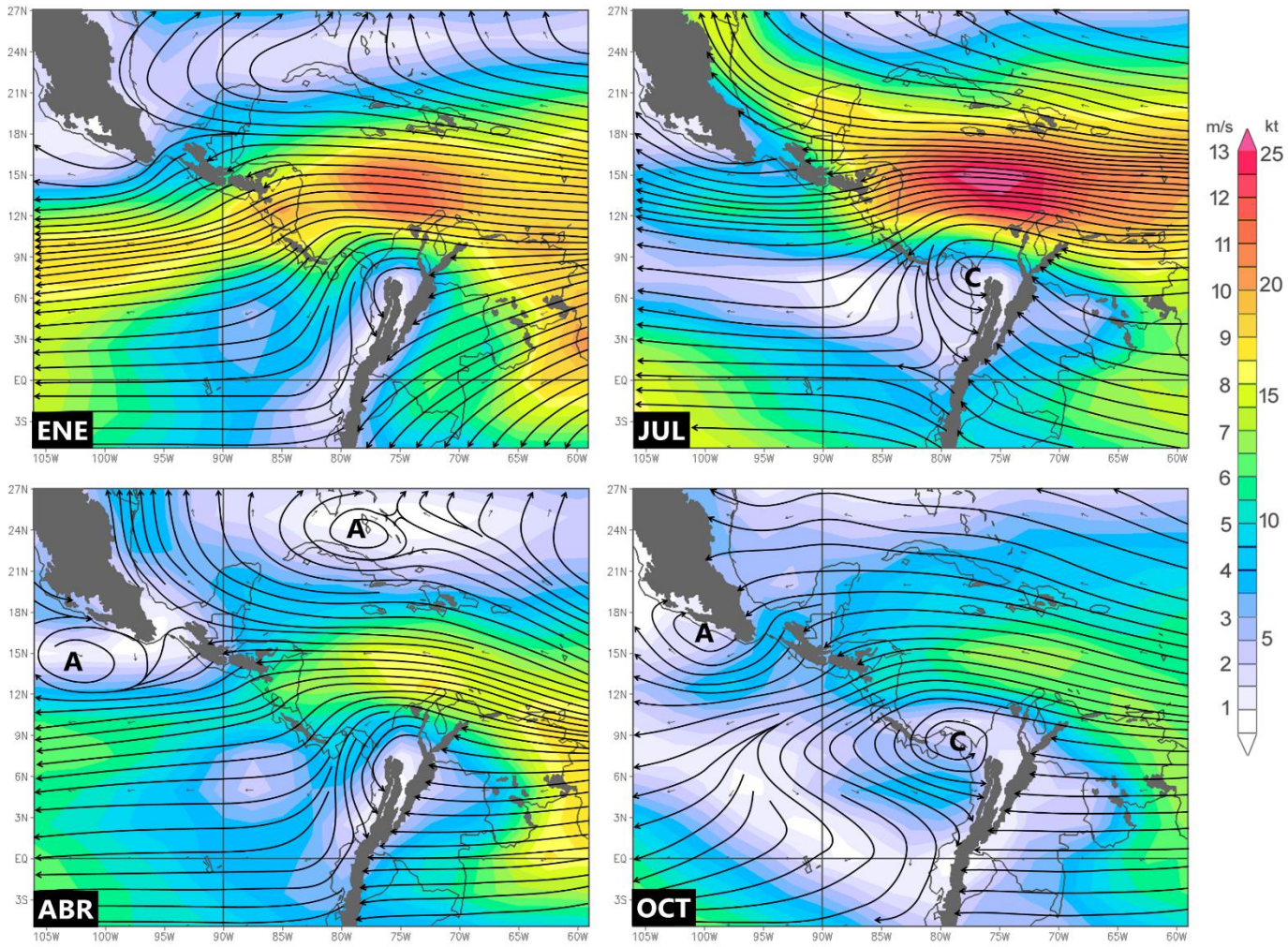
Implicaciones de Aviación: Dorsales de medio nivel favorecen vuelos suaves. Periferias hacia la zona polar favorecen cizalladura/cizalla y turbulencia.

Fuente: Climatologías de 1981-2010 - NCEP/NCAR Reanalysis, procesamiento por WPC International Desks

03c

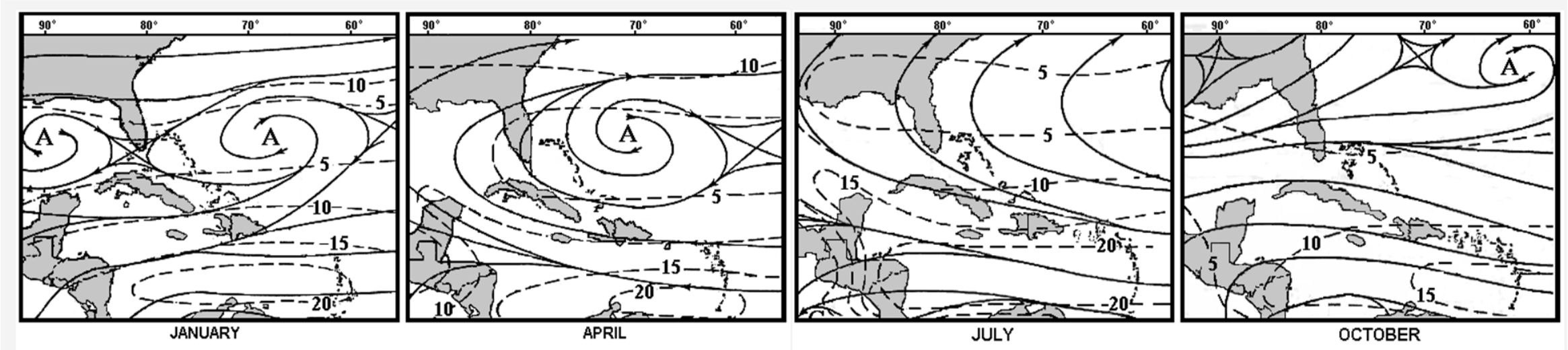
Flujo Bajo y Sistemas de Interés

Climatología del Flujo de 850 hPa

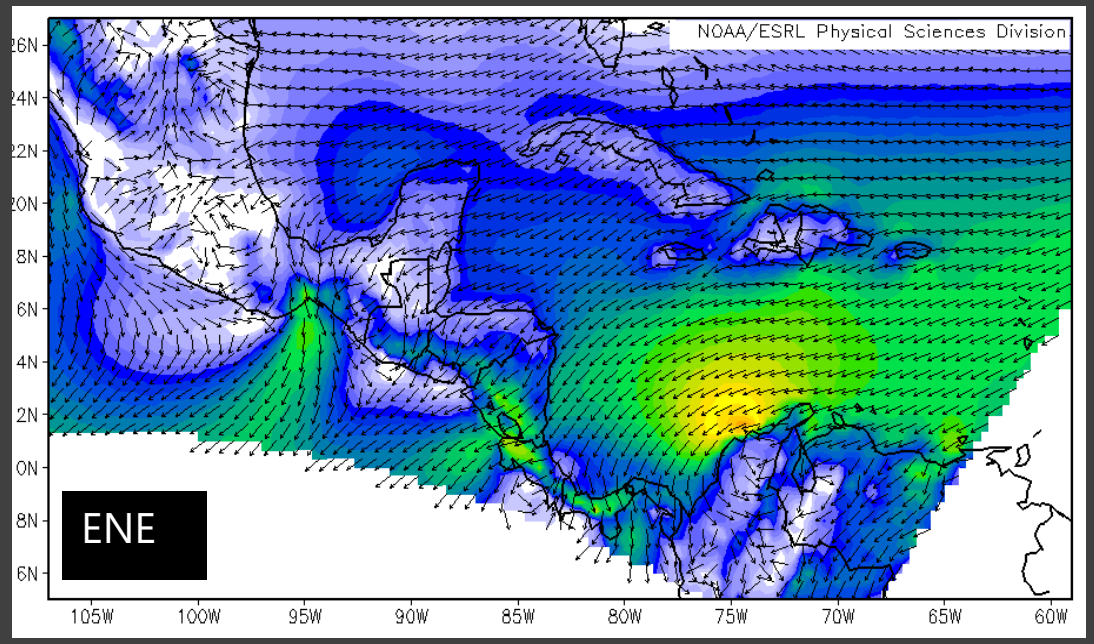


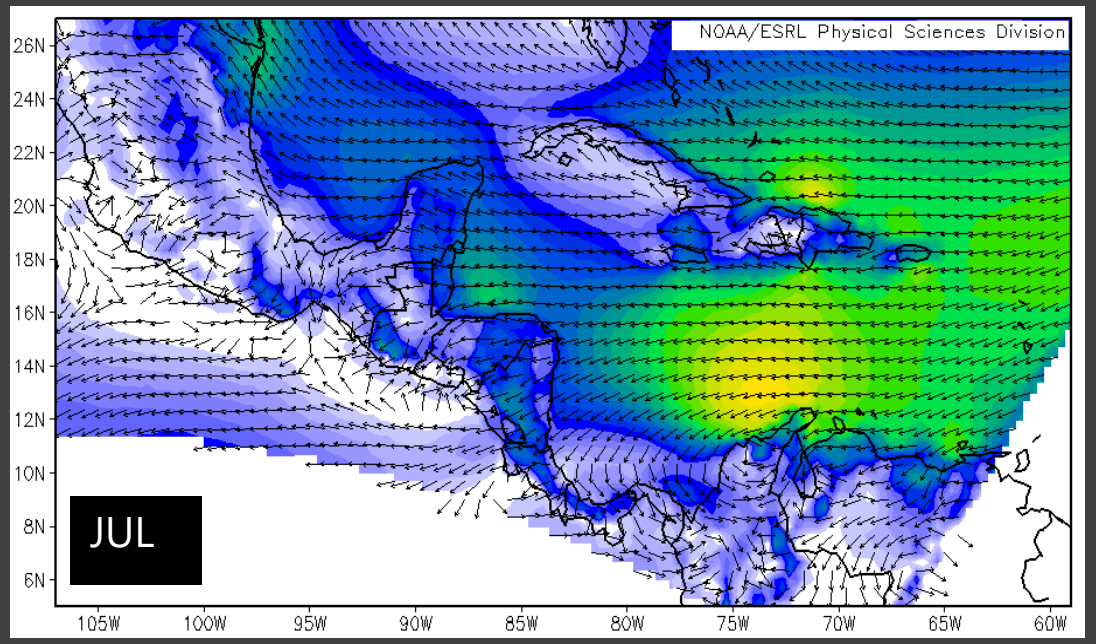
Fuente: Reanálisis de NCEP, Climatología de 1981-2010. Procesamiento WPC International Desks

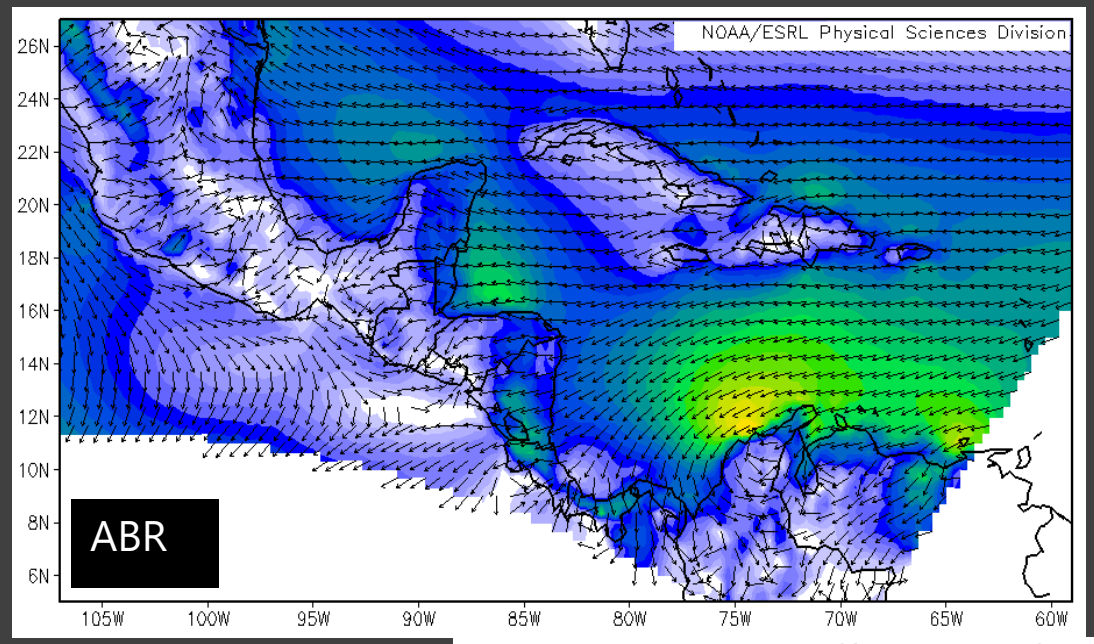
Climatología del Flujo de 1000 hPa

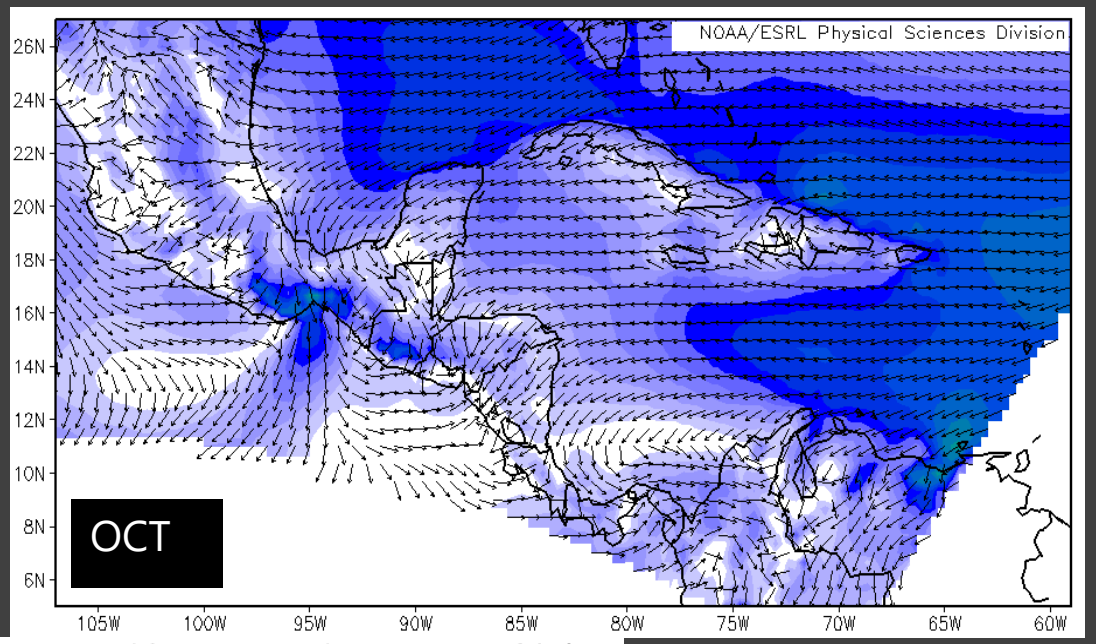


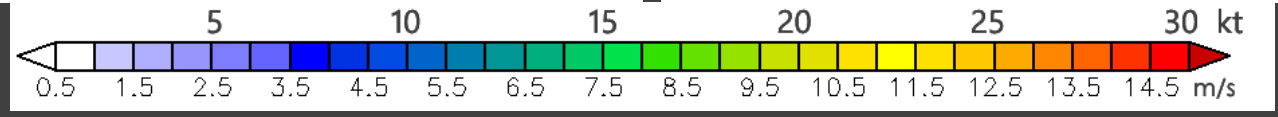
Vientos 1000 hPa





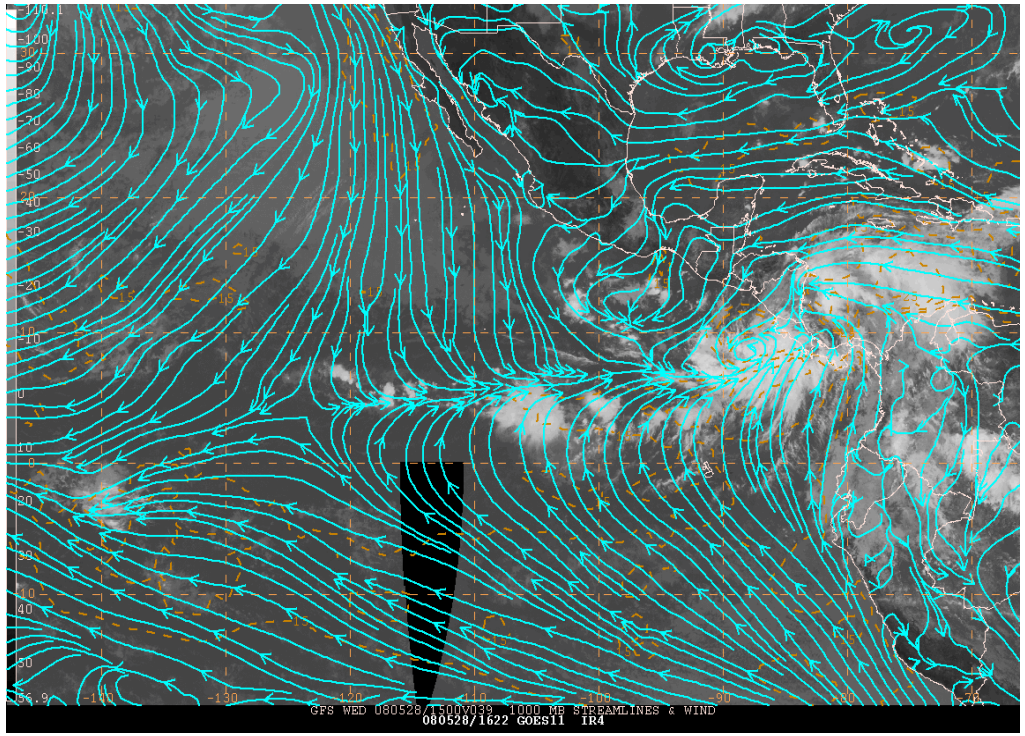






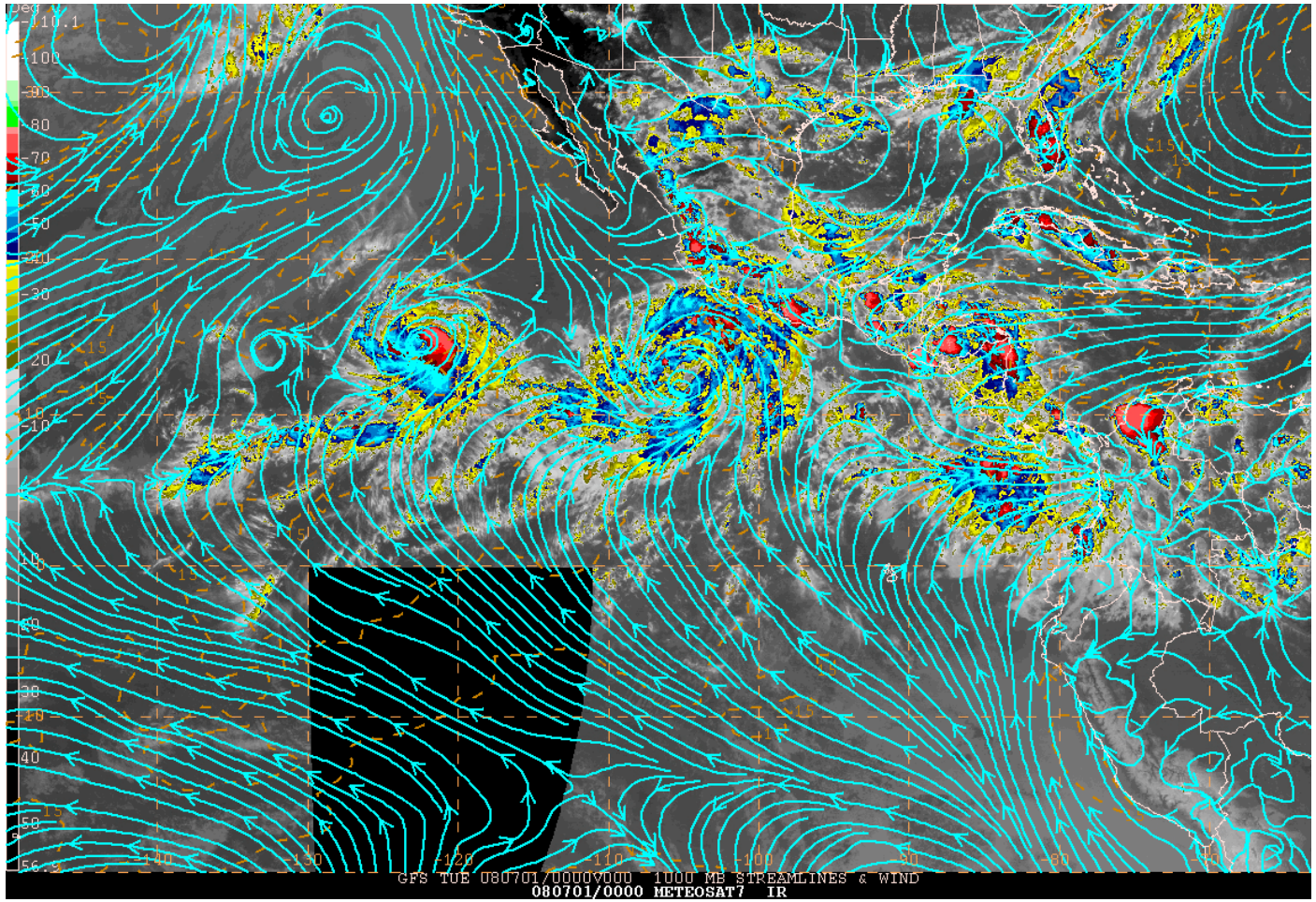
Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT)

- La zona donde los vientos de las hemisferas norte y sur convergen. Sigue las TSM calientes donde favorecen bajas presiones superficiales.
- Sobre el océano, los vientos en los niveles 1000 a 925 hPa tienden a converger. Sobre tierra, se forma una vaguada ecuatorial (NET, siglas en ingles).
- Una máxima en nubes es presente, pero hay mucha variedad en la cobertura y profundidad de convección.
- Importante: Favorece tormentas y turbulencia. También: Puede producir lluvias fuertes y ciclones tropicales.



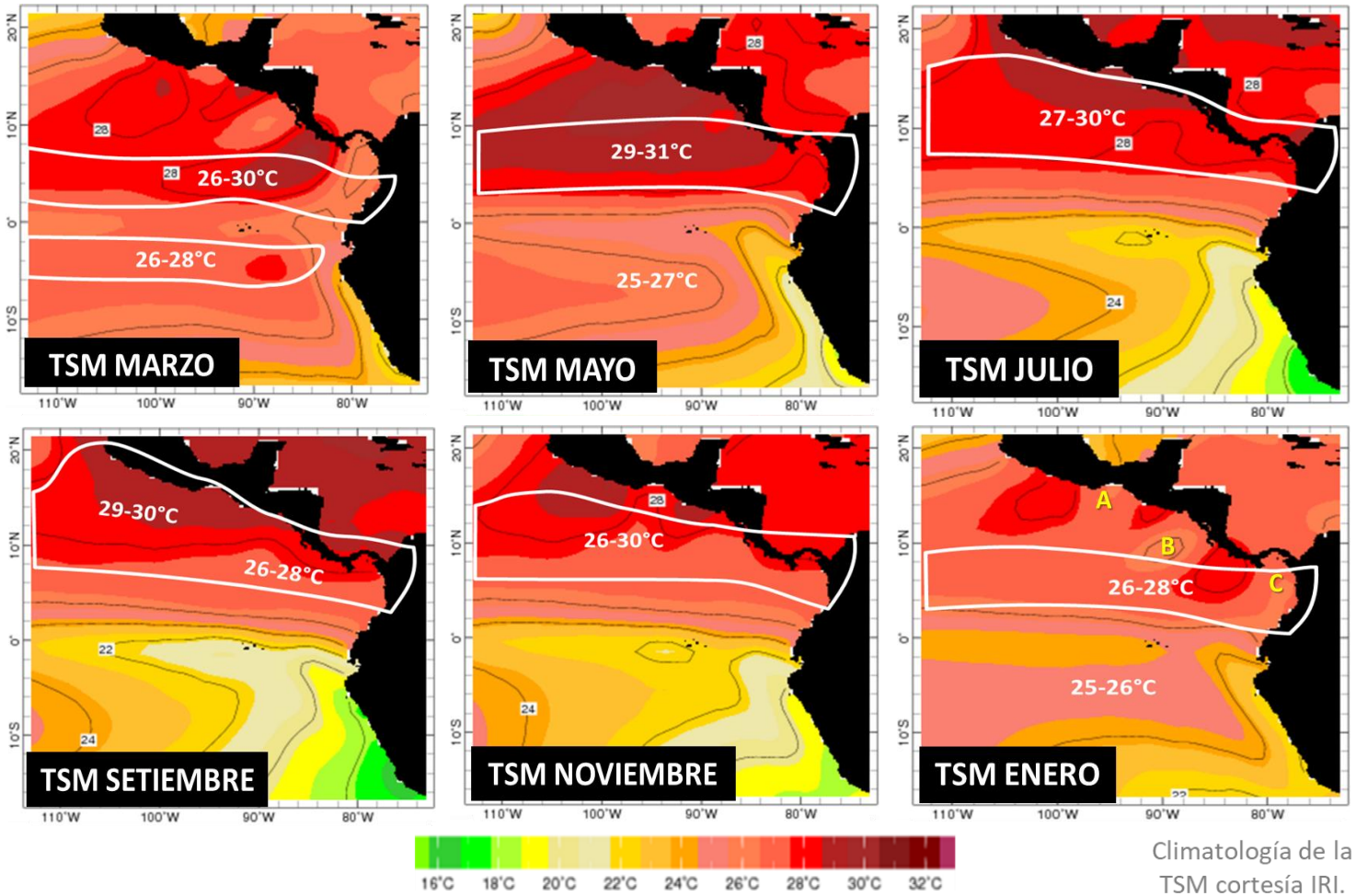
La ZCIT puede producir ciclones tropicales

- Junio - Octubre
- Bajas de la ZCIT pueden convertirse en ciclones tropicales.
- La MJO divergente (fases 7, 8, y 1) favorece el desarrollo



Migracion: La ZCIT sigue TSM calientes

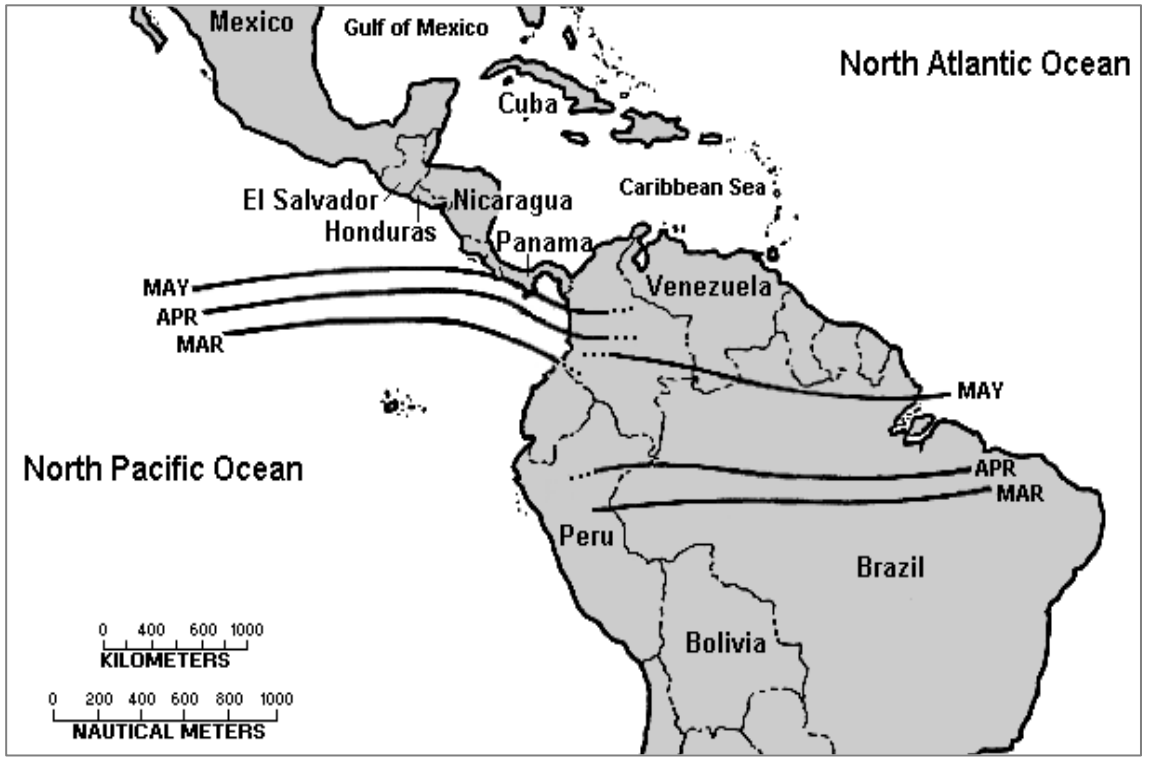
- Sigue presiones bajas que se forman sobre TSM calientes.
- Fuerte vientos alisios ecuatoriales de la dorsal subtropical, frentes, y líneas de cortantes pueden empujar la ZCIT.



Climatología de la TSM cortesía IRI.

ZCIT, Hemisferio Norte en Invierno/Primavera

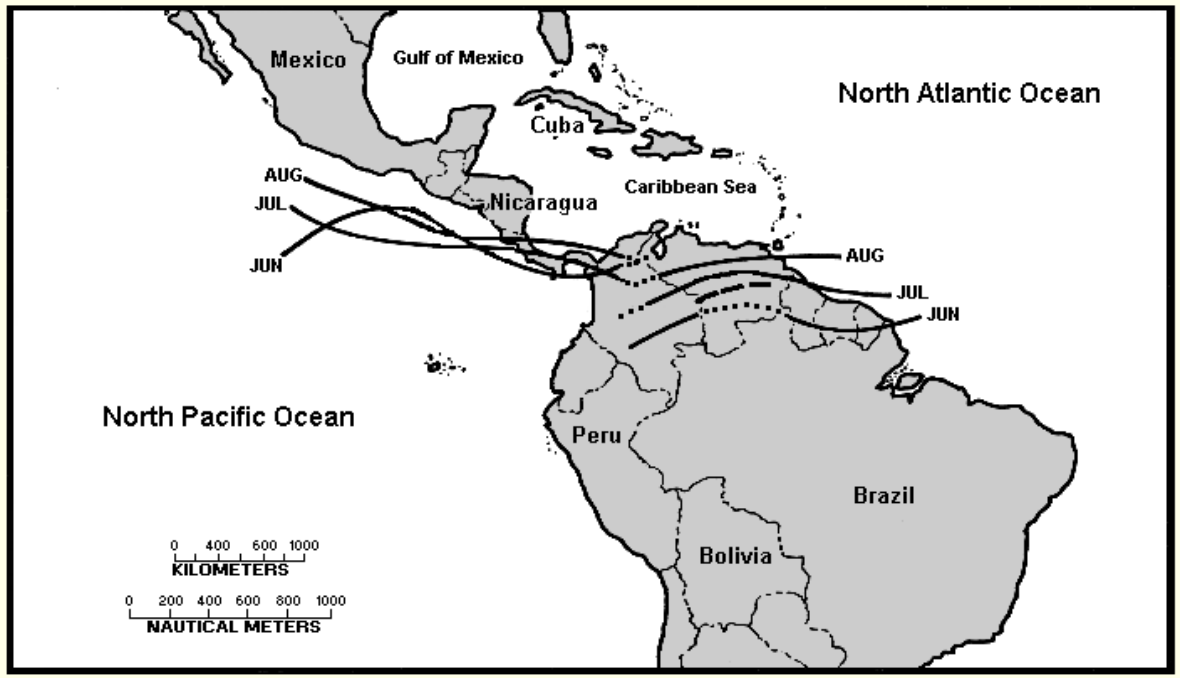
TSM Frios (HN)



ZCIT, Hemisferio Norte en Verano/Otono

- Ocasionalmente actúa como vaguada monzónica

TSM Calientes



Trough Position, June-July-August.

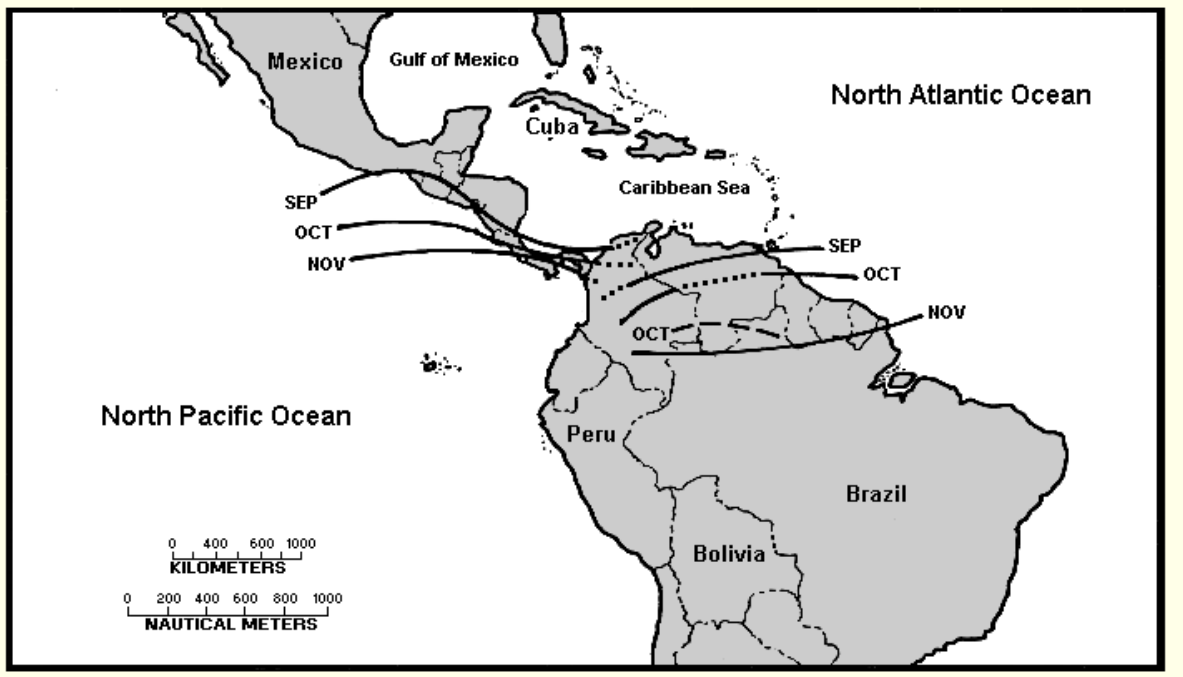
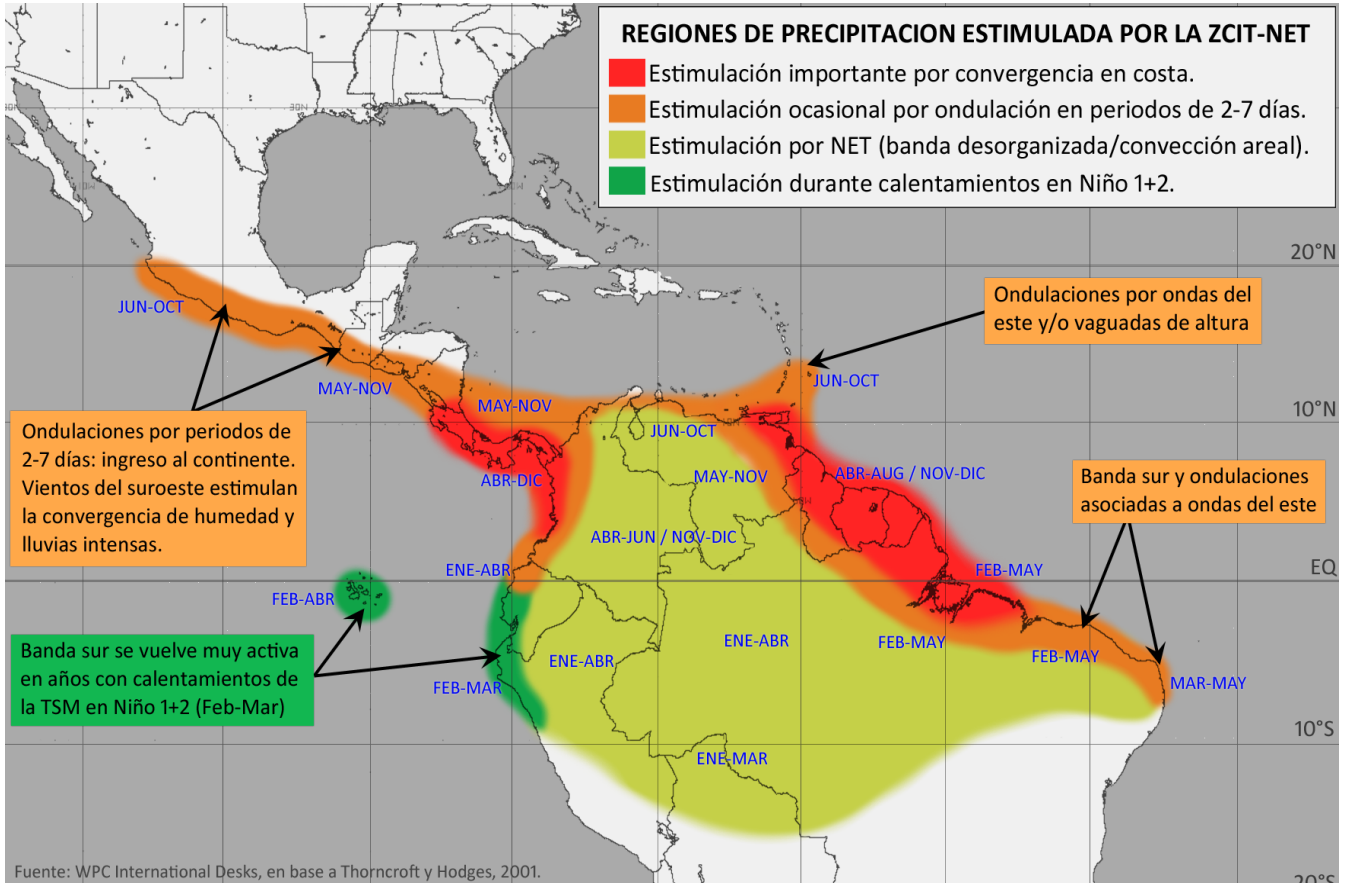


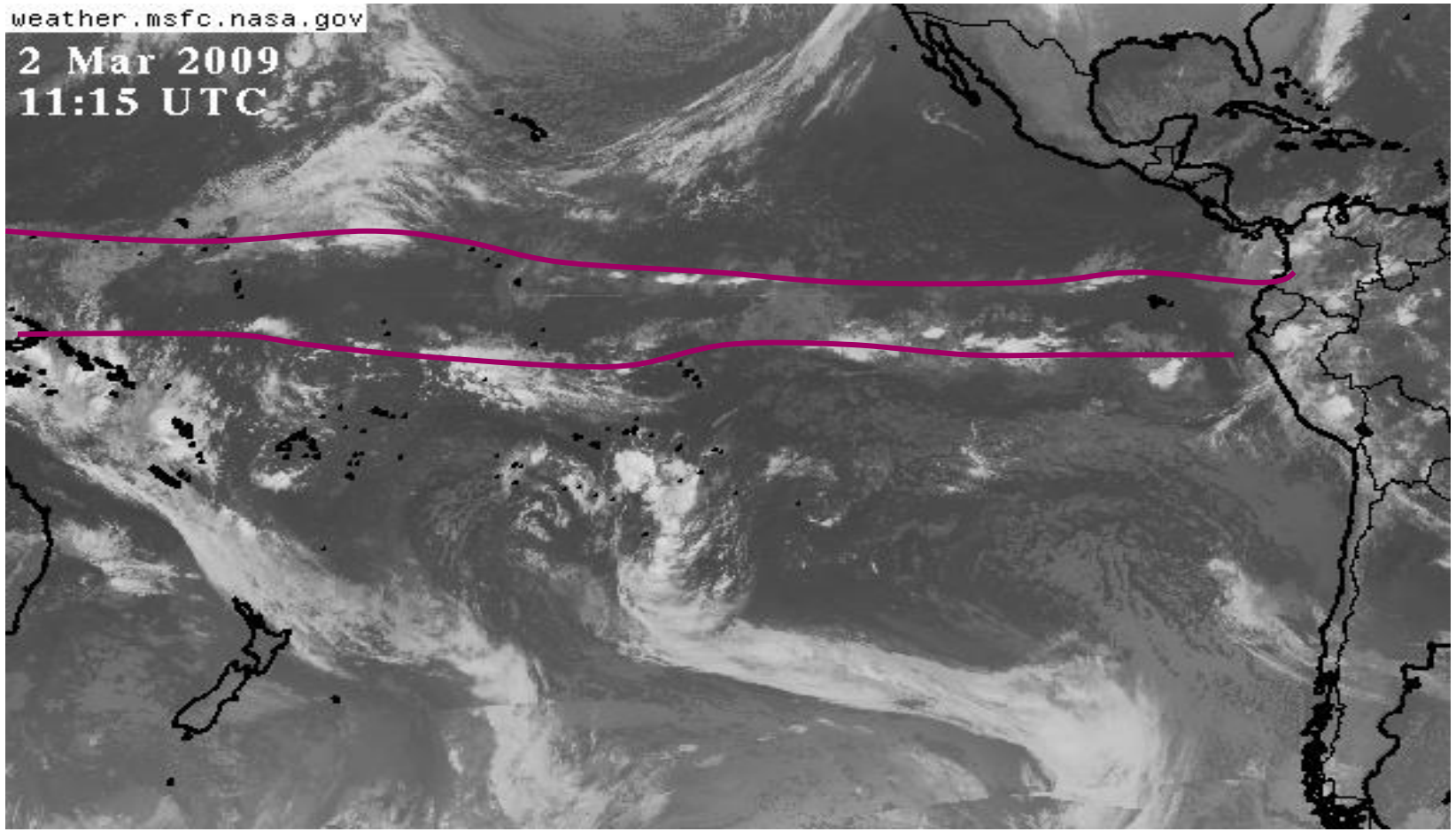
Figure 2-4. Monsoon Trough Position, September thru November.

Regiones donde lluvias y tormentas son sensibles a la ZCIT

- Mas frecuentes en las latitudes ecuatoriales en el hemisferio norte, hasta 10°N.
- Ocasionalmente se ondula norte hacia el sur de México, actuando como vaguada monzónica.
- Raramente se mueve norte de Nicaragua o el centro de las Antillas Menores.
- En Perú y Ecuador durante calentamientos como El Nino.



Doble ZCIT



04

Características y Patrones Climatológicos Impactantes

Metas:

- Reconocer características y patrones específicos que pueden causar tiempo impactante.
- Para la Aviación: Mas y/o tormentas fuertes y cizalla/cizalladura y turbulencia.

04a

Giro Centroamericano

Giro Centroamericano (CAG, siglas ingles)

Definición

Circulación ciclónica grande, cerrada, que se desarrolla cerca de Centroamérica durante la temporada lluviosa (mayo-noviembre), parecido a una baja monzónica amplia en otras cuencas.

Bajas monzónicas se caracterizan por una organización floja de convección profunda mientras mantienen un vórtice circular, cerrado caracterizado por un radio de vientos máximos amplio de 500-1000km de ancho.

Puede producir lluvias extraordinarios, inundaciones catastróficas, y grandes impactos sociales.

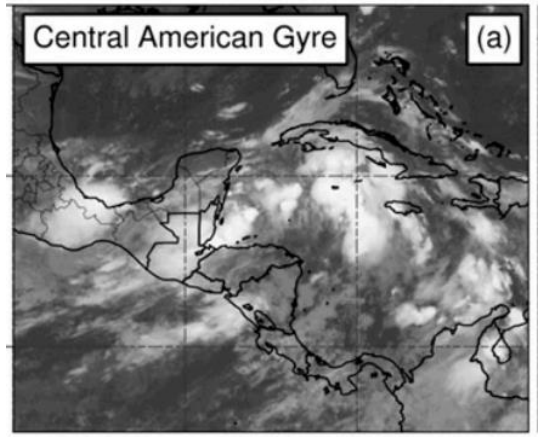
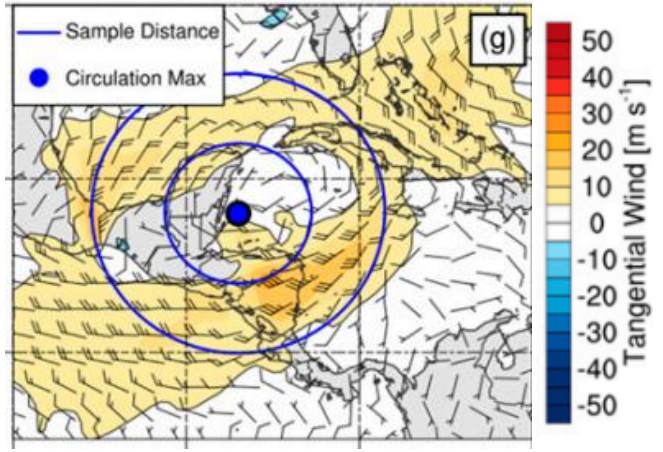


Imagen de satélite infrarrojo representando temperatura de brillo (8C, sombreada)



Vientos e isotachs en 850 hPa de los vientos tangenciales. Los círculos azules representan los radios de 500km y 1000km del centro de la circulación

Reference: Papin et al, 2017

Criterio para la identificación de un CAG

El criterio no es muy concreto. Papin et al. (2017) desarrollaron un algoritmo para la clasificación de los CAG, y usaron el próximo criterio para detectar CAG:

1) Un radio amplio de vientos rotando ciclónicamente

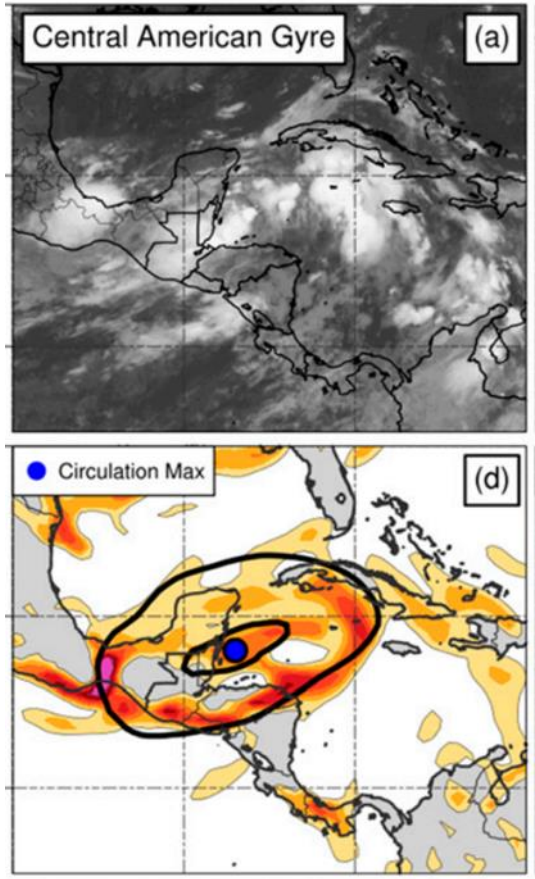
- Radio entre 500-1000km (~5°-10°)
- Se define mejor en 850 hPa

2) Intensificacion de vorticidad relativa promediada sobre el área de circulación

(AVORT) sobrepasando limite

- AVORT > 1 x 10^{-5} s^{-1}

3) Persistente por al menos 48 horas



Vorticidad relativa ciclónica en 850-hPa (sombreada) y AVORT (contornos negros)

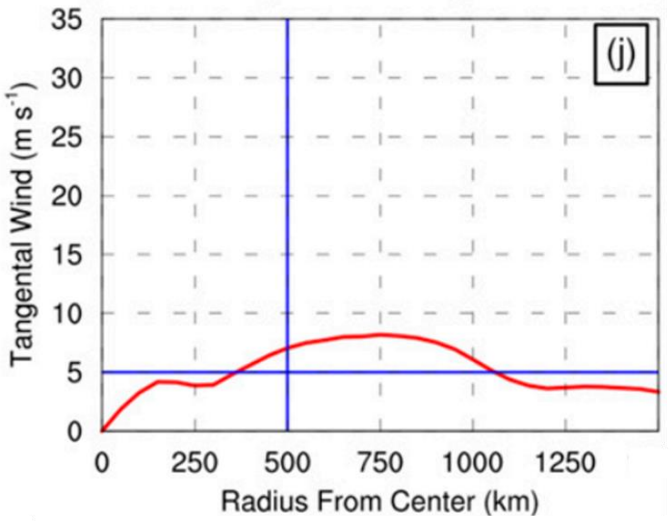
Reference: Papin et al, 2017

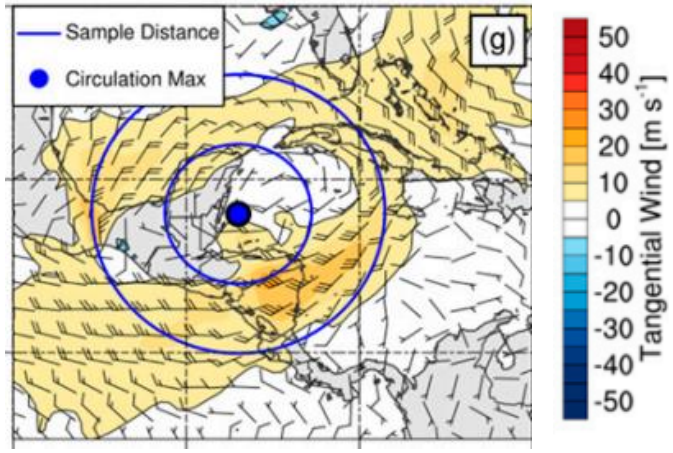
Criterio para la identificación de un CAG

Los vientos mas fuertes se desarrollan generalmente en los bordes de la circulación.

Este ejemplo ensena los vientos mas fuertes promediado entre 500 y 1000km del centro de circulación, promediando 6-8 m/s o 12-16kt.

Noten que los vientos no son perfectamente simétricos, como se expiraría. Regiones de 20-35kt son posibles, esto ocurrió en Nicaragua en este ejemplo.





Reference: Papin et al, 2017

CAG No Baroclinico vs Baroclinico

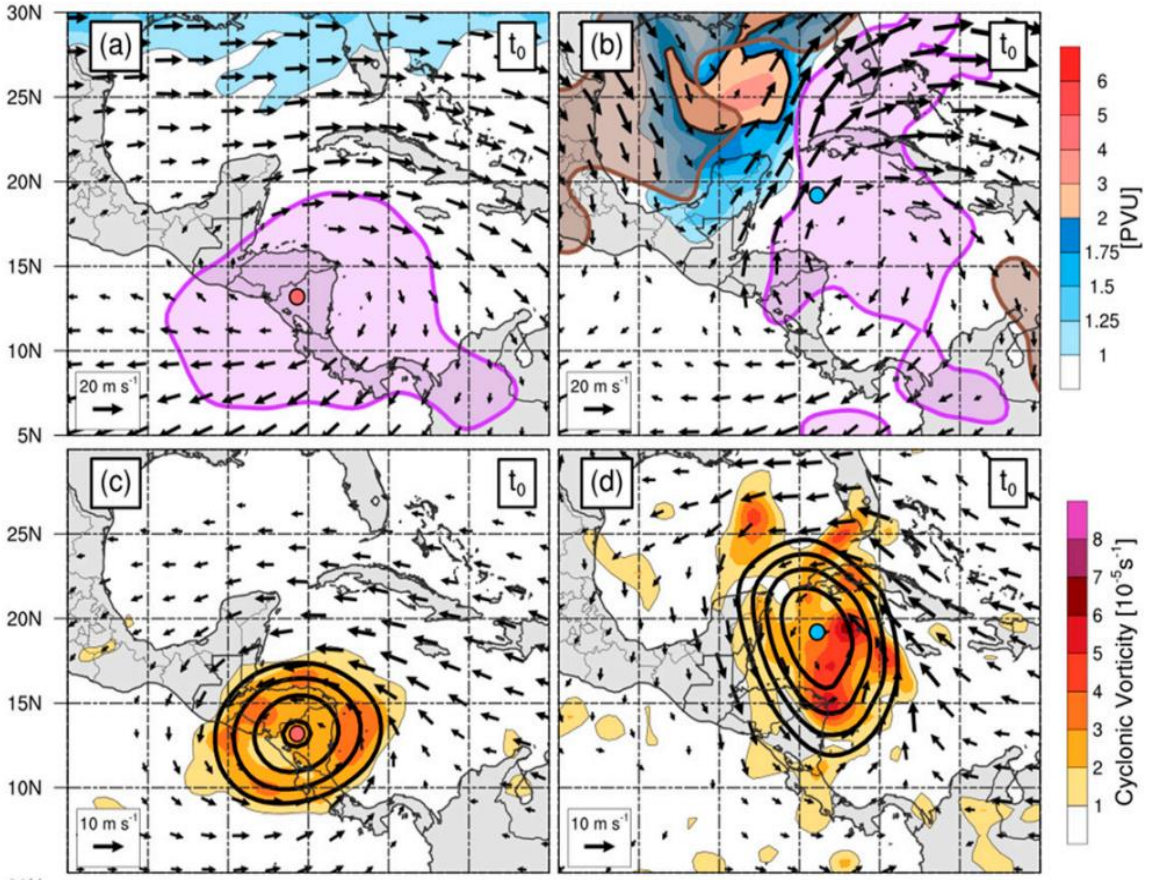
Los CAG se pueden clasificar en 2 tipos: No-baroclinico y Baroclinico

No Baroclinico

Consisten cerca de 85% de todos los CAG.

Están asociados con dorsales en altura.

La convección del CAG ayuda a desarrollar una dorsal casi perfectamente centrado sobre el CAG.



Baroclinico

Consisten cerca de 15 % de todos los CAG.

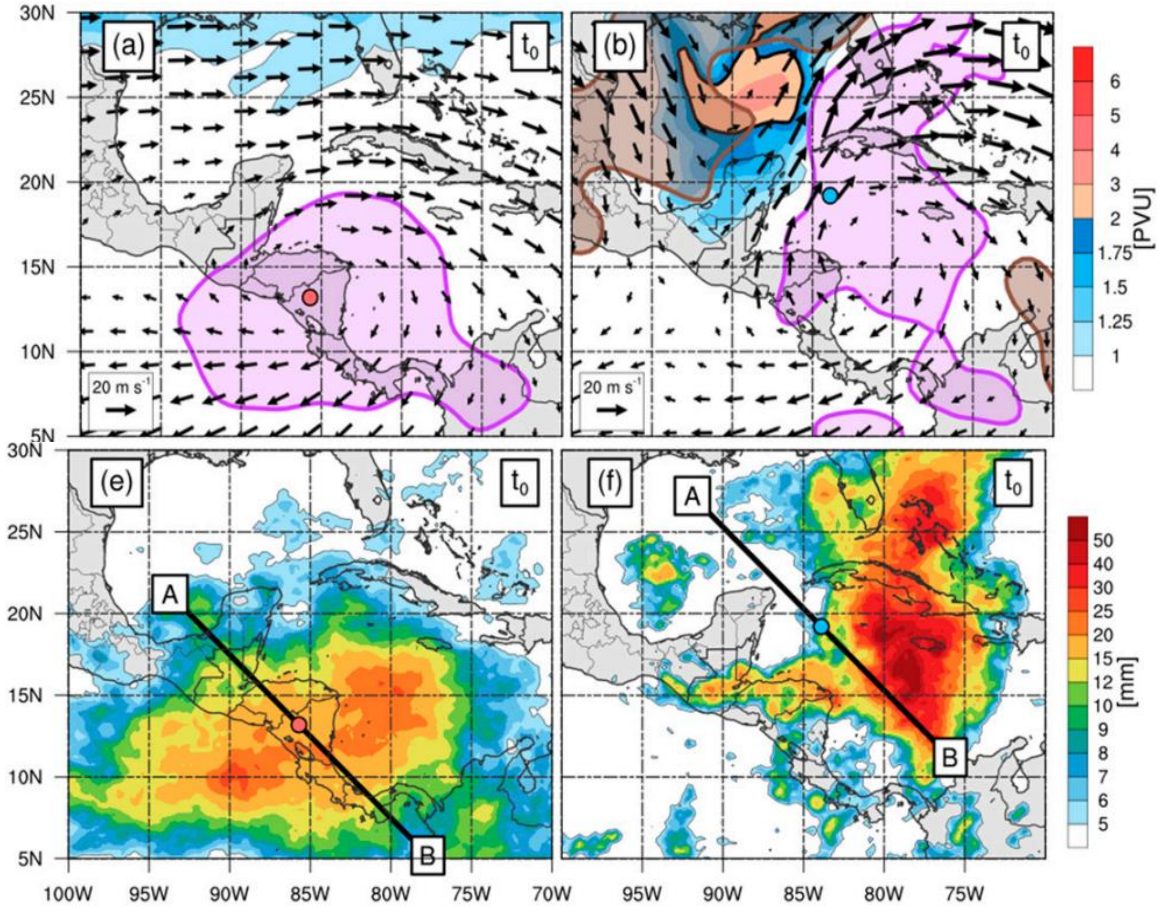
Están asociados con una vaguada en altura al noroeste.

Movimiento descendiente y valores altos de vorticidad potencial ocurren con la vaguada en altura, al noroeste del CAG.

CAG No Baroclinico vs Baroclinico

Non Baroclinico

La precipitación tiende ser simétrica con respecto al centro.



Baroclinico

La precipitación se localiza a la derecha del centro. La amplificación de arrastre de aire seco del norte y noroeste favorece un área seco al noroeste y oeste del centro.

Lluvias extremas se pueden encontrar al este del centro y se pueden expandir hacia el norte.

Lluvias del CAG

- Los CAG producen lluvias excesivas a través de Centroamérica y al oeste del Caribe, incluyendo las Islas Caimán, Cuba y unas veces Jamaica.

- Lluvias extremas tienden agruparse in la cuenca Pacifica de Centroamérica, del sur de Costa Rica hacia el sur de Guatemala, debido a la amplificación de flujo adentro. Esto produce impactos extremos debido a la distribución de poblaciones y riesgos a deslizamientos.

- El norte de Honduras y Belize también pueden recibir lluvias extremas por vientos de flujo adentro amplificados por humedad.

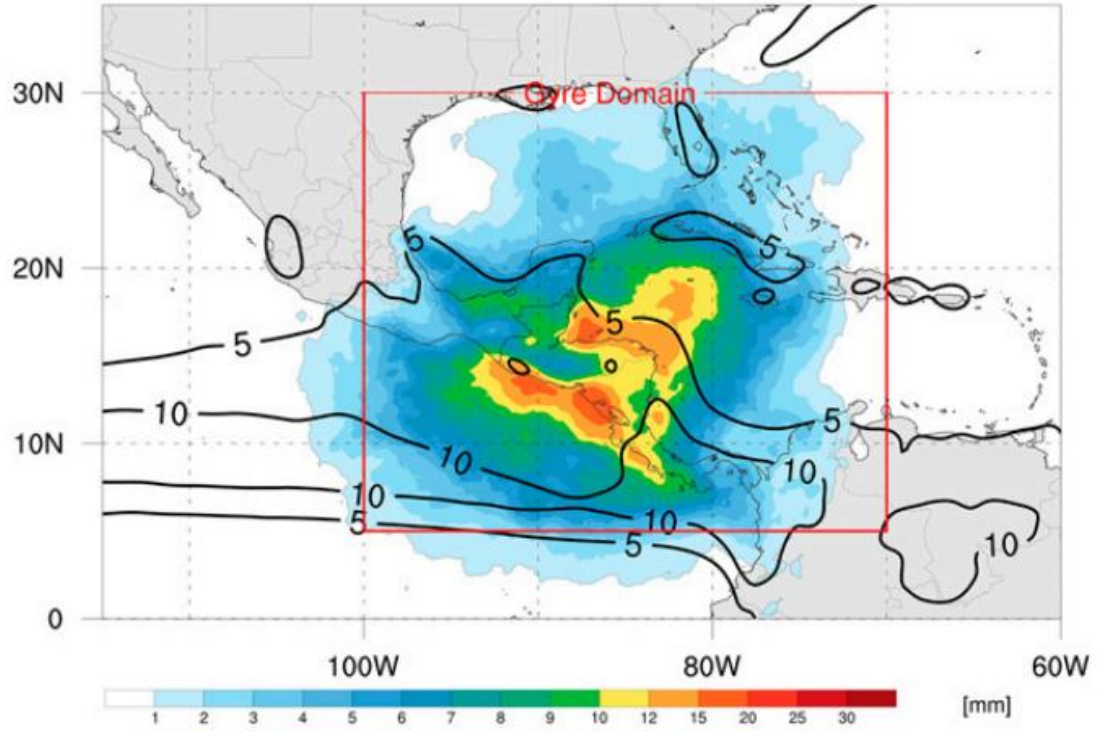


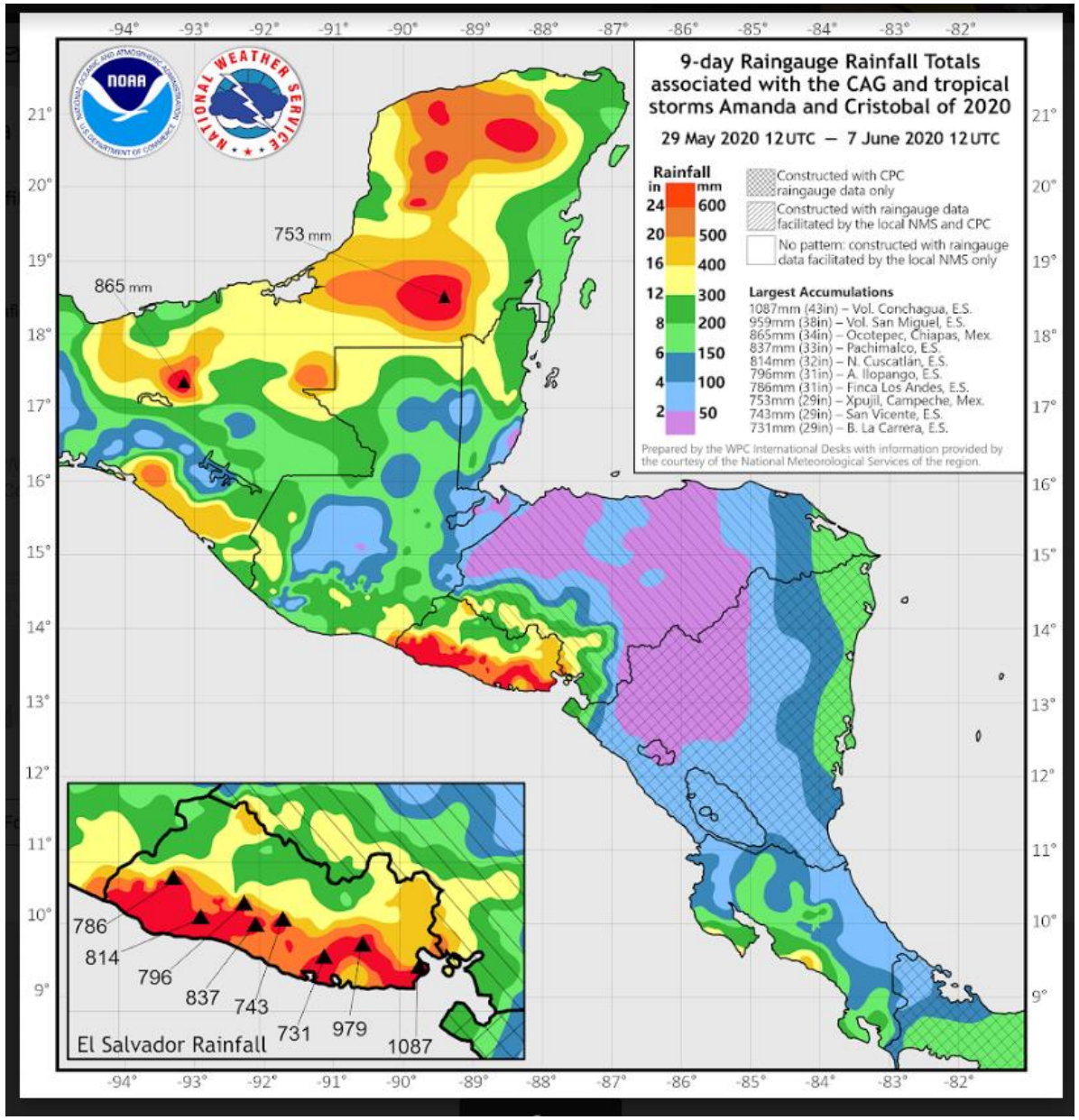
FIG. 8. Average daily rainfall rate composite for CAGs (shaded, mm day^{-1}) using rainfall observed within 10° of a CAG center compared to climatological rainfall rate during 1 May–30 Nov (black contours, every 5 mm day^{-1}).

CAG de Mayo-Junio 2020

- Un CAG fuerte y de larga duración se formo el 29 de mayo 2020 y se disipo el 7 de junio 2020 produciendo lluvias excesivas en Centroamérica por 9 días.

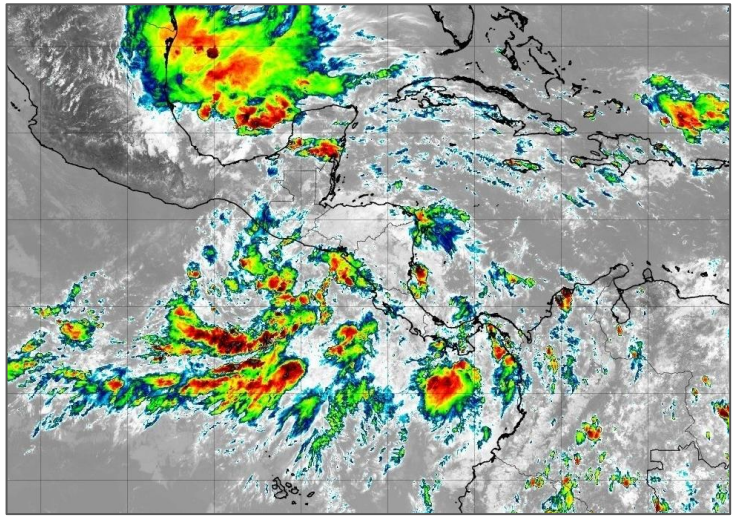
- Montos totales en 9 días:
  - El sur de El Salvador recibió 400-1000mm, el resto del país recibió 200-400mm.
  - 80% de la península Yucatán recibió 200-750mm.
  - El oeste de Costa Rica y otras porciones del norte de Centroamérica recibió 200-500mm, y localmente hubieron montos mas altos.

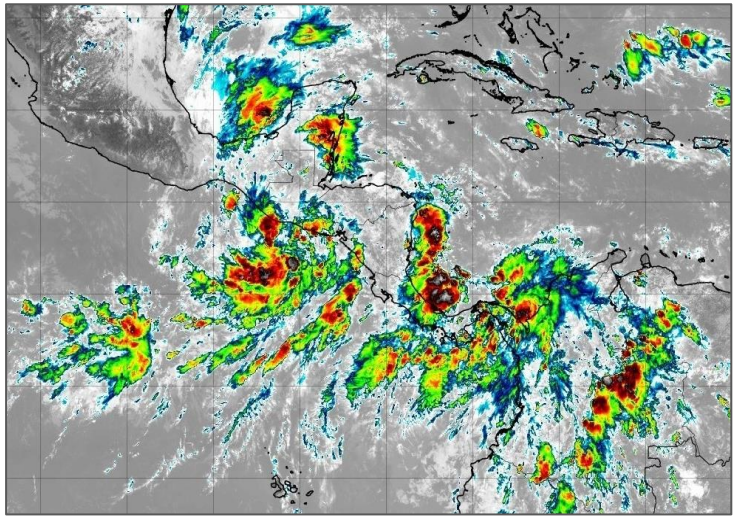
- Este evento fue bien pronosticado por los International Desks en la NOAA, quienes avisaron días en anticipación sobre el potencial del evento.

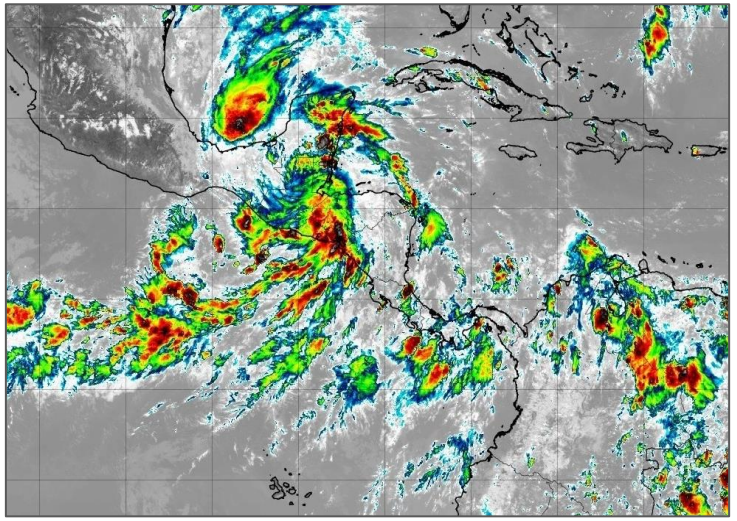


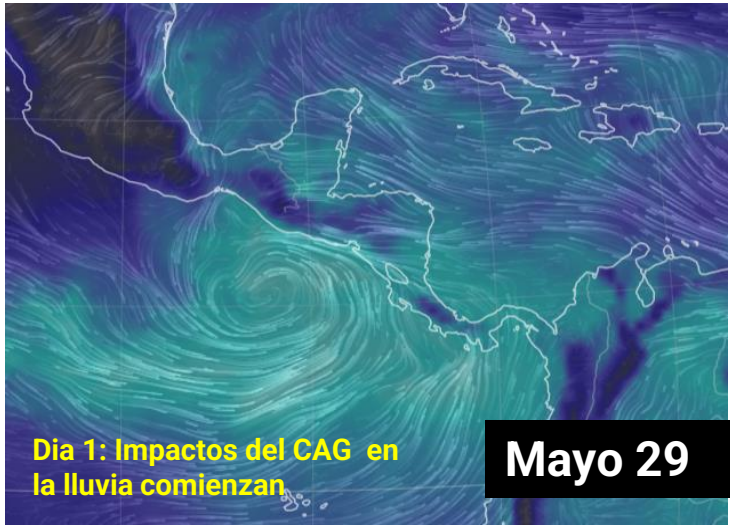
CAG de Mayo-Junio 2020

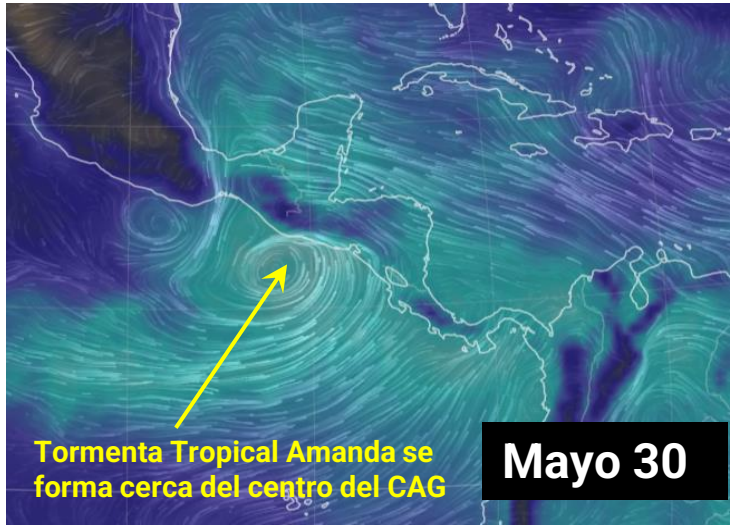
Vientos en 850 hPa y Agua Precipitable diarios a la 18 UTC

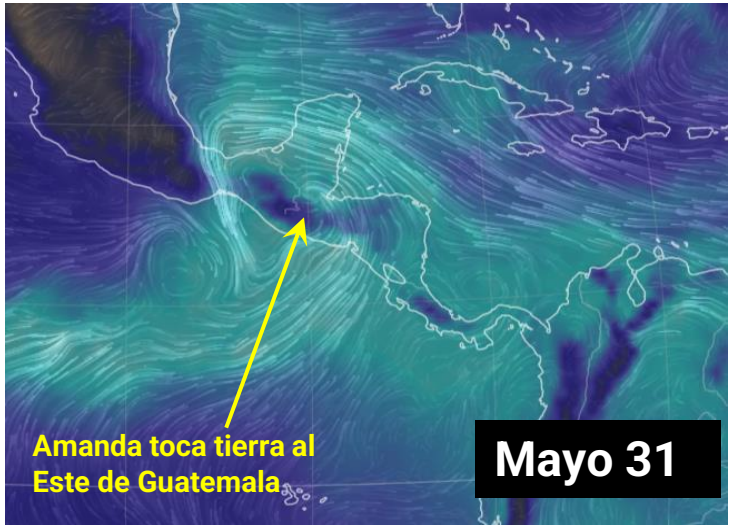






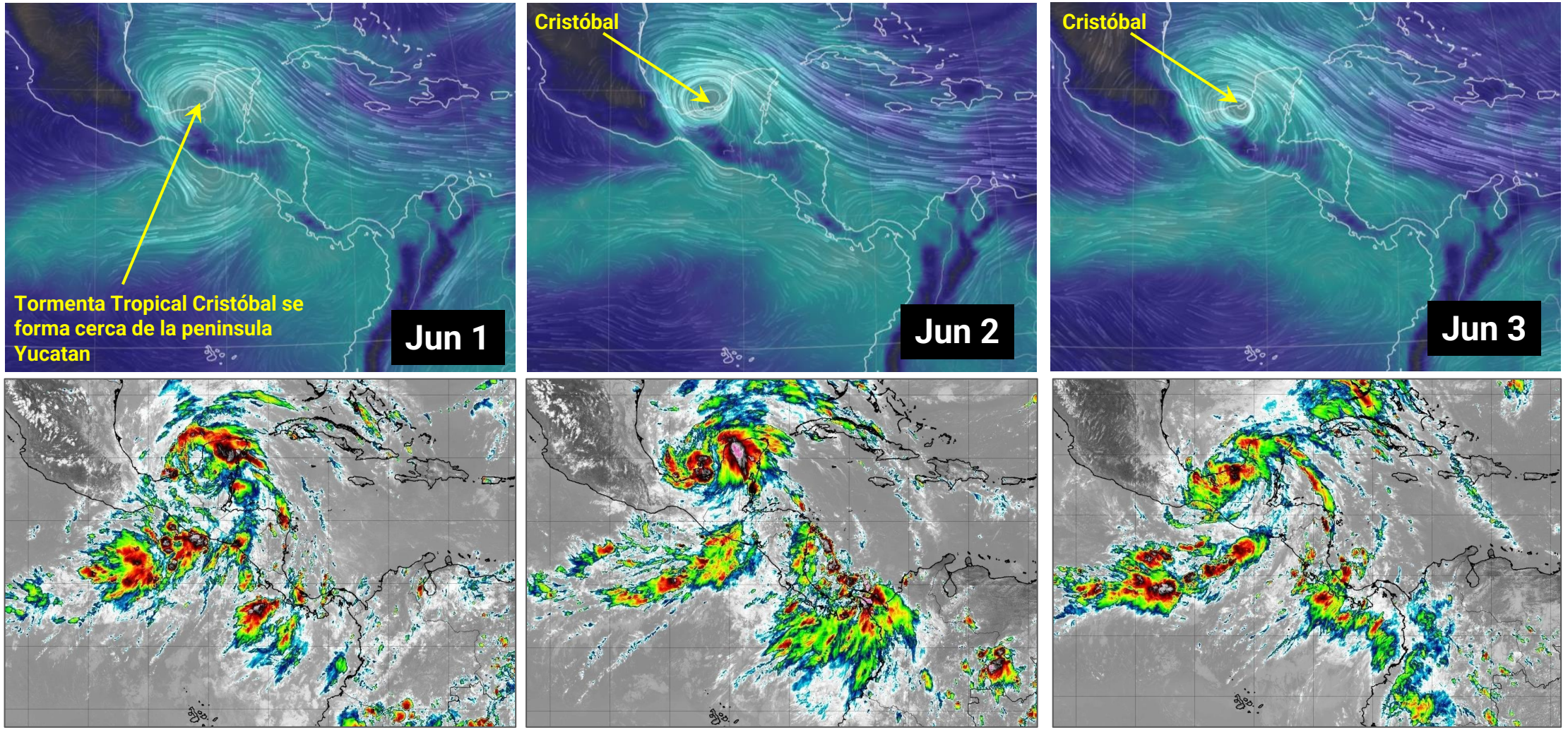






CAG de Mayo-Junio 2020

Vientos en 850 hPa y Agua Precipitable diarios a la 18 UTC



CAG y la MJO

- Favorecido en las fases 8, 2 y 1.
- Caracterizados por la intensificación de divergencia en altura y vientos del oeste en niveles bajos en la cuenca.
- Panel b demuestra la anomalías de vientos y la altura geopotencial estandarizada en 850 hPa durante las fases 8, 1, y 2.

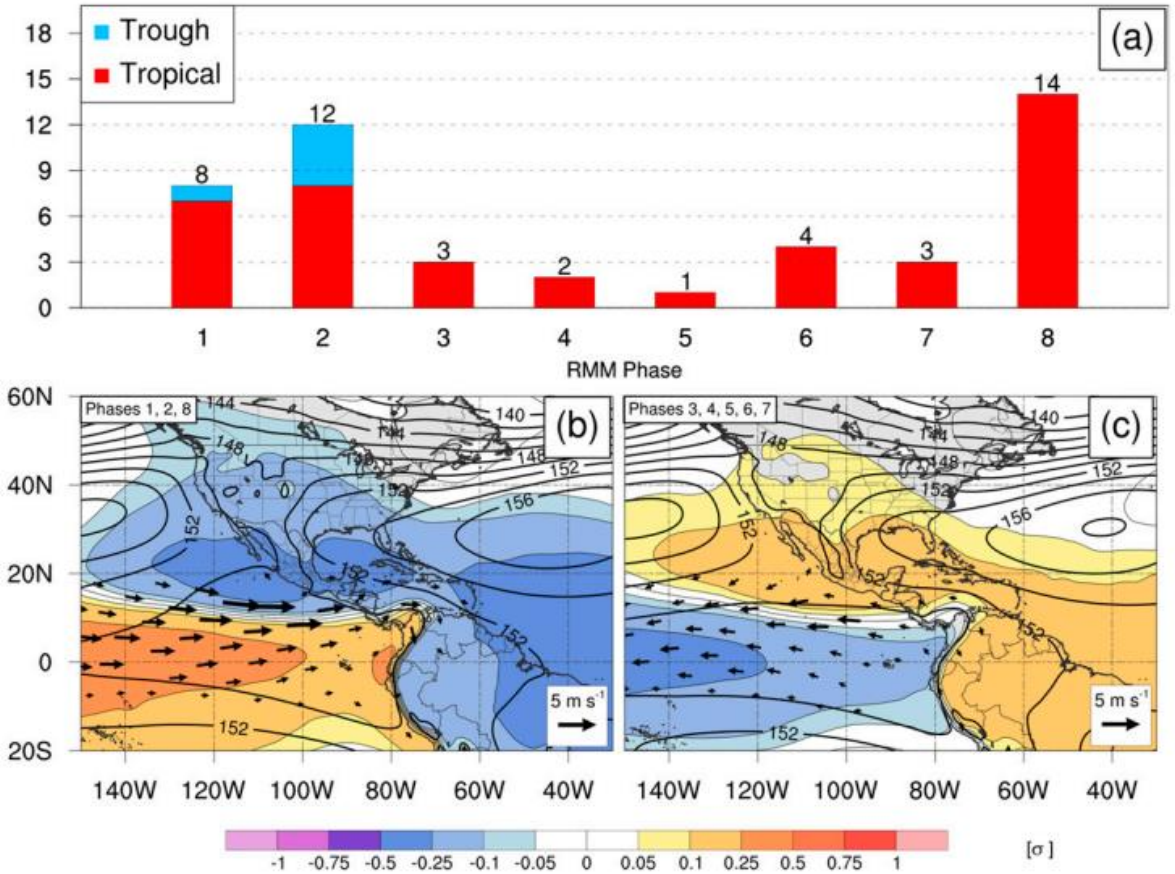


FIG. 11. (a) Bar graph of the number of CAG events in each RMM phase, where nonbaroclinic and baroclinic CAGs denoted by red and blue, respectively. (b),(c) Composite 850-hPa geopotential height (black contours, dam), standardized geopotential height anomaly (shaded, σ), and anomalous winds (vectors, m s^{-1}) for (b) MJO RMM phases 8, 1, and 2 (N = 3041 days) and (c) MJO RMM phases 3–7 (N = 4365 days) occurring during 1 May–30 Nov.

04b

Vaguadas en altura con chorros y tormentas severas

Caso Abr 28 2019: Tiempo Severo en Cuba

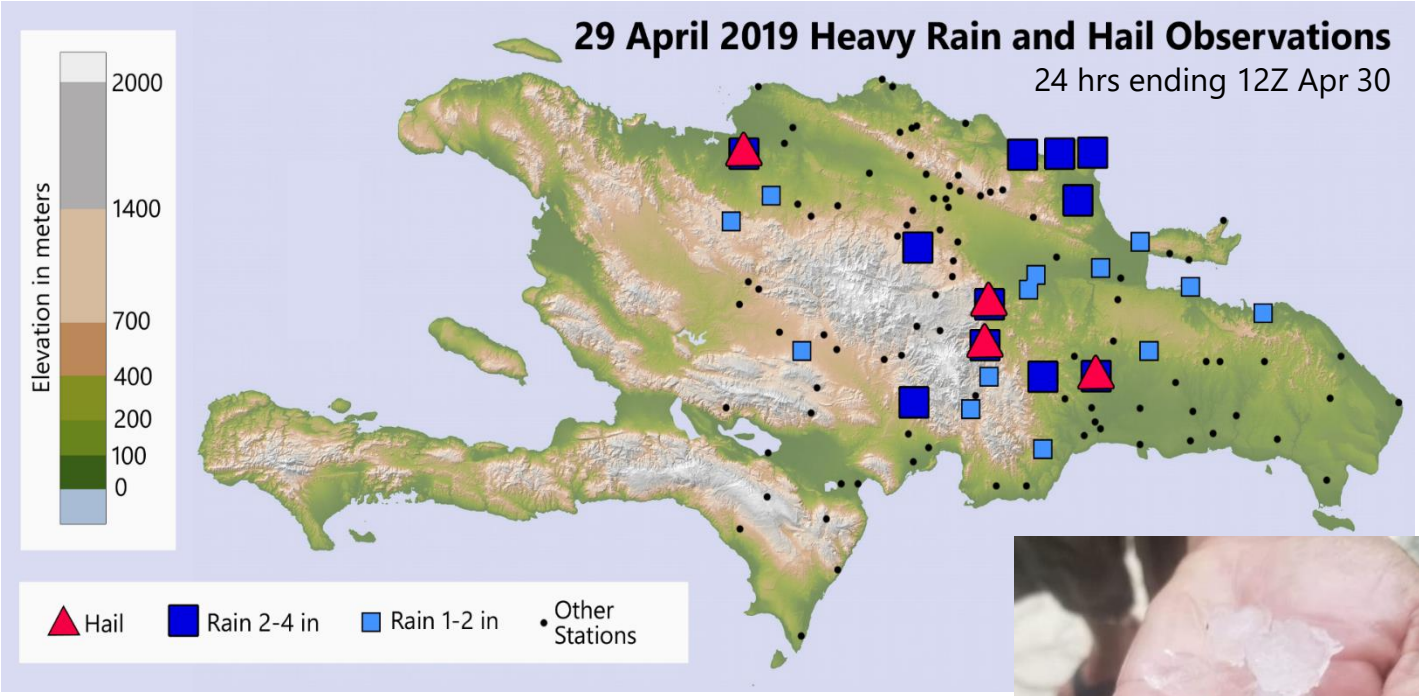
Santa Clara, Cuba – Tormentas Severas

- Vientos observados de 100kph
- Granizo tamaño de monedas
- Aeropuerto y 60 casa afectadas

Daños en el Aeropuerto de Santa Clara

Observaciones e Impactos

Abr 29: Inundaciones locales y granizo en Hispañiola



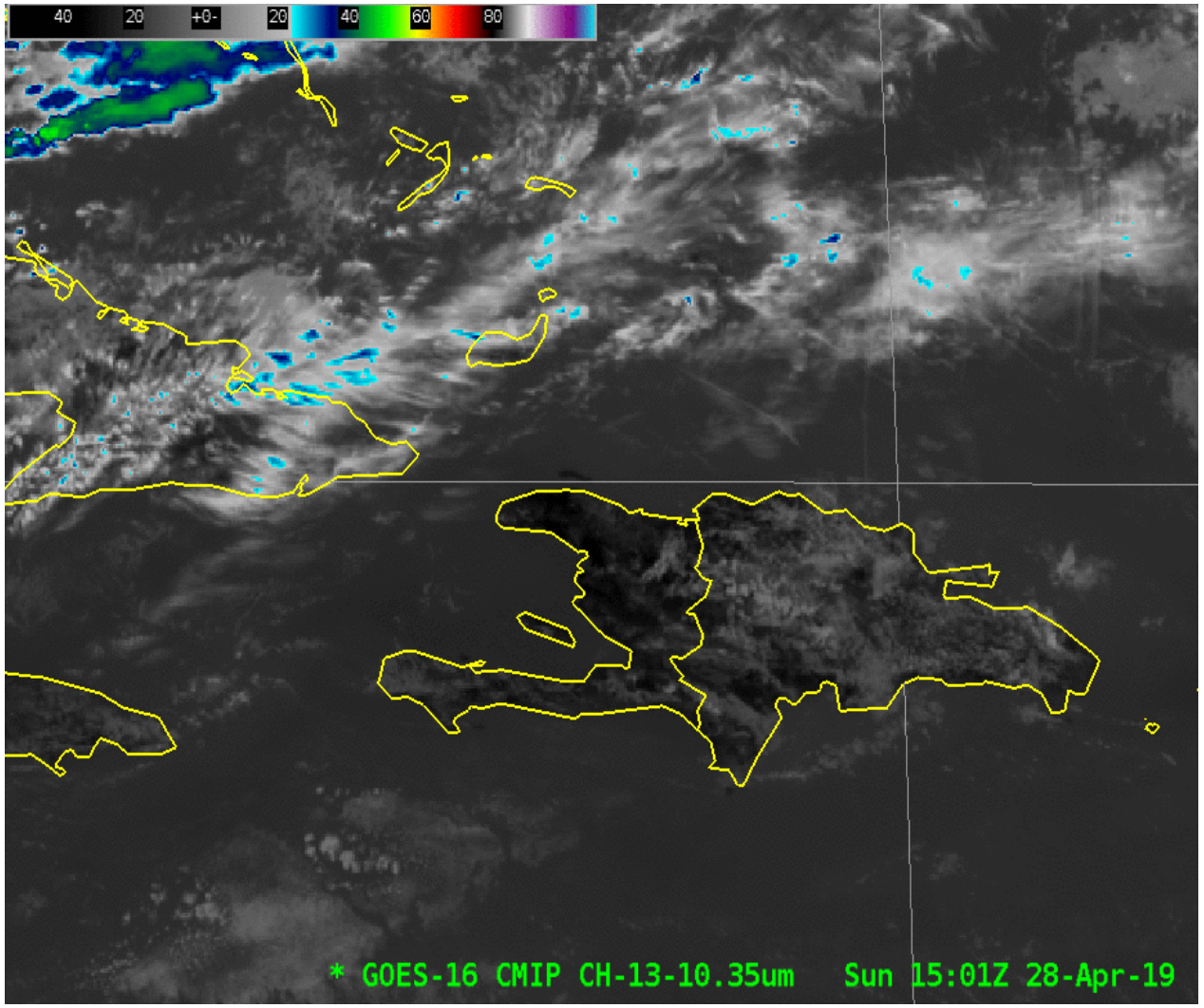
Granizo en
5% de las estaciones

Lluvia fuerte (>50mm)
11% de las estaciones

Lluvia moderada (25-50mm)
13% de las estaciones

Nota: Granizo reportado en bajas elevaciones

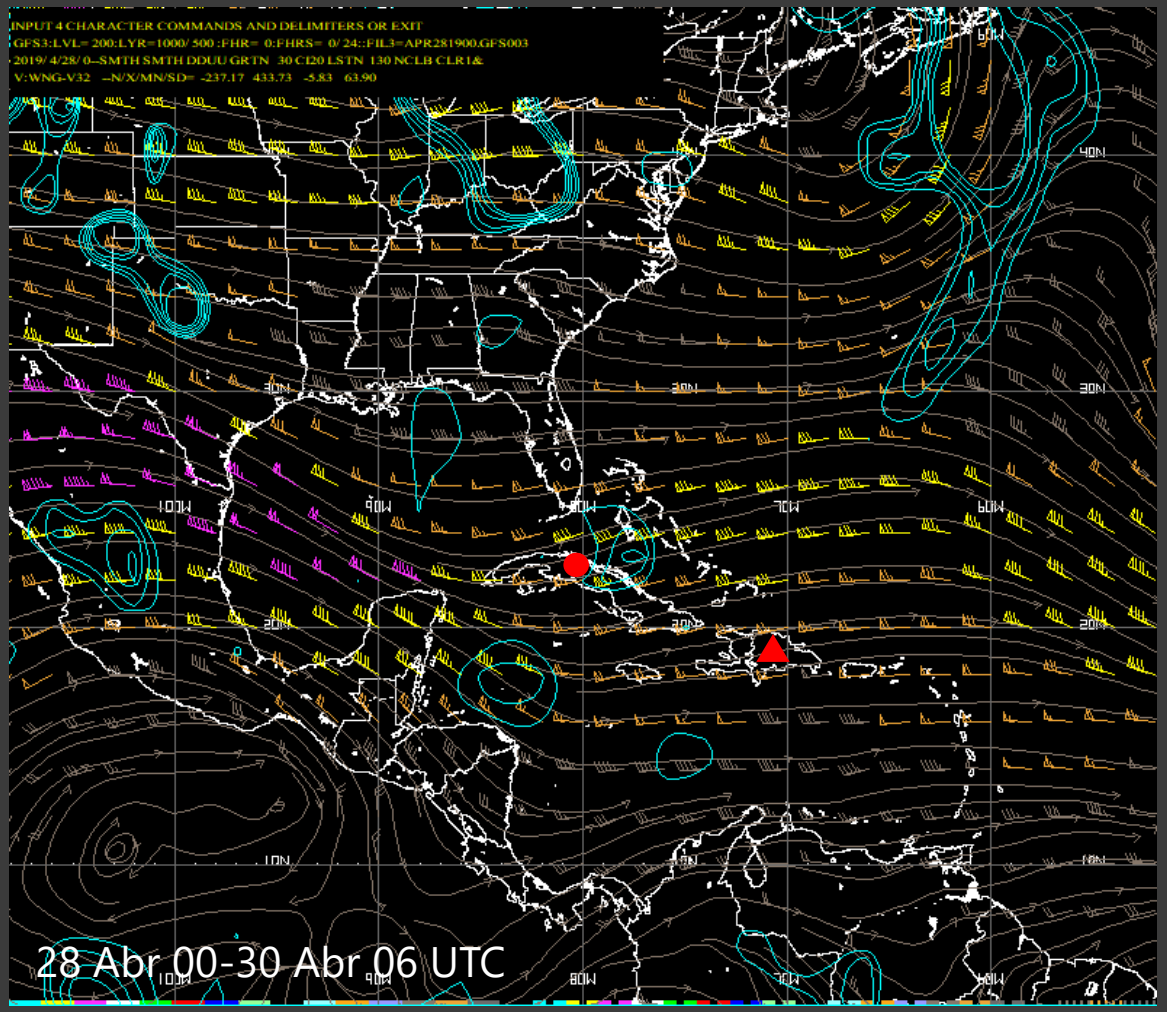
Imagen de Satélite Sobre Hispaniola/Cuba Abril 28



- Abril 28: Día del evento en Cuba, un día antes que el evento en Hispaniola.
- No Captura Santa Clara en Cuba, pero claramente demuestra
  - Señales de convección severa en Cuba:
    - Células de larga duración
    - Propagación de células en diferentes direcciones
    - Topes que sobrepasan
    - Formas de V
  - Patrón de vaguada al oeste
  - Chorro en altura (bandas transversales)
  - Cizalla/cizalladura vertical

Evolución del Patrón del Flujo en Altura

Animacion: Flujo en 200 hPa (kt) y Divergencia en capa de 200-400 hPa



Las dinámicas favorecían ascensos fuertes

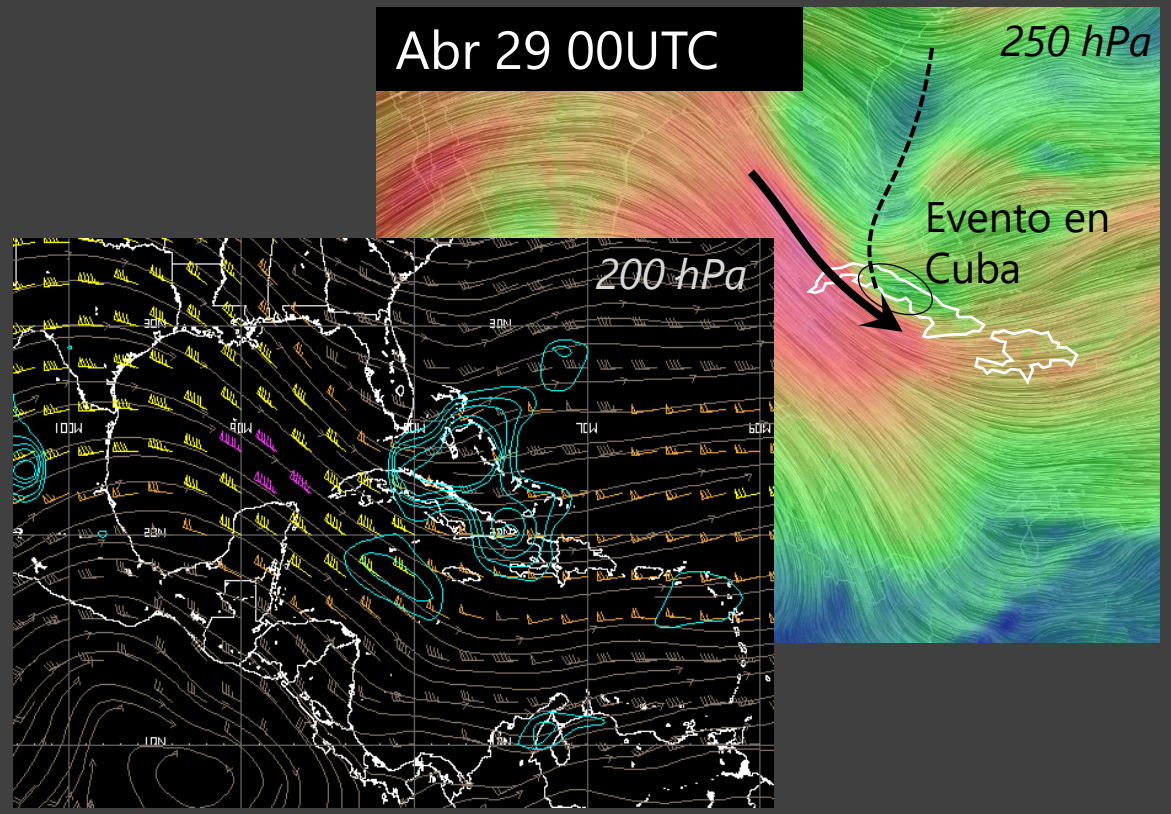
Factores:

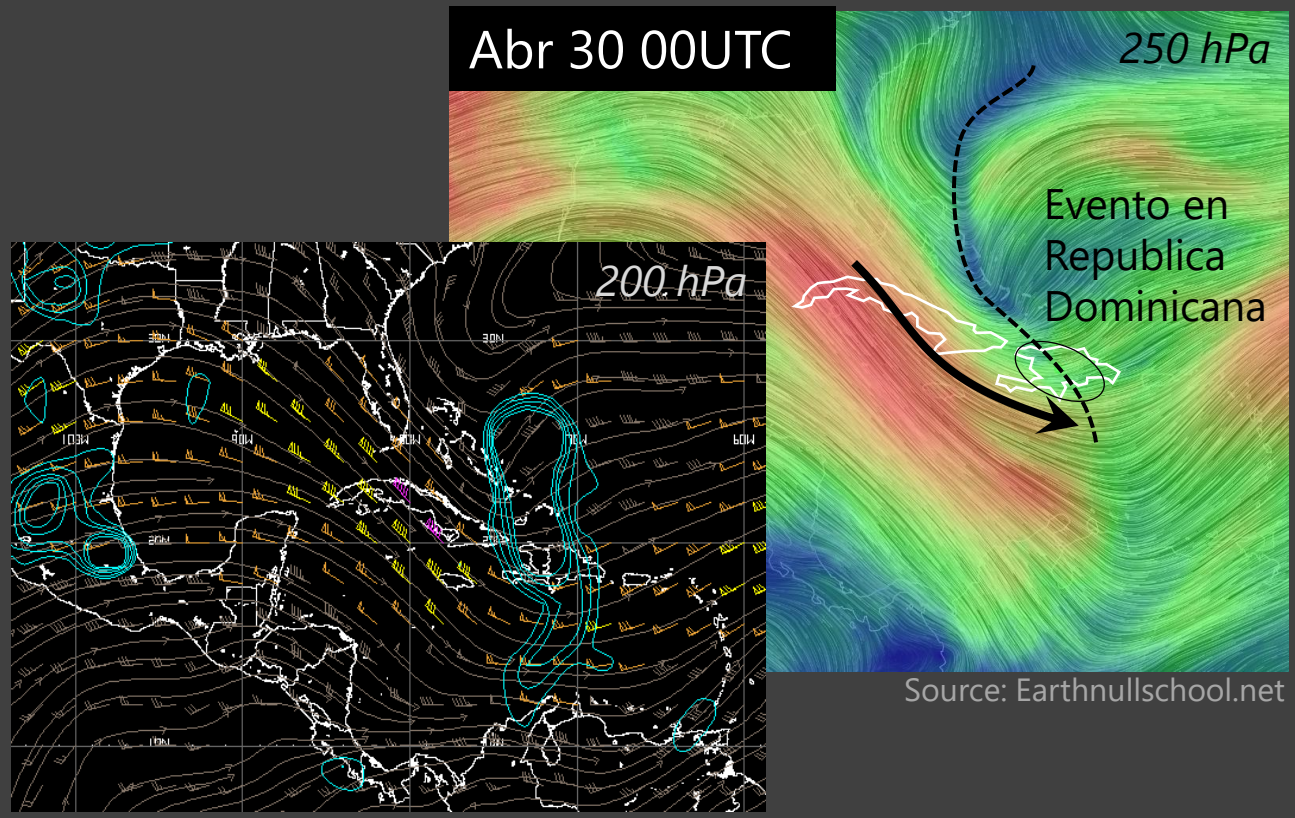
- Vaguada en altura desarrollando inclinación negativa.
- Chorro en Altura
- Salida Divergente al lado Izquierdo del Chorro en Altura

● Danos de granizo/vientos en Cuba, Abr 28 a 21UTC

▲ Danos de granizo en Hispaniola, Abr 29 a 21UTC

Patron del Flujo en Altura





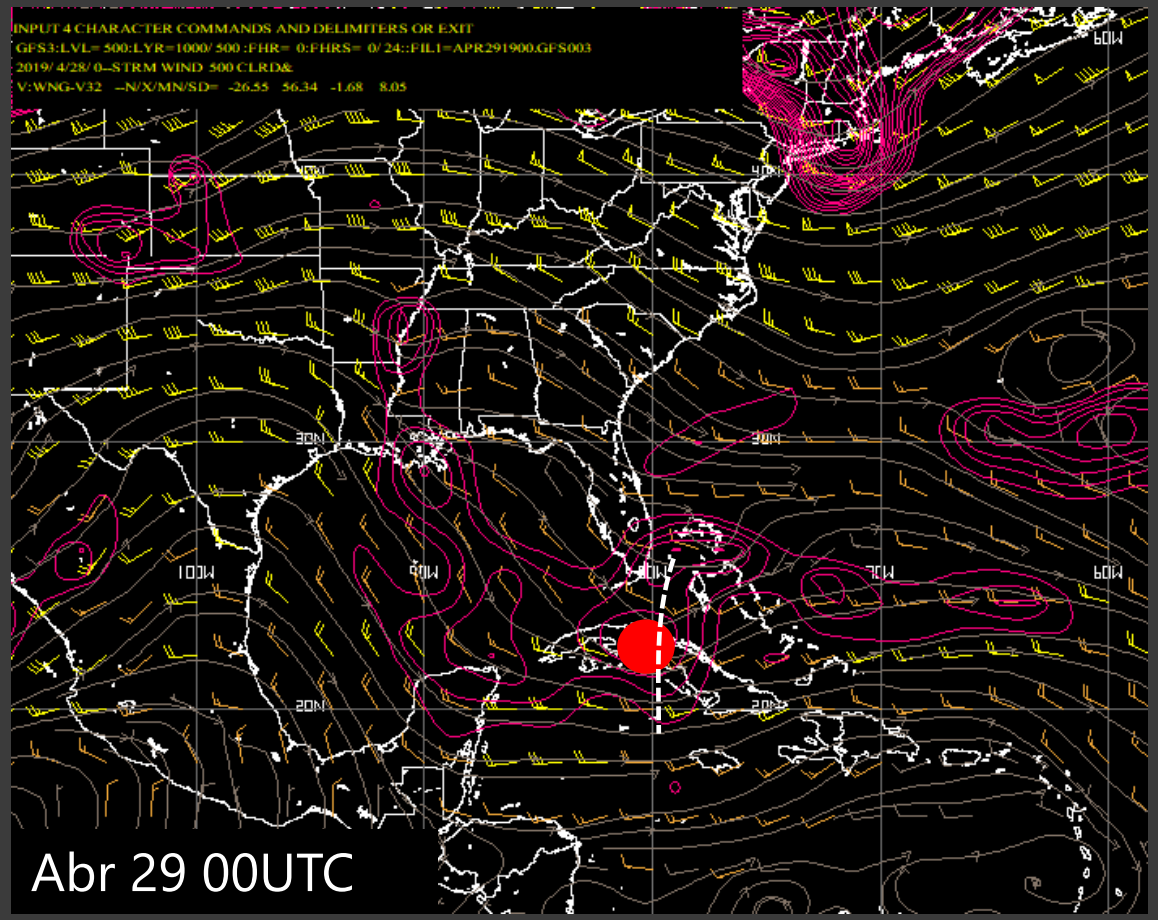
Source: Earthnullschool.net

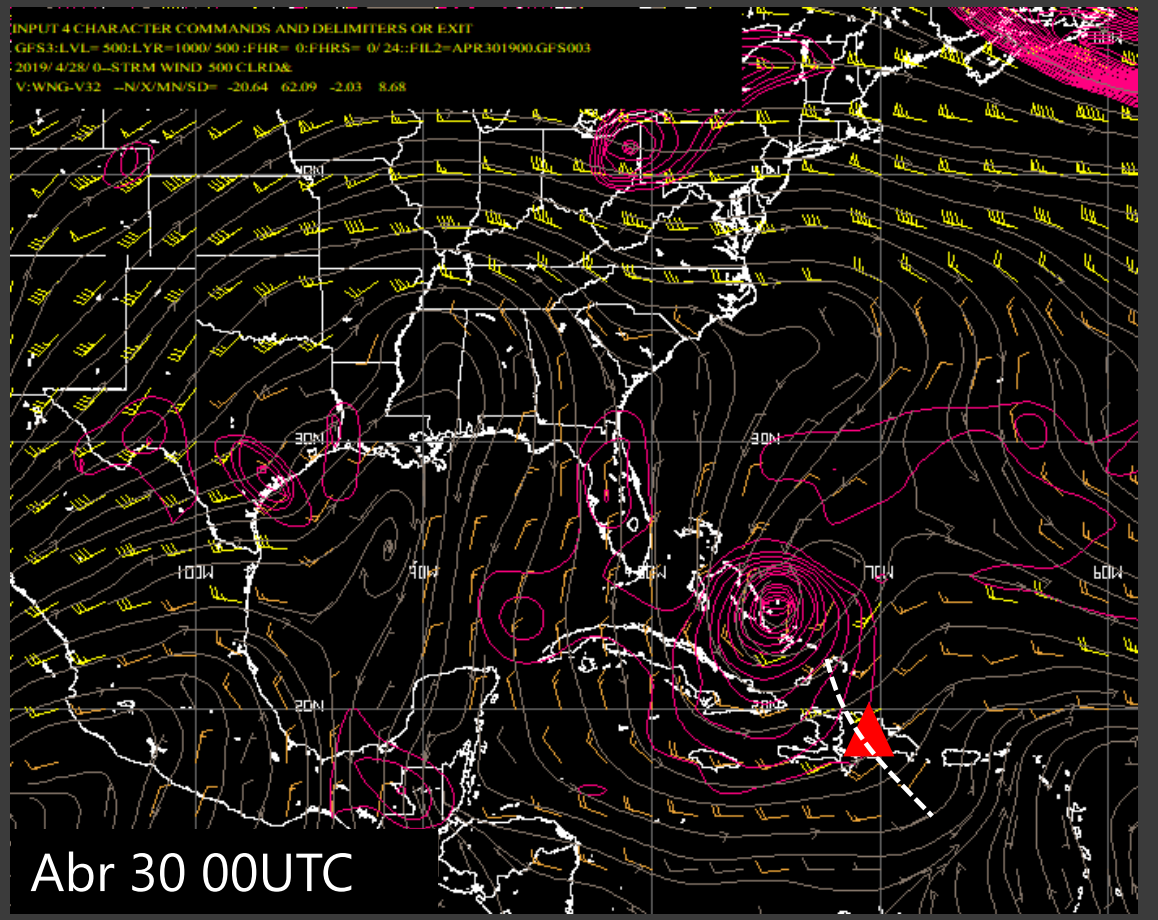
Vaguada en altura y dinámicas de chorros favorables para ascensos:

- Divergencia en la región de salida del chorro
- Divergencia, adveccion de vorticidad, y caídas de alturas antes de la vaguada en altura
- Dinamicas de chorros mas fuertes en Cuba, dinámicas de vaguadas en Hispaniola.

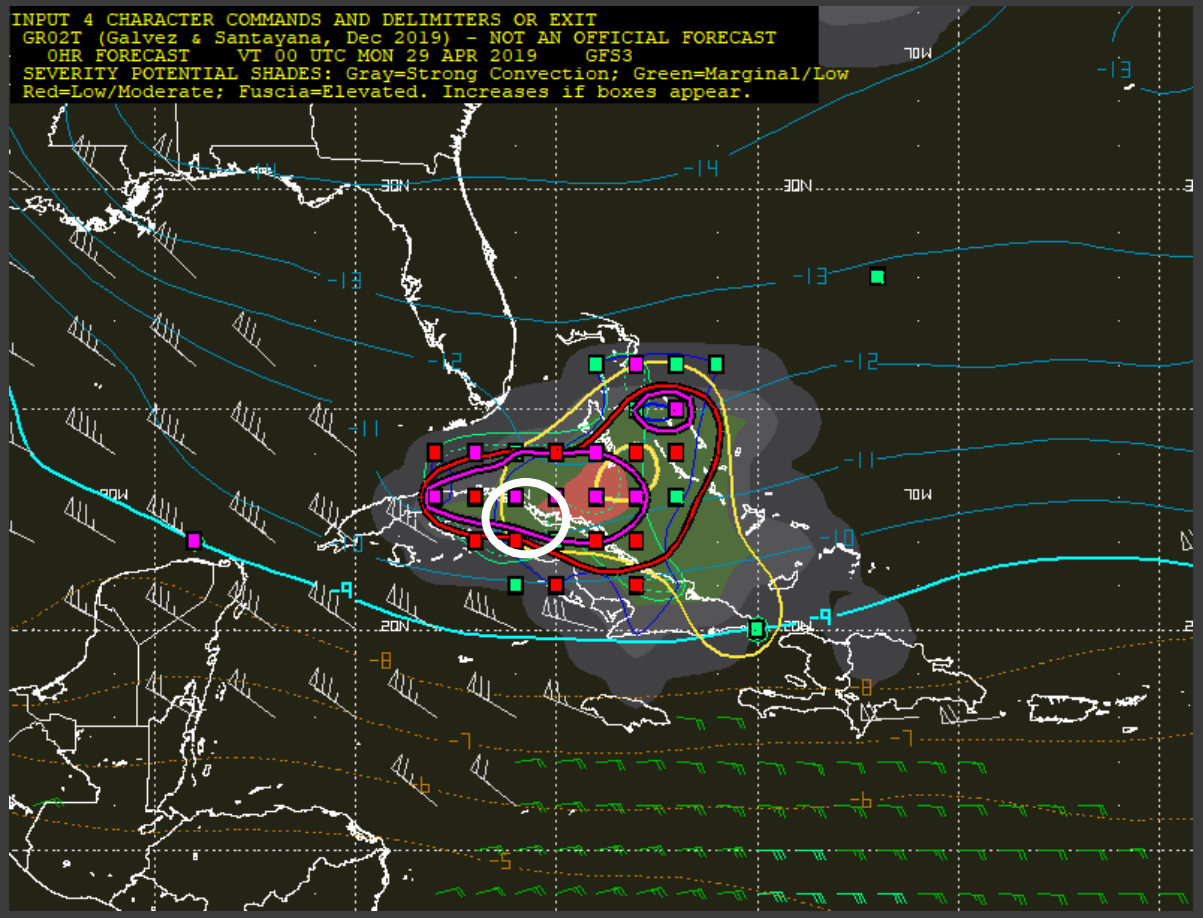
Evolución del Patrón del Flujo de Niveles Medios

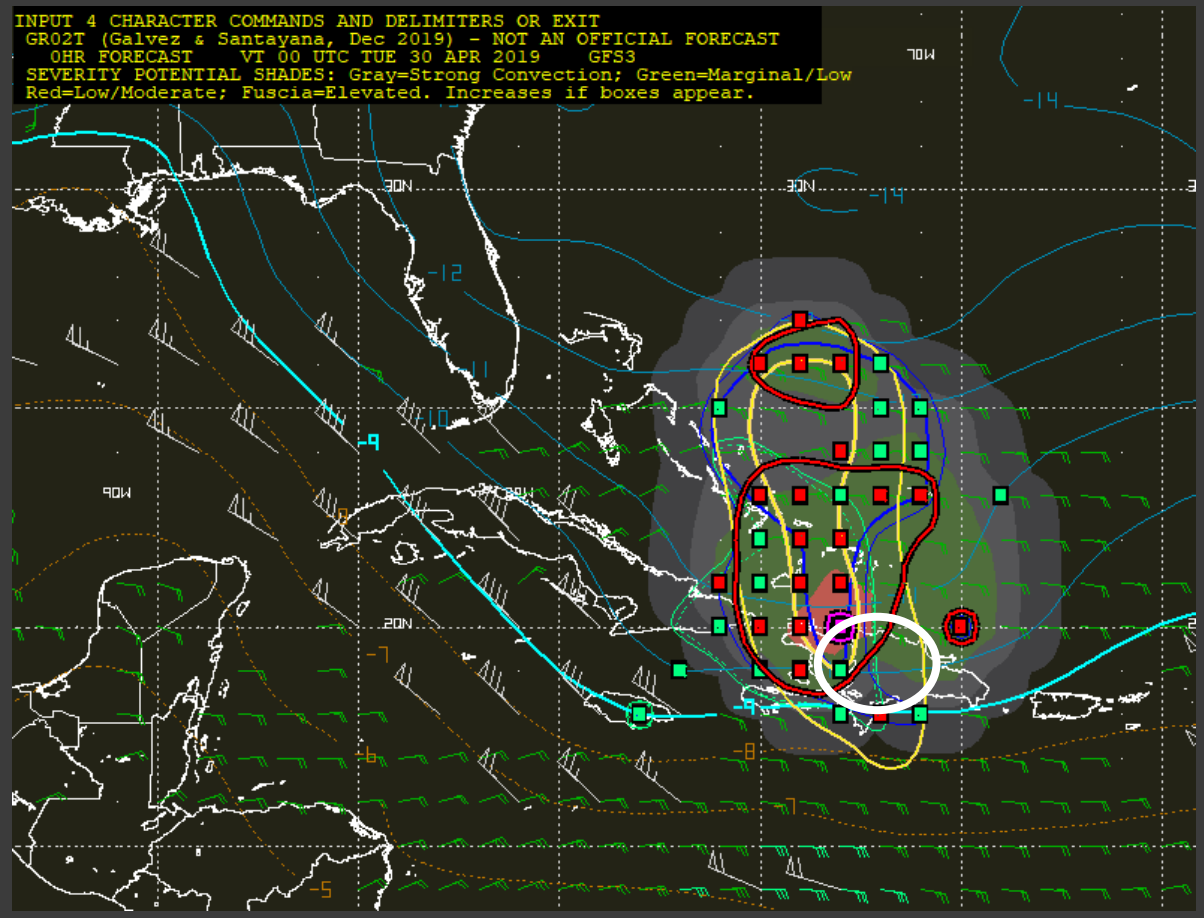
Flujo en 500 hPa (kt) y vorticidad en la capa de 600-400 hPa





Potencial de Severidad: GR02T

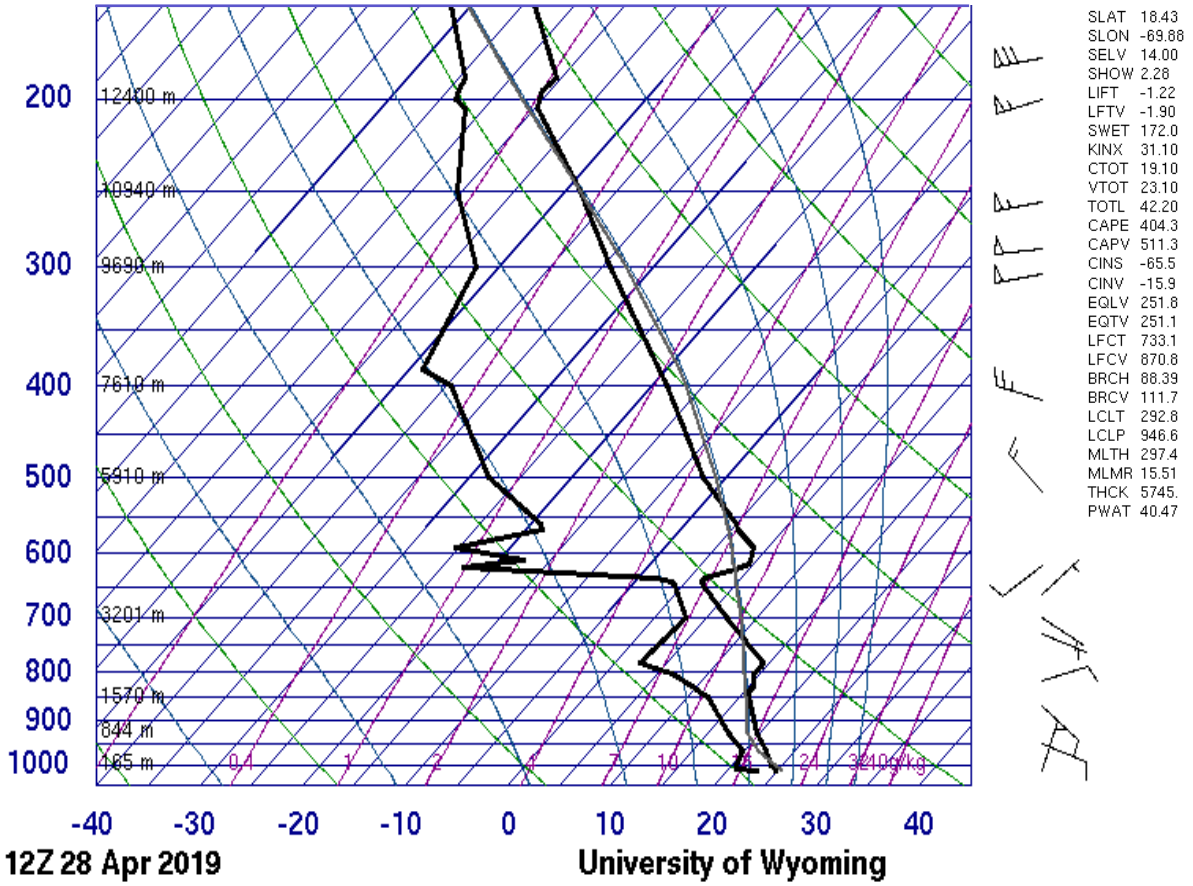




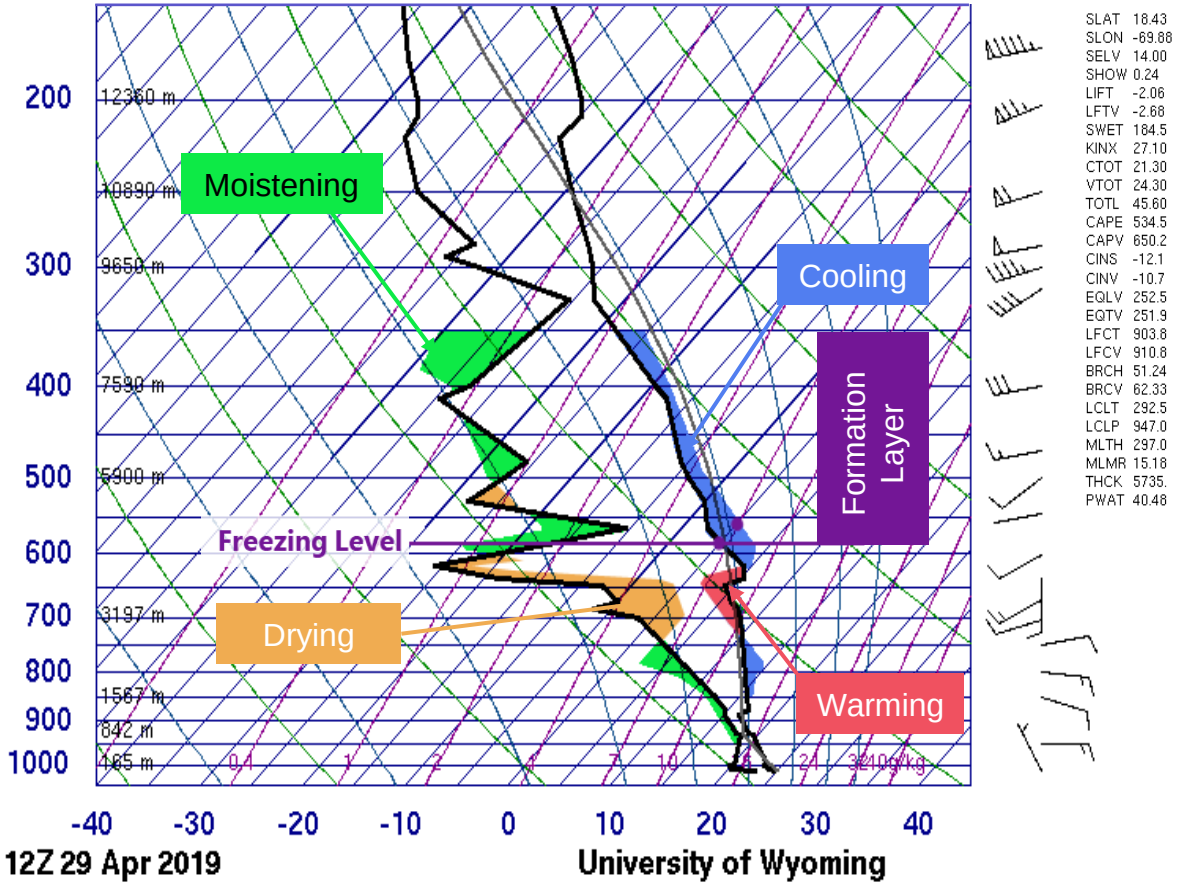
Evolución de Sondeo 12Z MDSD

- Desestabilización
- Se humedece la capa donde se forma granizo
- Bajan los niveles de congelación
- Secamiento debajo del nivel de congelación

Dia -1



Day 0: Lluvias fuertes y granizo



05

Impactos del ENSO, MJO y otras Oscilaciones Climáticas

El ENSO y la MJO afectan la Aviación en las Américas

Modulan áreas propensas para tormentas y cizalla/cizalladura.

Ejemplos del ENSO

- El Niño = chorros subtropicales mas fuertes en el invierno y se asocian tormentas, frentes, y líneas de corriente. Inviernos activos en el norte del Caribe y el subtropical de Sudamérica.
- El Niño = Chorros de niveles bajos mas fuertes en Centroamérica y cizalla/cizalladura asociada. Pero menos tormentas en Ecuador y Perú, y el centro de Sudamérica en la primavera.
- La Niña = Mas tormentas en el norte de Sudamérica, Centroamérica, y el Caribe; y mas ciclones y CAG.

Ejemplos de la MJO

- Divergencia en Altura (Fases 7, 8 y 1) = mas tormentas en América tropical.
- Fases 8, 1, 2 = Favorecen ciclogénesis si hay perturbaciones
- Convergencia en Altura (Fases 3, 4 y 5) = alisios del este mas fuertes y mas cizalla/cizalladura de vientos en niveles bajos.

05a

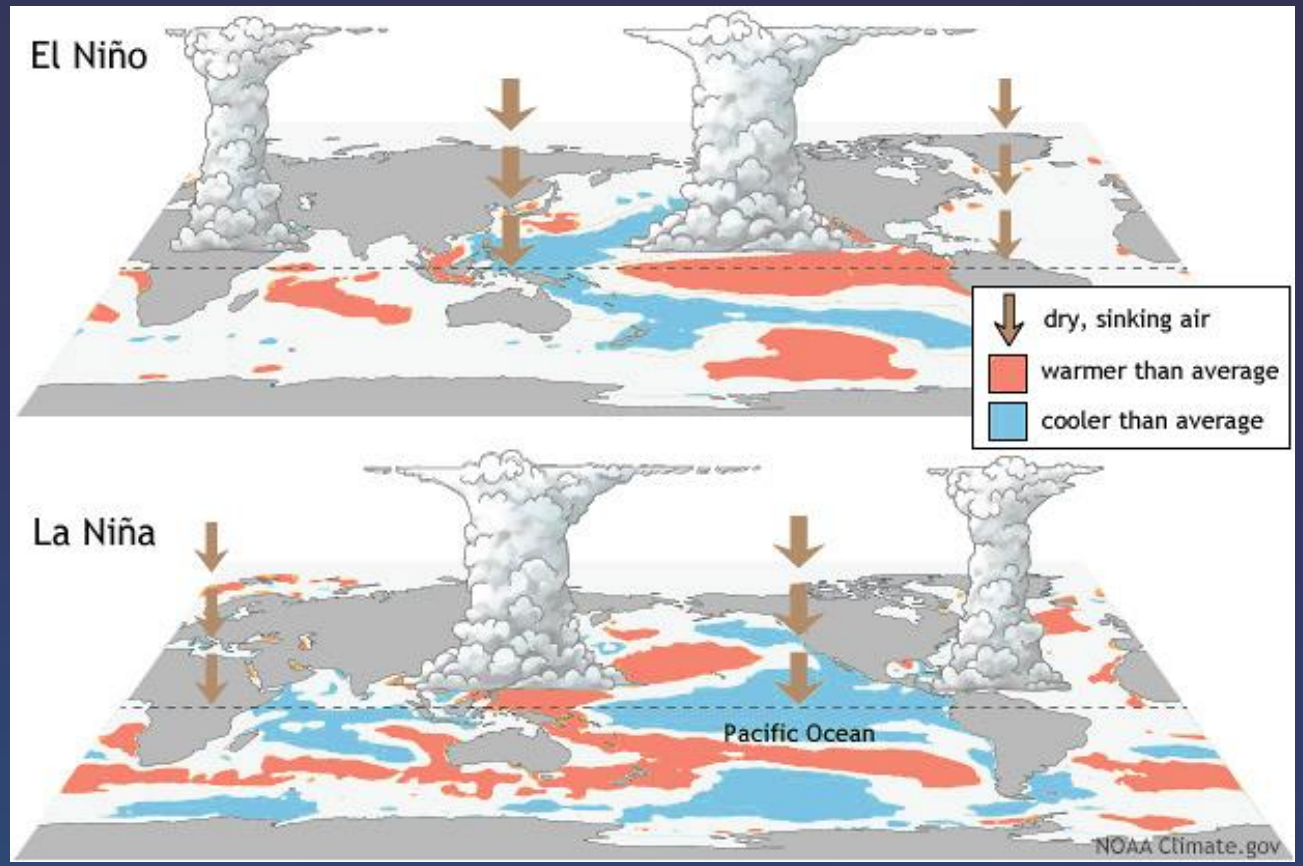
El Niño-Southern Oscillation (ENSO)

El Niño-Southern Oscillation (ENSO)

ENOS (en español)

Definición

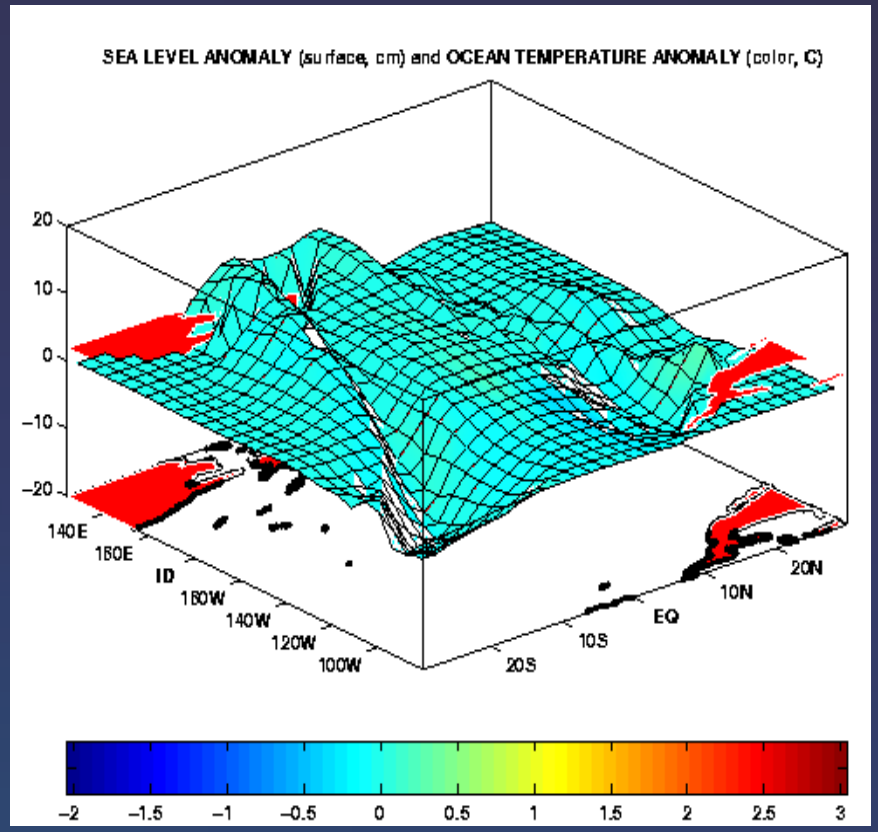
- Un patrón climático recurrente en el Pacifico tropical.
- Consiste de cambios en los variables del océano y la atmosfera que persisten por varios meses.
- Tiene 3 fases: El Niño (calor), La Niña (frio) y neutral.
- El Niño y La Niña regresan en intervalos de 2-7 años, no periódico.



Source: Climate.gov

Como opera el ENSO?

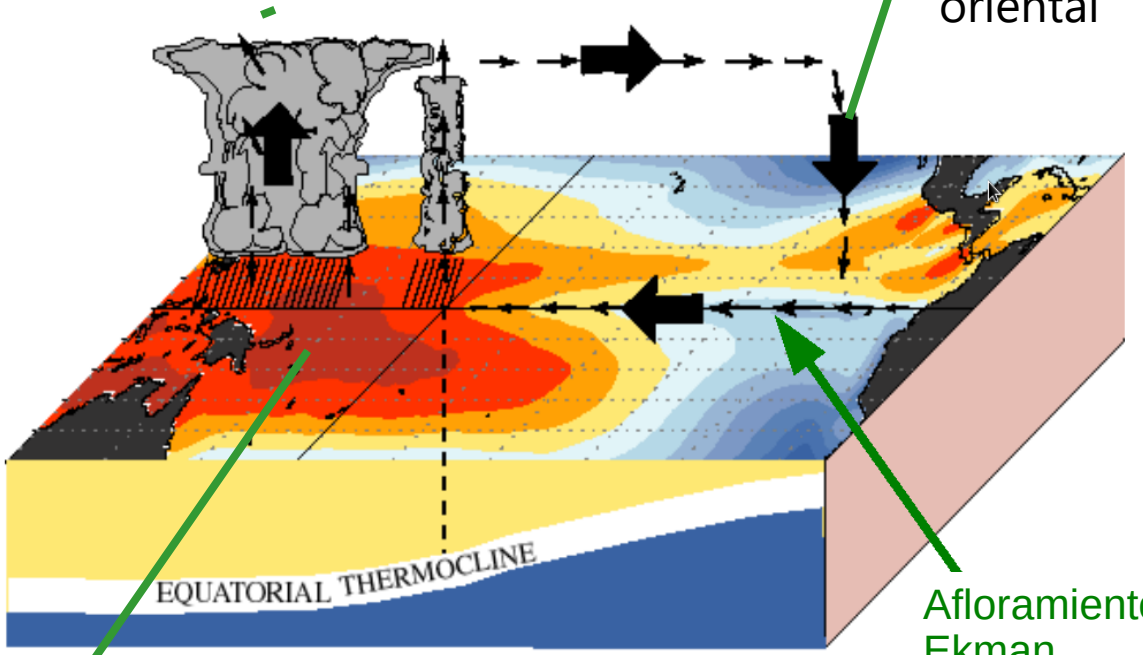
- Consiste de cambios en la distribución de temperaturas y niveles del mar en el Pacifico ecuatorial, que inducen cambios en las circulaciones atmosféricas y en los impactos globales.
- Impactos en la Aviación: Modifica las áreas propensas al desarrollo de tormentas y cizalla/cizalladura.
- Unas de estas circulaciones modificadas intensifican la fase del ENSO (ej. calentamiento del mar favorece mas ráfagas de vientos del oeste, que fortalecen el calentamiento), entonces depende en las interacciones entre los océanos y la atmosfera.



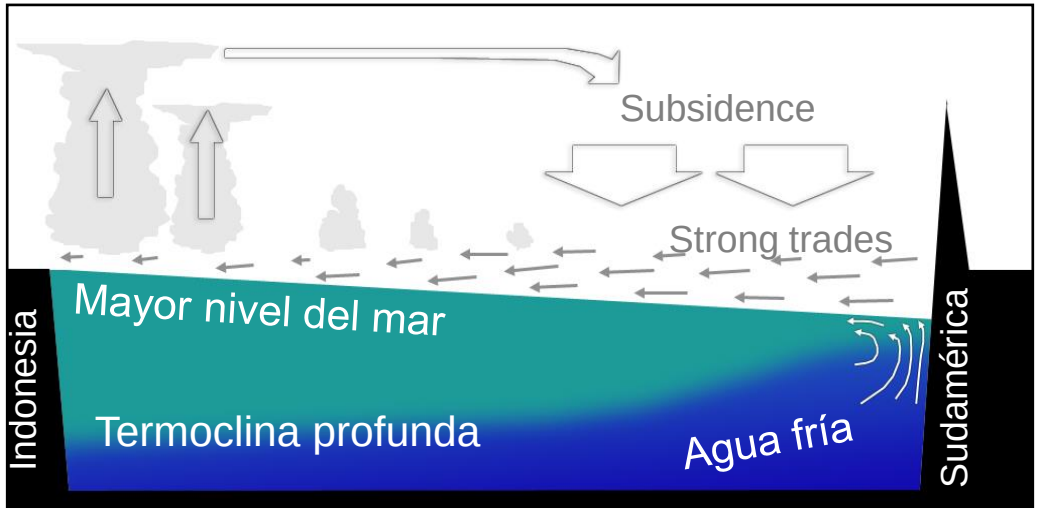
Condiciones Normales

RAMAL ASCENDENTE DE WALKER
Ramal ascendente y convección sobre la piscina cálida al oeste

RAMAL DESCENDENTE DE WALKER
Ramal subsidente de la circulación de Walker resalta estabilidad en el Pacífico oriental



NIVEL DEL MAR Y TERMOCLINA

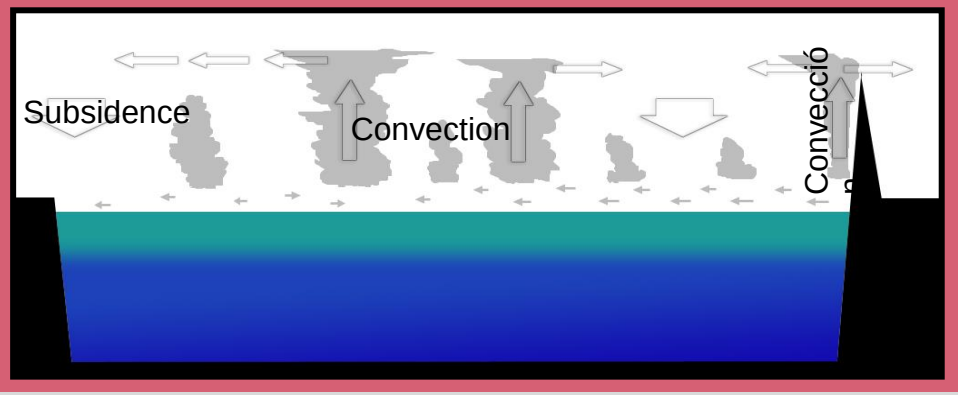


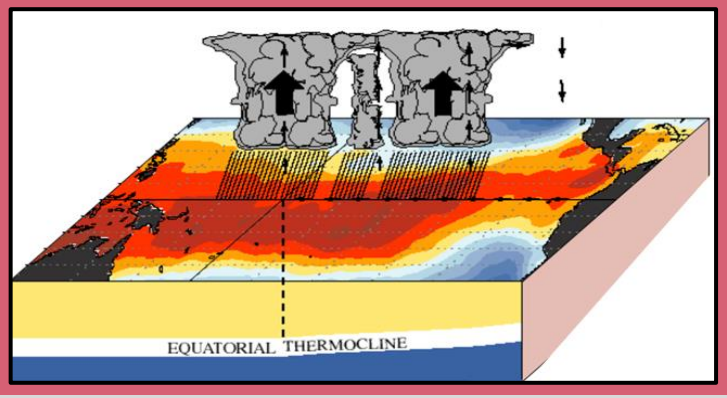
AGUA CALIDA AL OESTE
Alisios del este apilan el agua cálida en el Pacífico Occidental

AGUA FRIA AL ESTE
Transporte desde el sur (Humboldt), afloramiento costero y ecuatorial (Ekman).

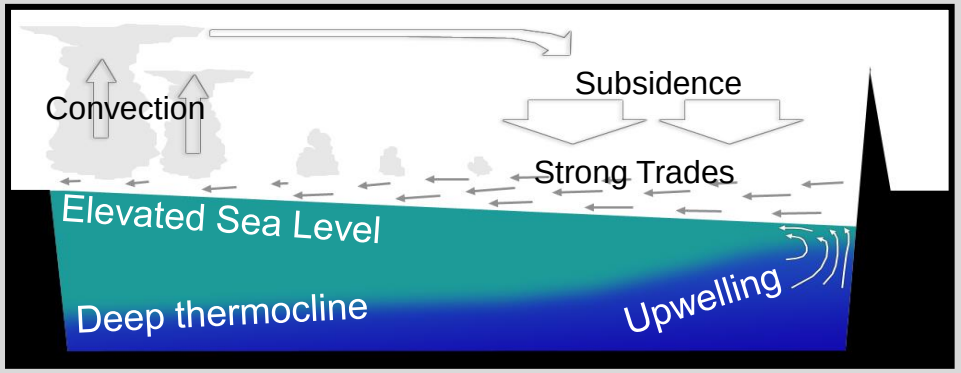
Phases of ENSO

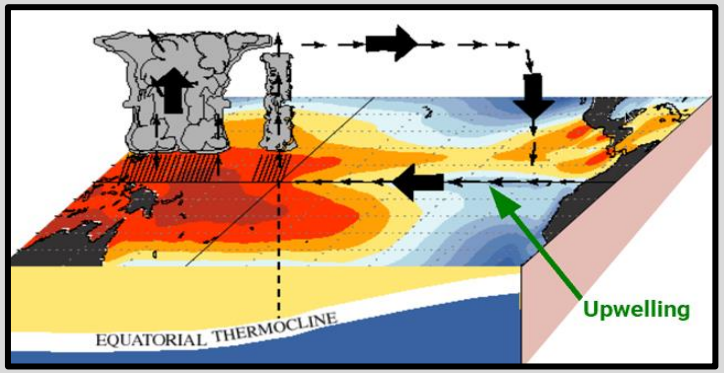
El Niño





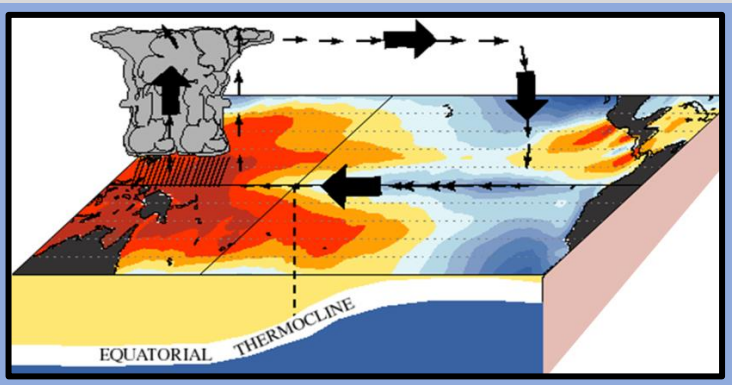
Normal o Neutral





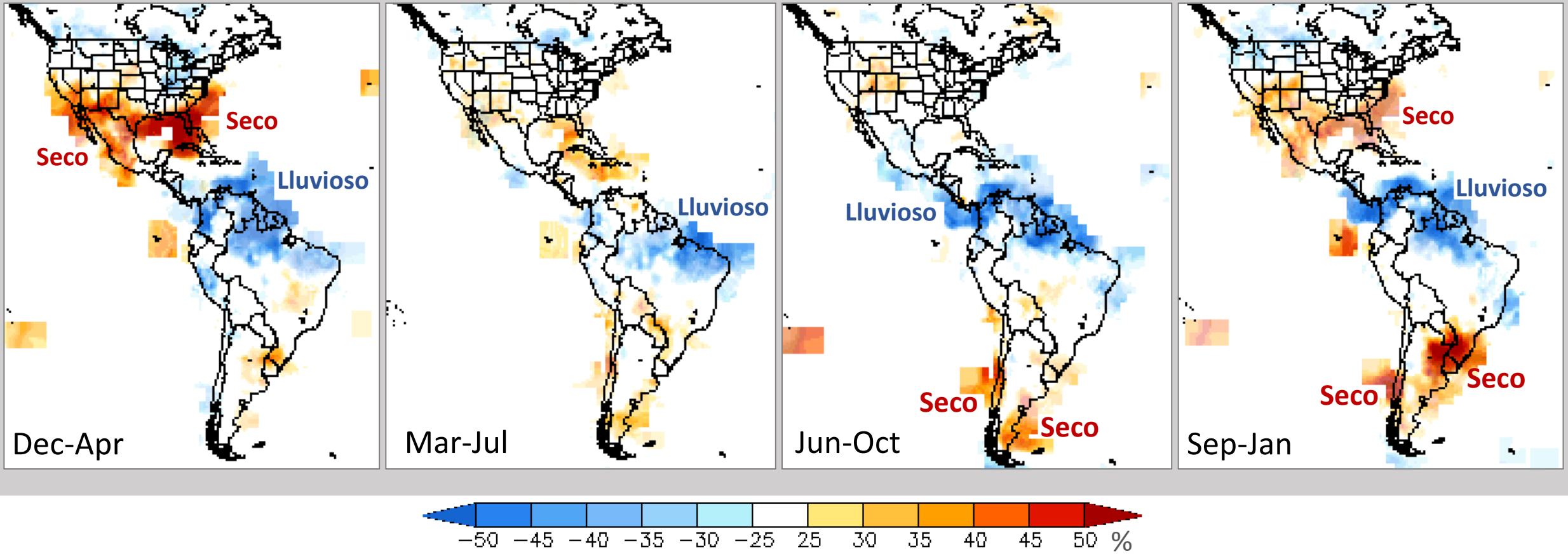
La Niña

… es un exacerbación en las asimetría que se ven en las condiciones normales.



Estacionalidad de Precipitación Anómala

Correlaciones con Precipitación



https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/ENSO/regressions/geplr.shtml

Cada Evento de El Niño Son Diferentes

- La distribución de anomalías de TSM son diferentes debido a la interacción con otros sistemas de tierra-océano-atmosfera.

- Impactos son diferentes por:

(1) Distribución de TSM anómalas

(2) Estacionalidad

(3) Interacciones con otros procesos y oscilaciones atmosféricas (ej. MJO, PDO, AMO, NAO, etc).

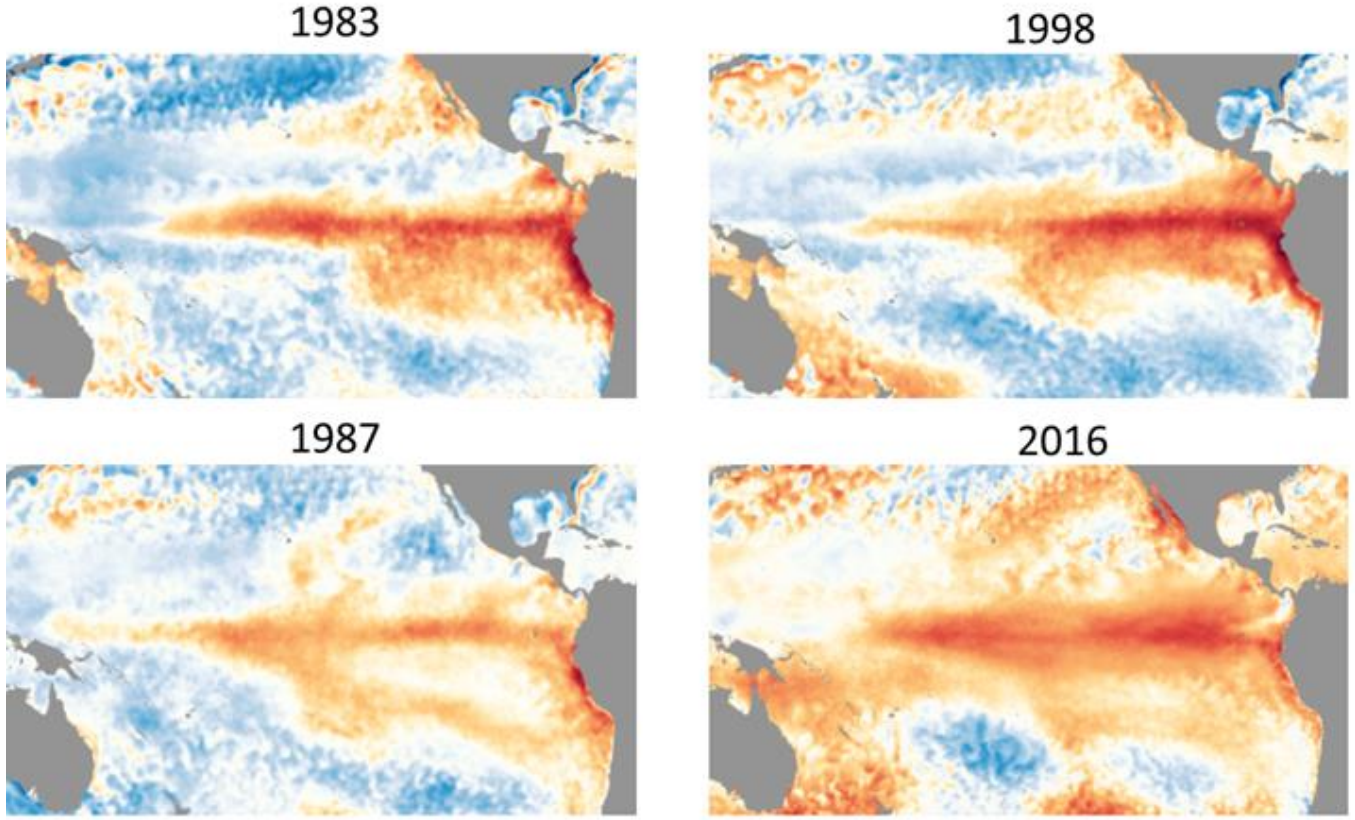


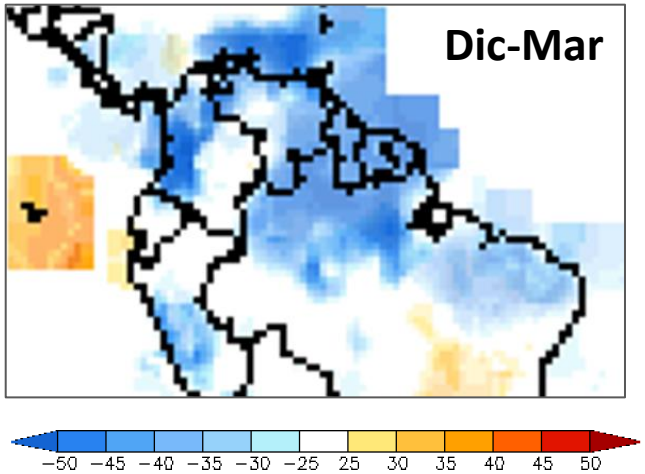
Figura. Promedios mensuales de anomalías de TSM, base de datos de OISST, durante las fases cálidas del ENSO en cuatro meses de marzo distintos. Fuente: NVVL/NOAA.

La Niña Temporada Seca en el Sur del Caribe: Mas Precipitación Debido a Frentes y Líneas de Cortantes

Octubre a Marzo

- Muy lluvioso excepto en el Norte de Perú y Ecuador.
- Célula de la Circulación Walker se encuentra encima de Sudamérica

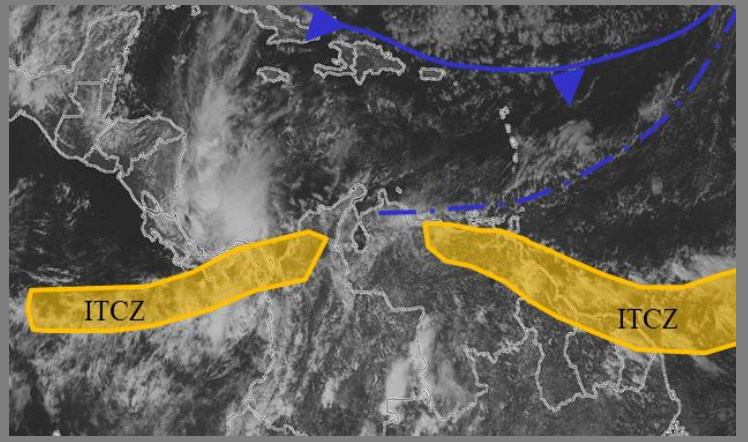
SST Correlación Niño 3.4 - Precipitación



Tragedia Vargas en Venezuela

Dic 1999

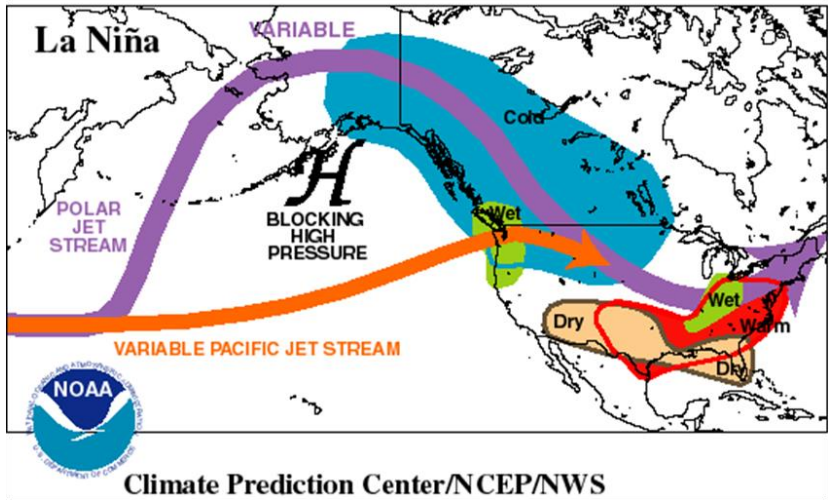
- ZCIT y línea de cortante
- Lluvia: 1-13 Dec: 293mm, 14-16 Dec: 911mm
- Impacto: 30-50K Muertos, $1.79 Billones en pérdidas, 8000 casas y 700 edificios dañados.

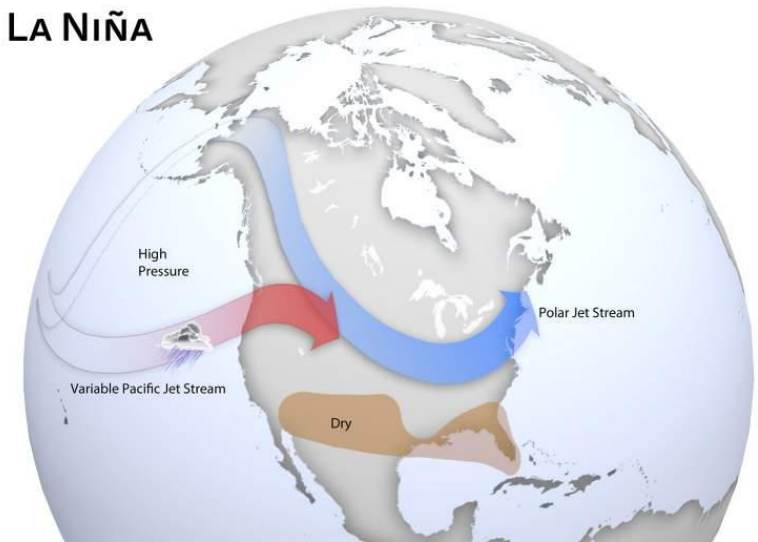


México: La Niña en Invierno/Temporada Seca

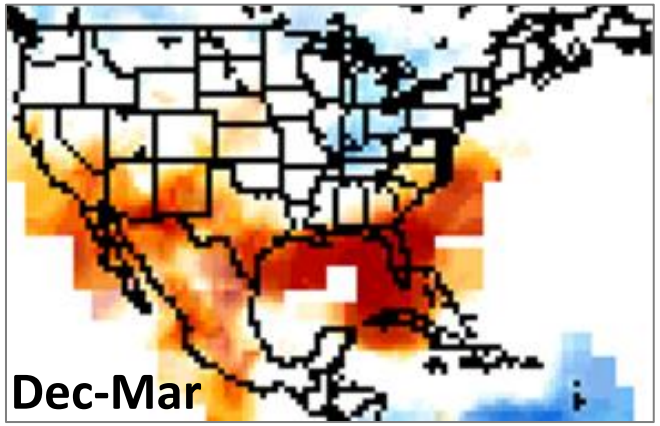
Octubre a Mayo

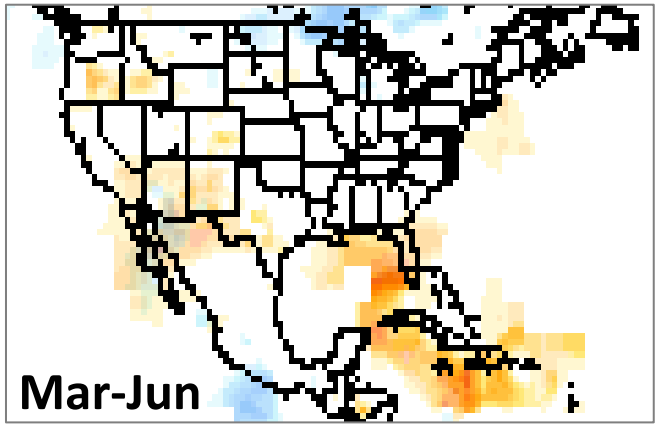
- Los chorros en altura se desplazan más al norte de lo normal, haciendo la trayectoria de ciclones extra tropicales mas al norte, generando sequias en México y el sur de EEUU.
- El norte del Caribe se seca, especialmente en la primavera, durante abril y mayo (debido a la ausencia de chorros y vaguadas de altura).

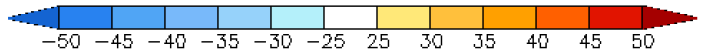




TSM Correlación Niño 3.4 - Precipitación





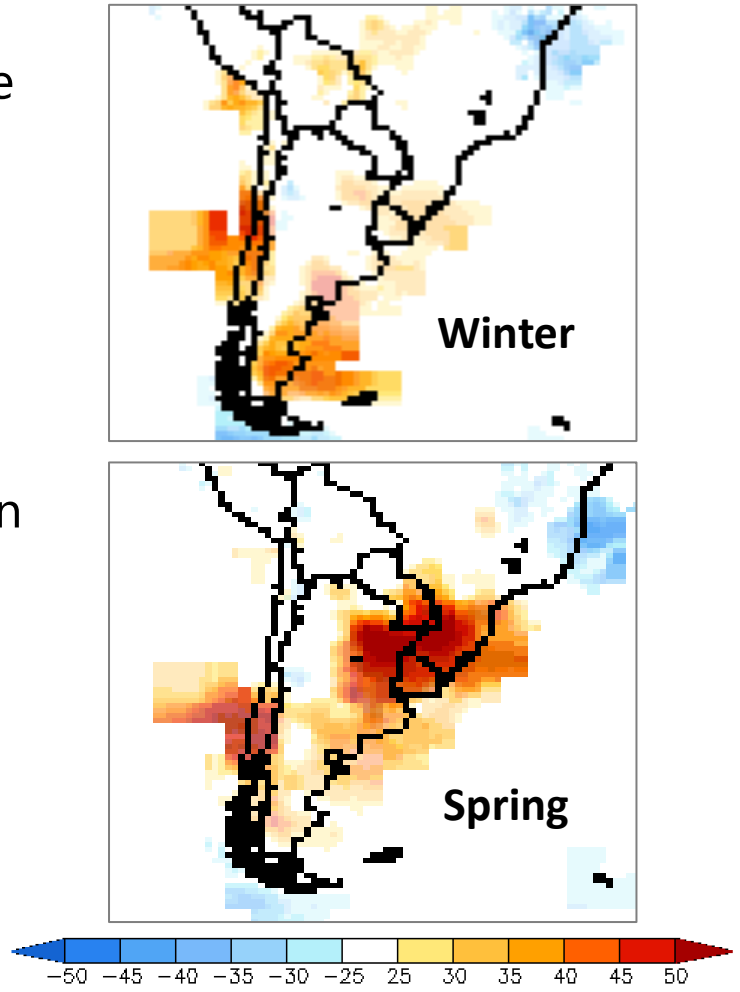


Argentina, Paraguay, Uruguay y sur de Brasil secos en primavera

Junio a Noviembre

- Se debilita el chorro subtropical y desplaza muy al sur la trayectoria de ciclones extra tropicales.
- Esto debilita el SALJJ (chorro de capas bajas Amazonía-Argentina) limitando la fuente de humedad.
- Las tormentas pasan muy al sur y produciendo menos precipitación en el centro de Chile y en la mayor parte de Argentina.
- Primavera: Sequías extremas en Argentina/sur de Brasil/Uruguay, donde usualmente suelen darse muchos sistemas convectivos con lluvias intensas.

SST Correlation Niño 3.4 - Precipitation



Sequía en Argentina

Impactos especialmente en cultivos de soya y maíz ocurren entre setiembre y noviembre, durante la primavera.

Chile Central: Seco durante La Niña

Mayo a Octubre

- El centro y centro-sur de Chile suele secarse claramente durante La Niña (y se vuelve lluvioso durante El Niño).
- Seco: Principalmente por el pasaje más al sur de los trenes de tormenta y ausencia de ríos atmosféricos robustos desde la Polinesia en meses de invierno.

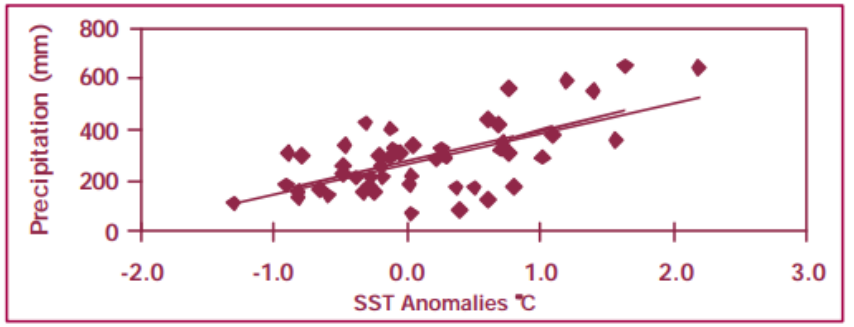


Figure 2. Precipitation for Santiago correlated with anomalies of the SST (Niño 3), April–September 1950–98.

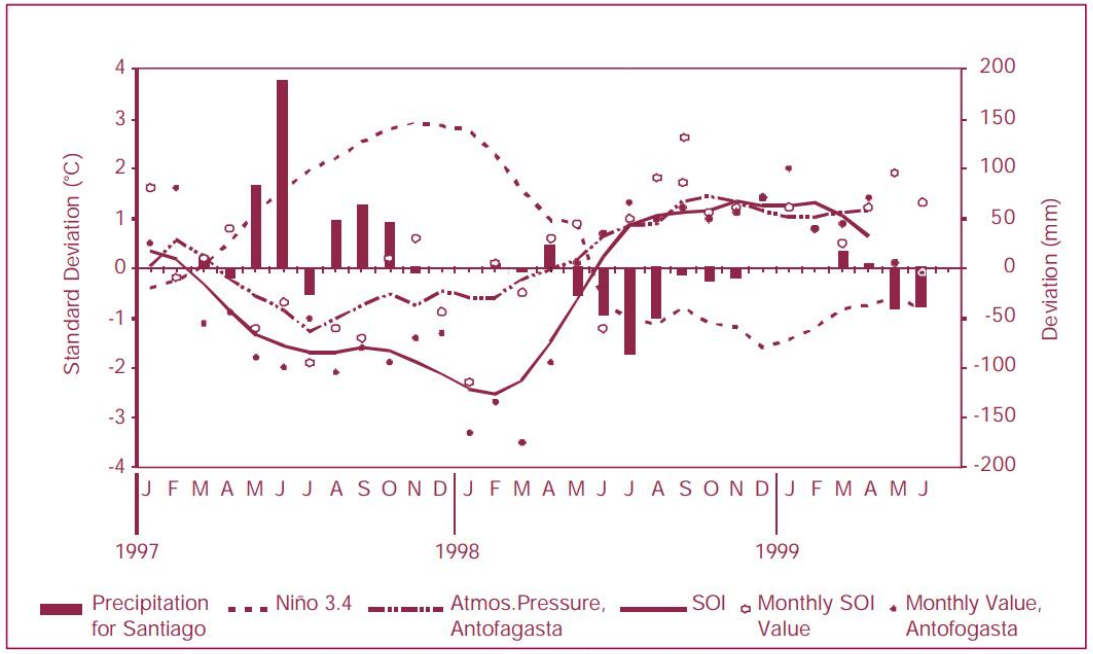
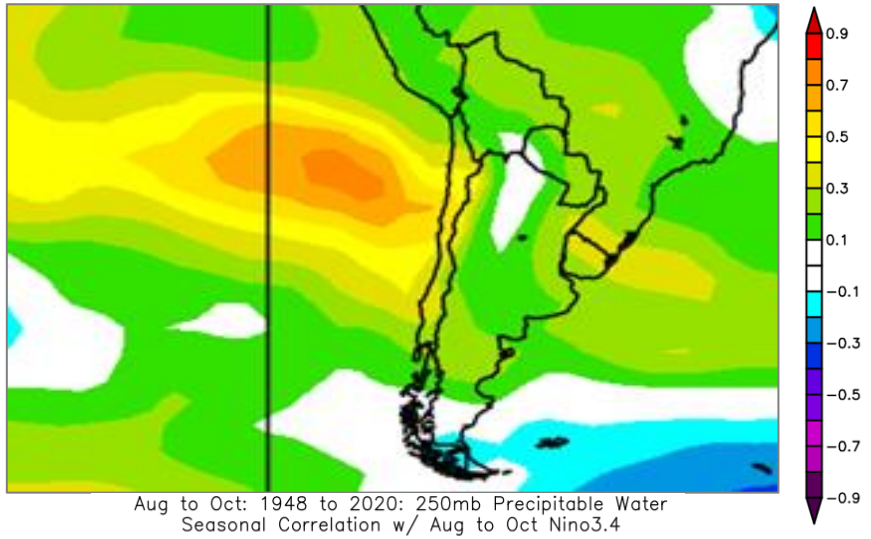


Figure 4. Sea surface temperature in the central equatorial Pacific, atmospheric pressure in Antofagasta, and precipitation in Santiago, January 1997–July 1999.

Correlación TSM Niño 3.4 – Agua Precipitable



Aug to Oct: 1948 to 2020: 250mb Precipitable Water
Seasonal Correlation w/ Aug to Oct Nino3.4

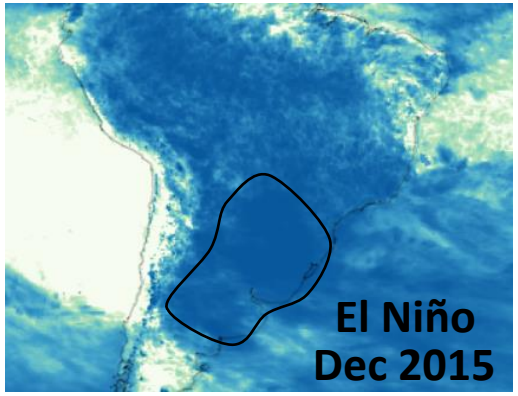
NCEP/NCAR Reanalysis

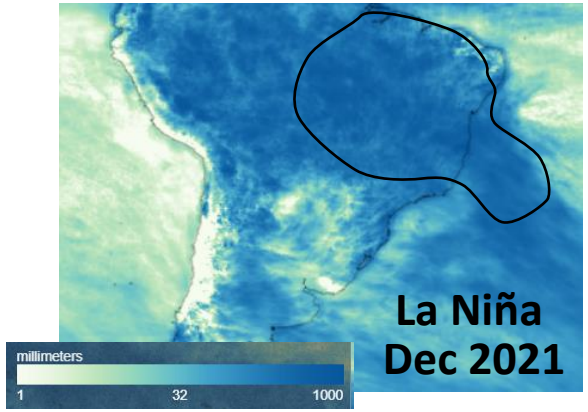
Verano en Brasil: Lluvioso al norte y este

Noviembre a Marzo

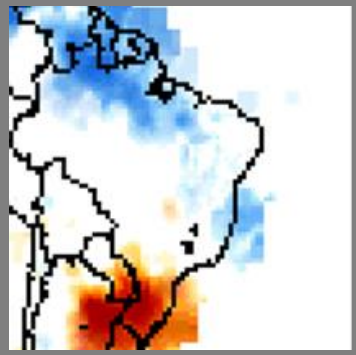
ZCAS y ascensos por celda de Walker activos

- El ramal ascendente de la circulación de Walker intenso favorece más lluvia en la Amazonía y se extiende hasta el este de Brasil.
- Los descensos y sequías en el sur de Brasil/Argentina se compensan con mayores ascensos al norte.
- La Zona de Convergencia del Atlántico Sur se vuelve más prominente y recurrente, generando eventos extremos que a veces afectan los Andes y selva de Perú y Bolivia



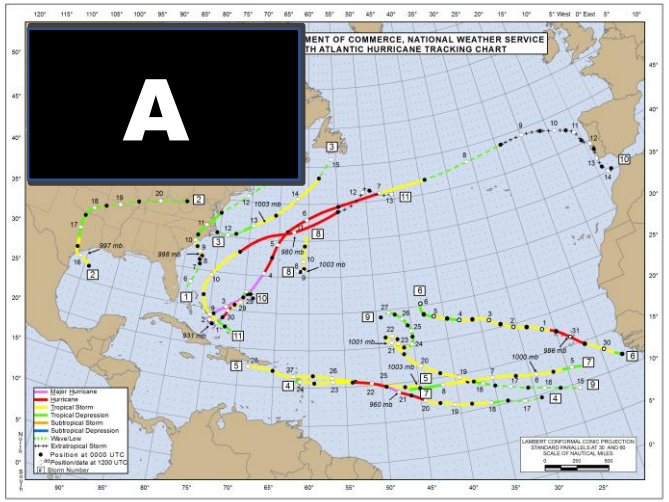


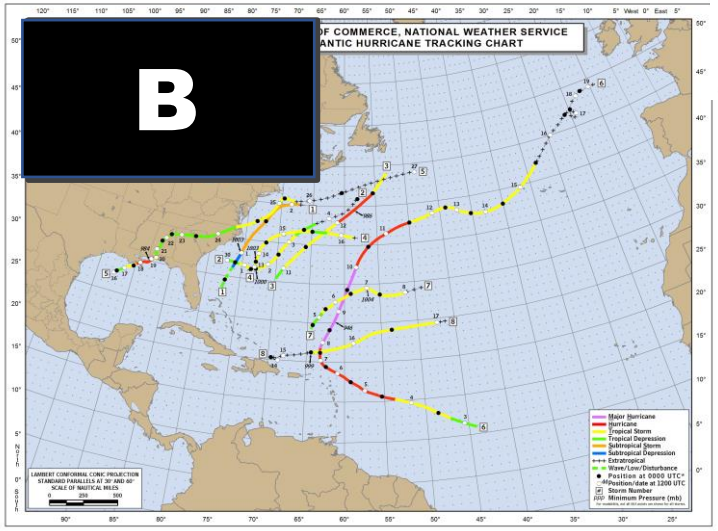
Las inundaciones en el este y norte de Brasil se vuelven frecuentes durante La Niña por una intensificación y desplazamiento al norte de la ZCAS.

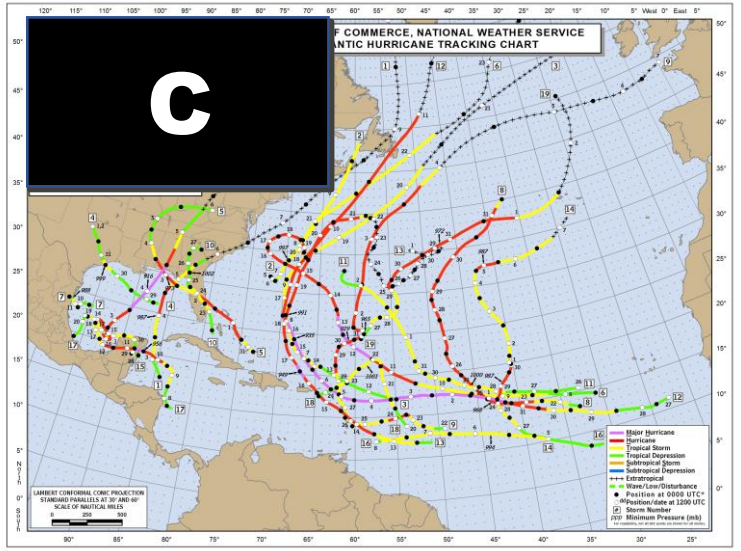


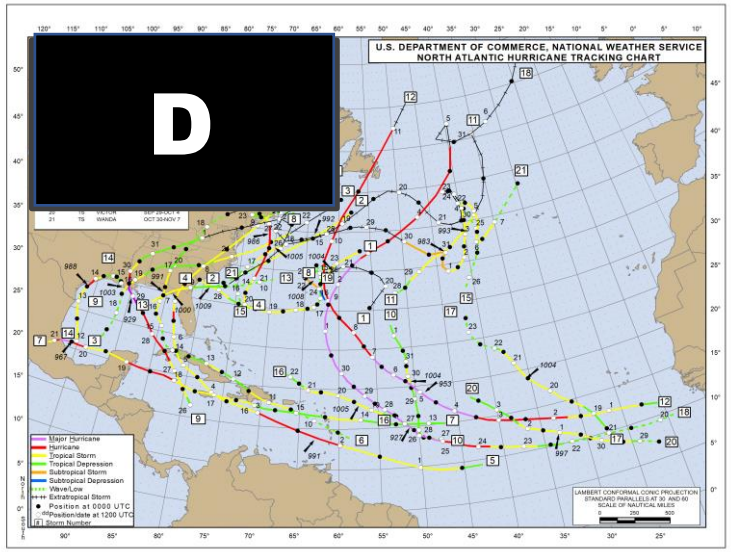
Temporada de Huracanes en el Caribe

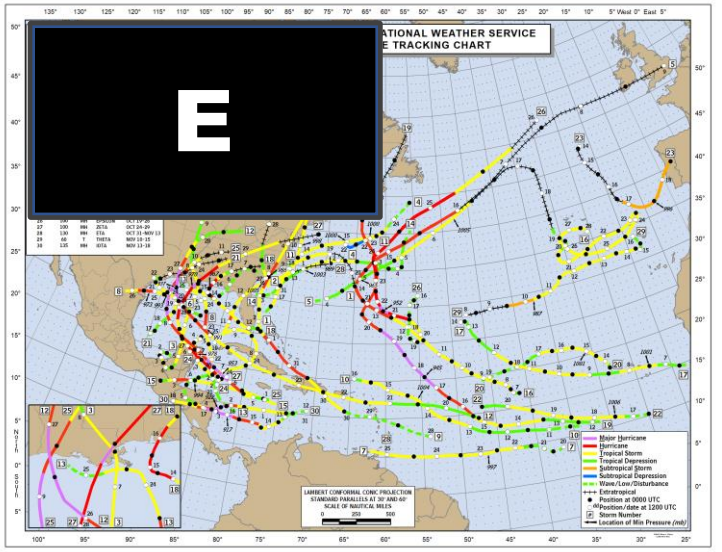
¿Qué años son La Niña y cuáles El Niño?





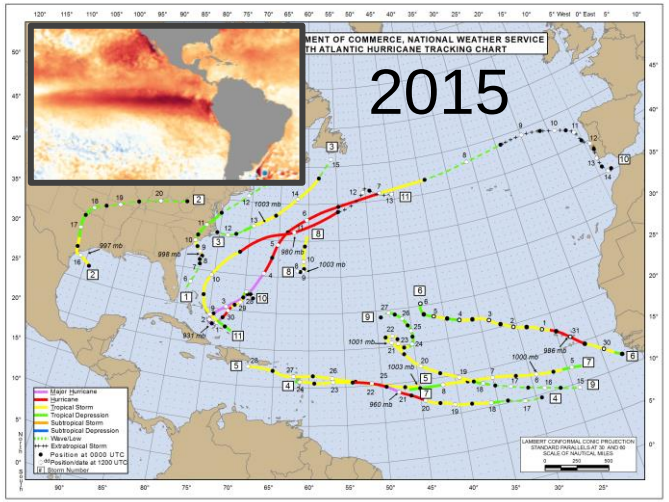


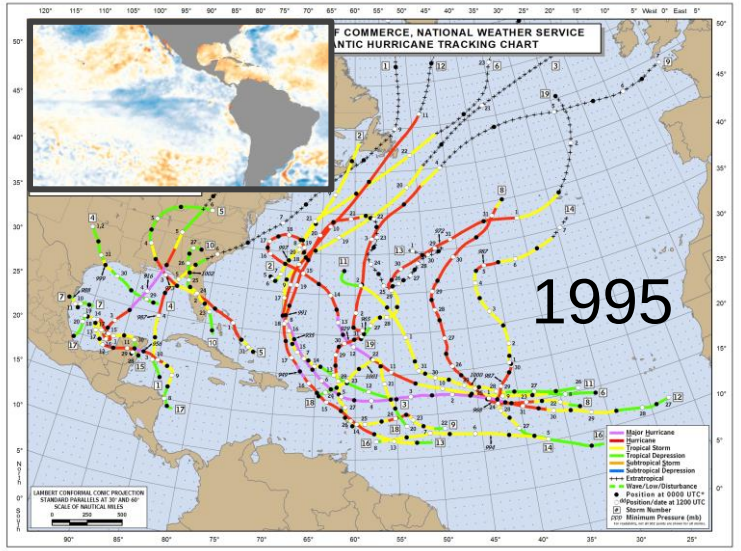


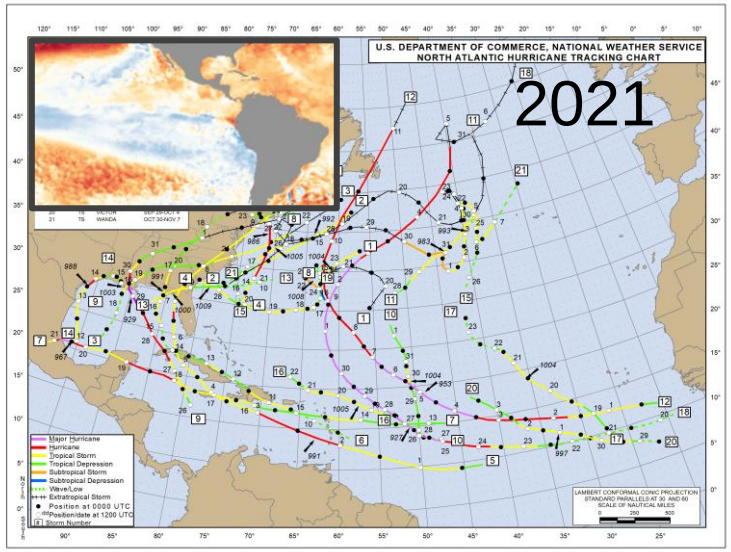


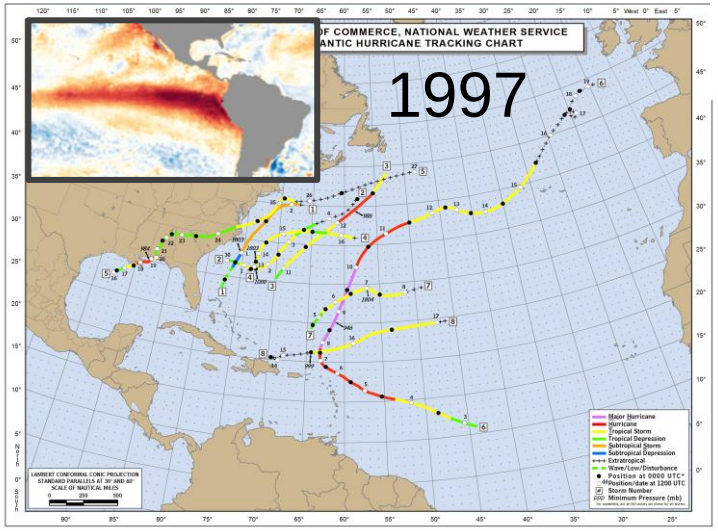
Temporada de Huracanes en el Caribe

¿Qué años son La Niña y cuáles El Niño?

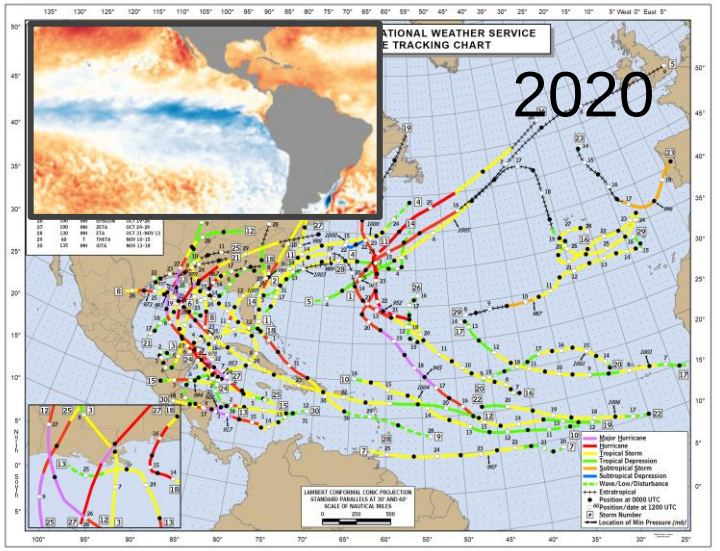




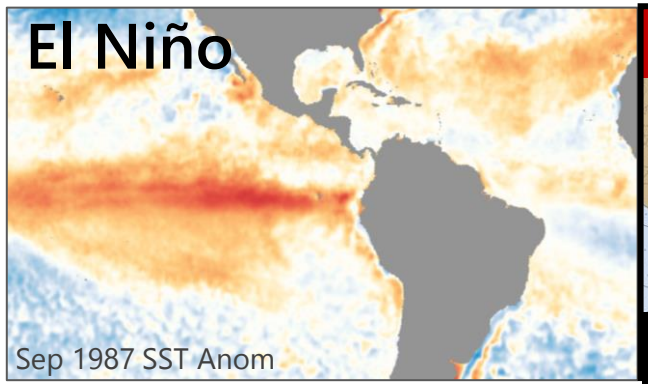


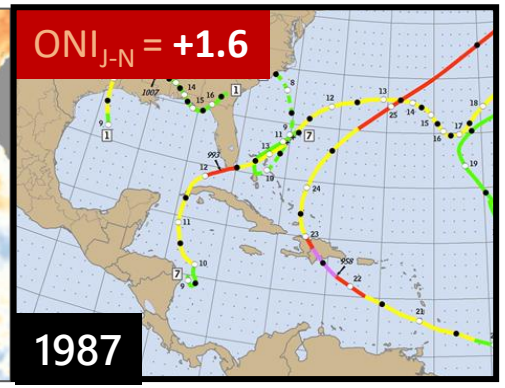


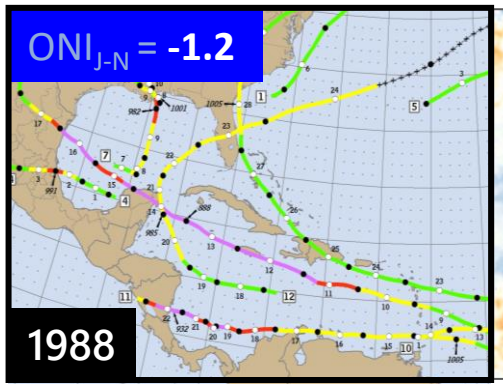
Atlántico más activo durante La Niña

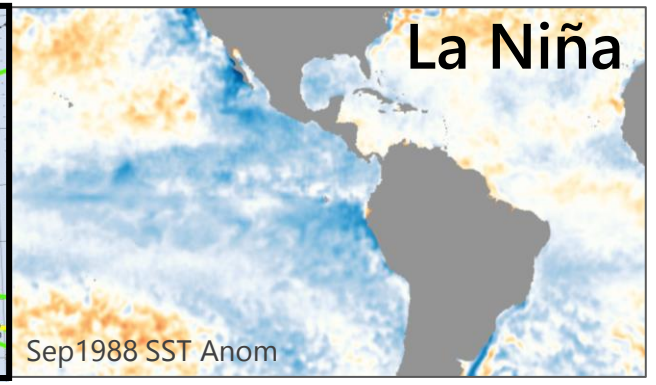


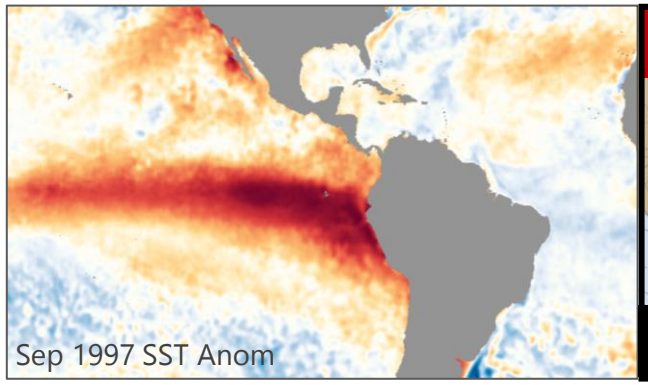
El Niño = Menos huracanes en el Caribe (Jun-Nov)

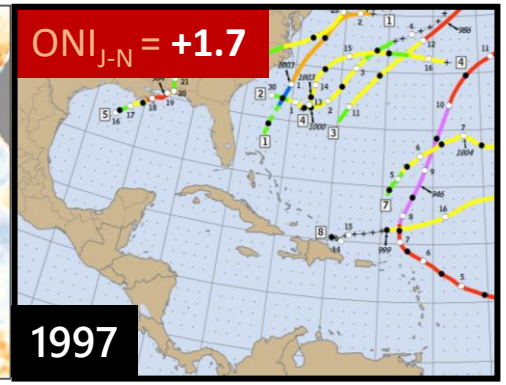


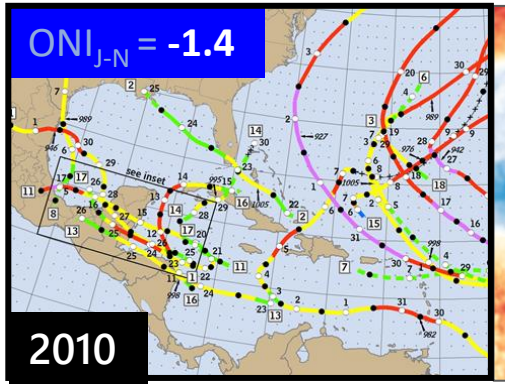


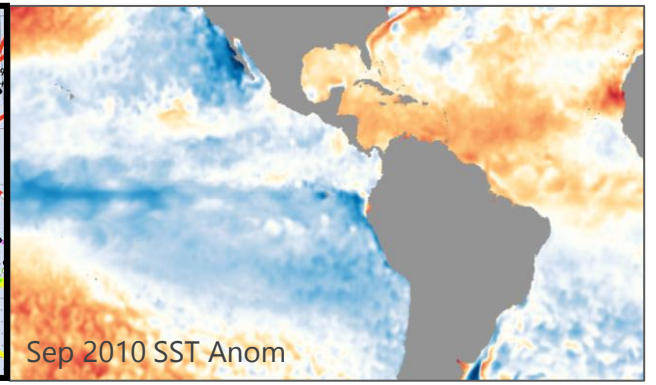


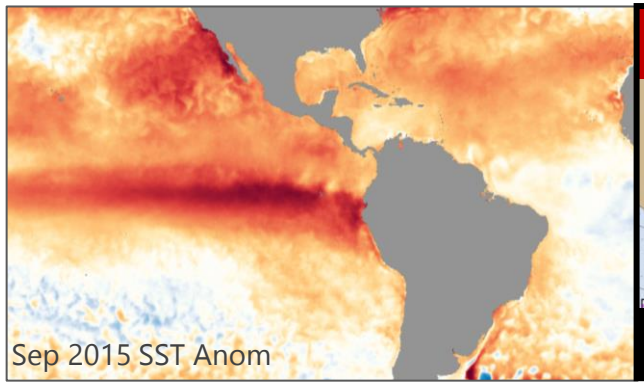


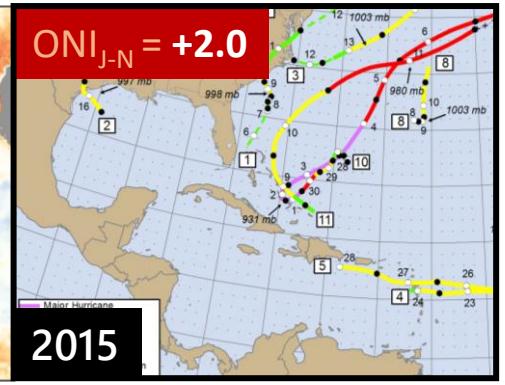


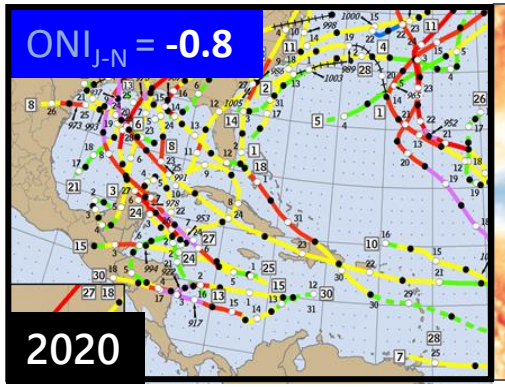


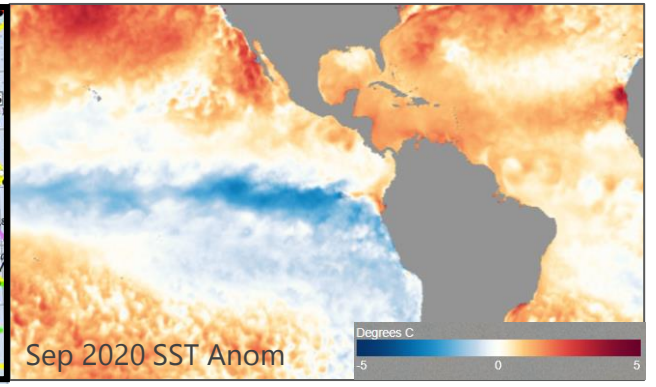




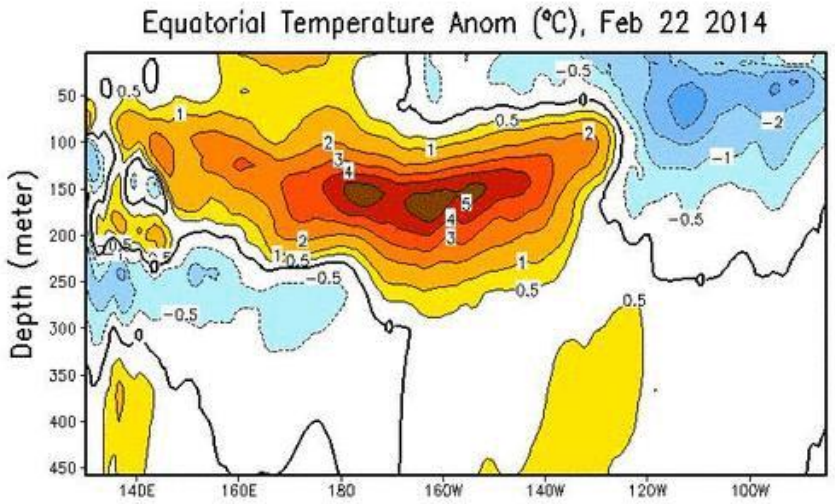


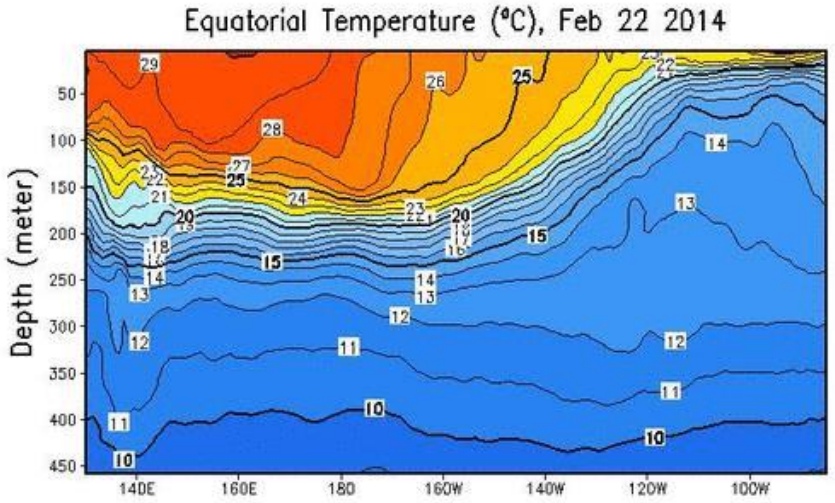




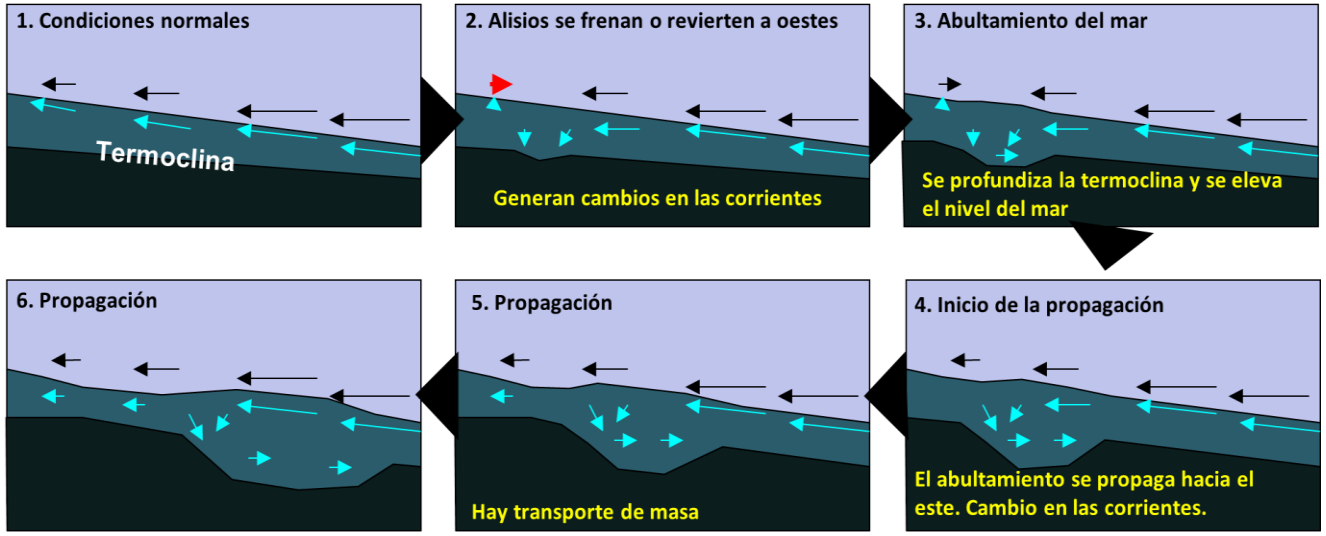


Mecanismo de Ondas Kelvin Oceánicas





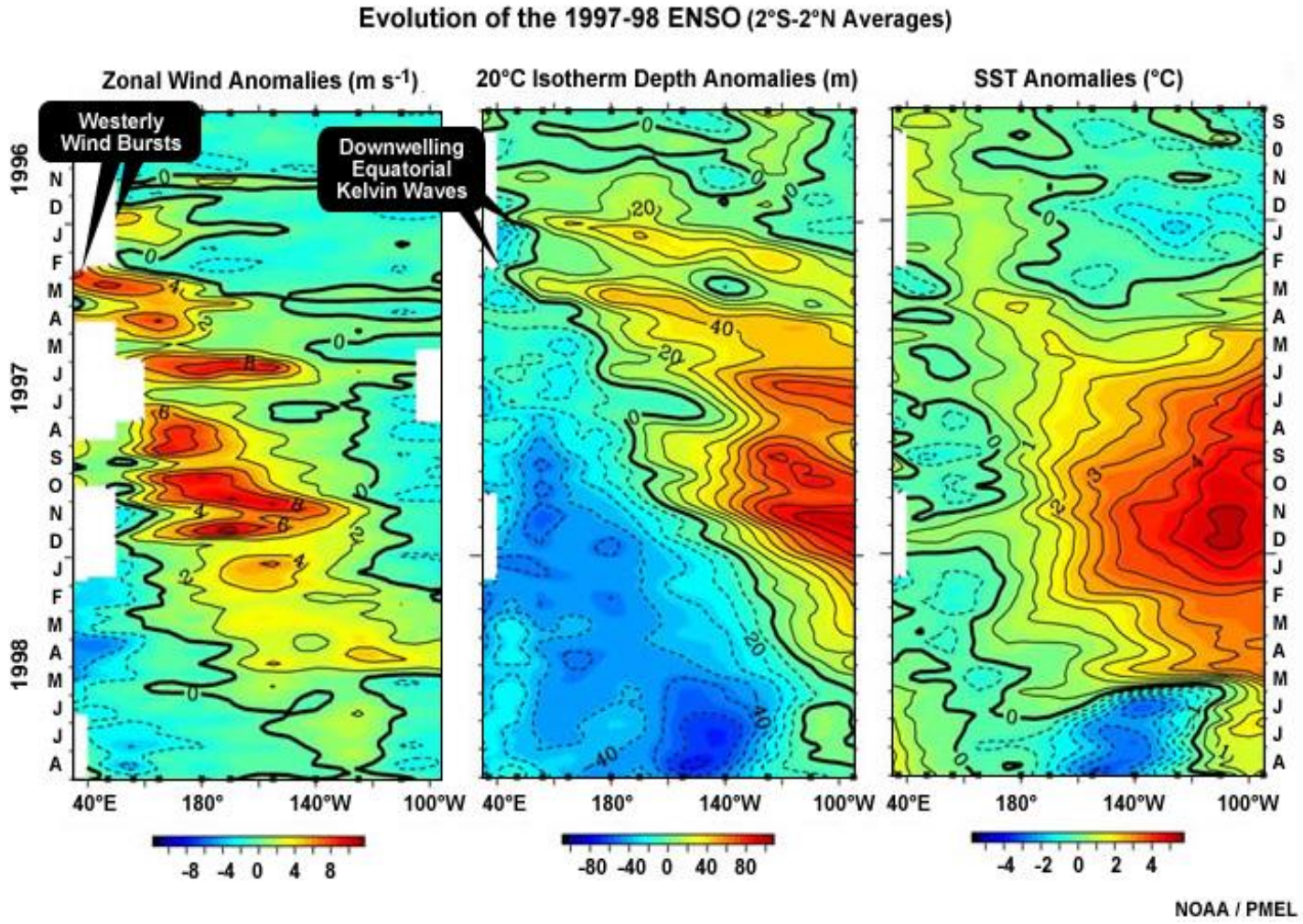
- Vientos del oeste estimulan convergencia, al chocar con alisios del este.
- Las Corrientes también convergen, generando una perturbación que se propaga hacia el este. Demora 2 a 3 meses desde el Pacífico occidental a Sudamérica.
- Se refleja en cambios en la superficie del mar y termoclina.



Evolución del Niño de 1997-8

Pulsos de Viento del Oeste y Ondas Kelvin

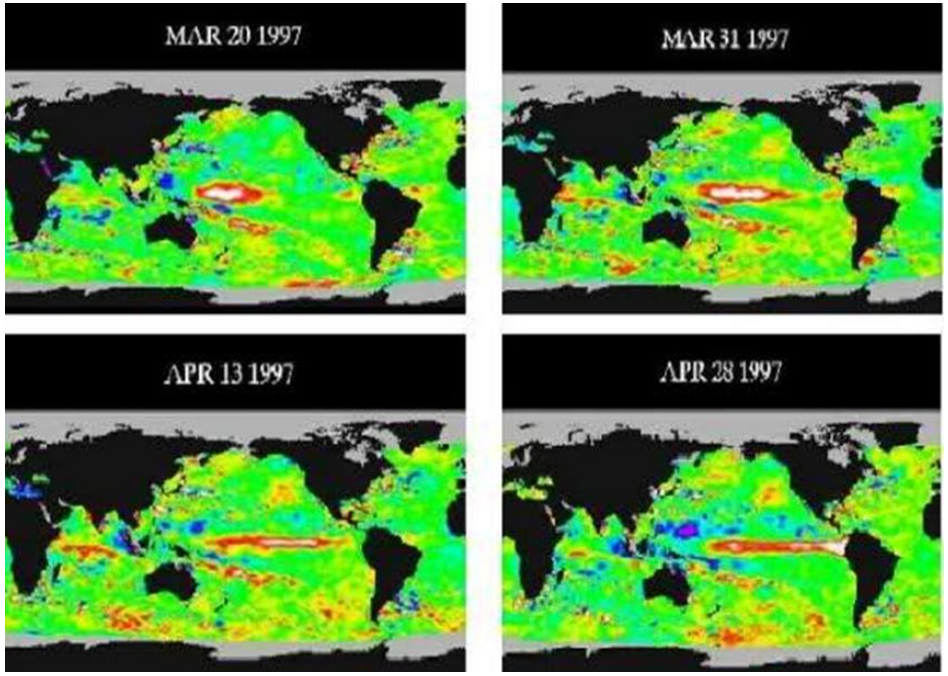
- Pulsos de vientos del oeste generan ondas Kelvin cálidas (subsidentes) que llegan a la costa de Sudamérica calentándola.
- Las corrientes superficiales del este redistribuyen las anomalías cálidas al resto del Pacífico ecuatorial de este a oeste.
- El nuevo calentamiento baja las presiones y favorecen el desarrollo de mas pulsos de vientos del oeste.
- La MJO suele ser una Fuente de pulsos de viento del oeste



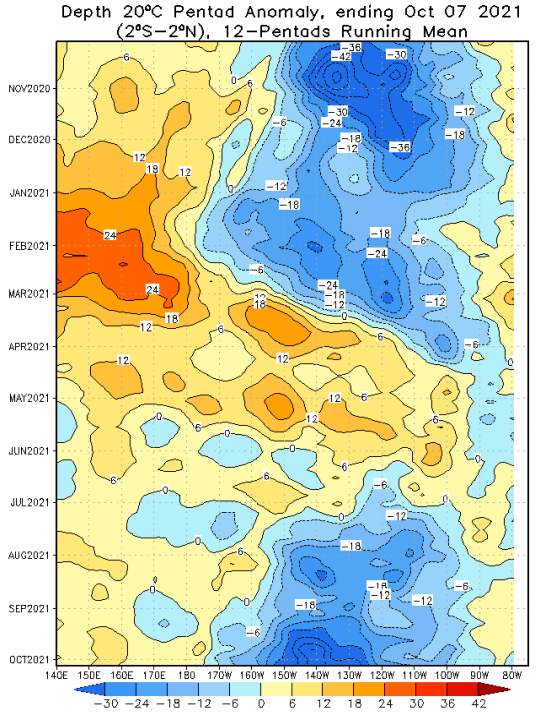
Monitoreo de Ondas Kelvin

Las ondas Kelvin se ven en el nivel del mar y en variables que se asocian al contenido de calor del océano. Diagramas Hovmoller de la profundidad de la isoterma de 20°C Isoterma o el contenido de calor del océano son las mejores herramientas para evaluar su propagación.

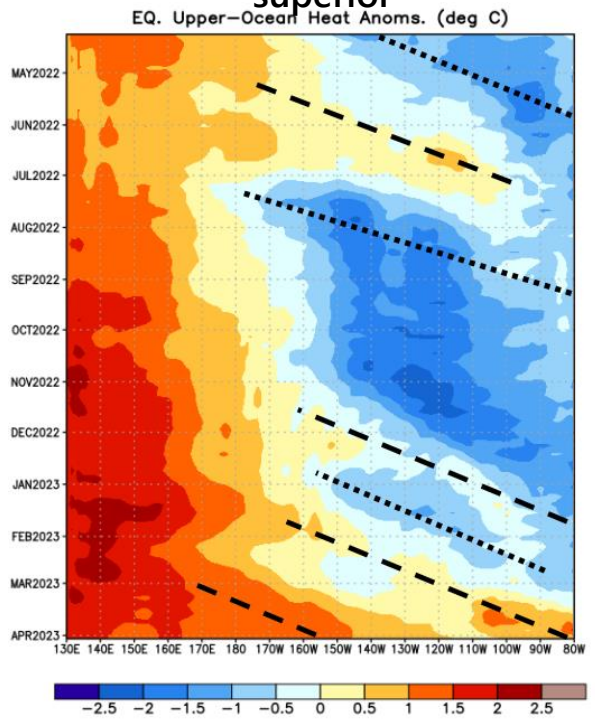
Nivel del Mar (Altimetria)



Profundidad de la Isoterma de 20°C



Contenido de Calor del Mar nivel superior

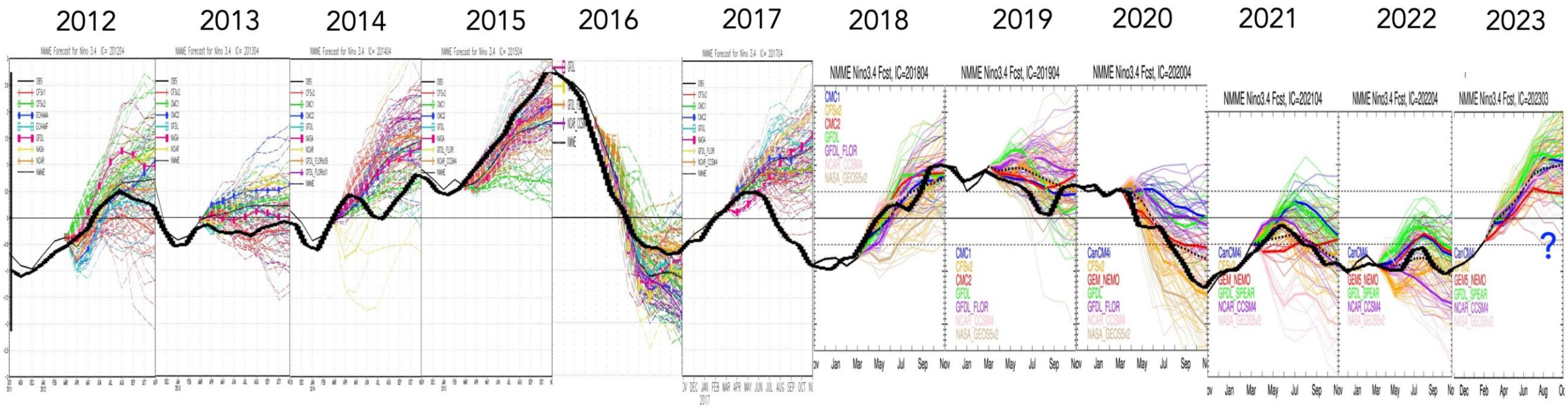


Predictibilidad del ENSO

Todavía existen varios problemas en le predictibilidad. Modelos tienden a exagerar la probabilidad de las fases calientes (El Niño).

Abril es un mes con baja predictibilidad debido a los gradientes débiles de TSM y los difícil que es predecir procesos no-lineares generados pro convección profunda ccerca del ecuador.

Pronósticos NMME de El Niño/La Niña en el Pacífico central (región Niño 3.4) inicializados en abril*



* inicializado en marzo 2023

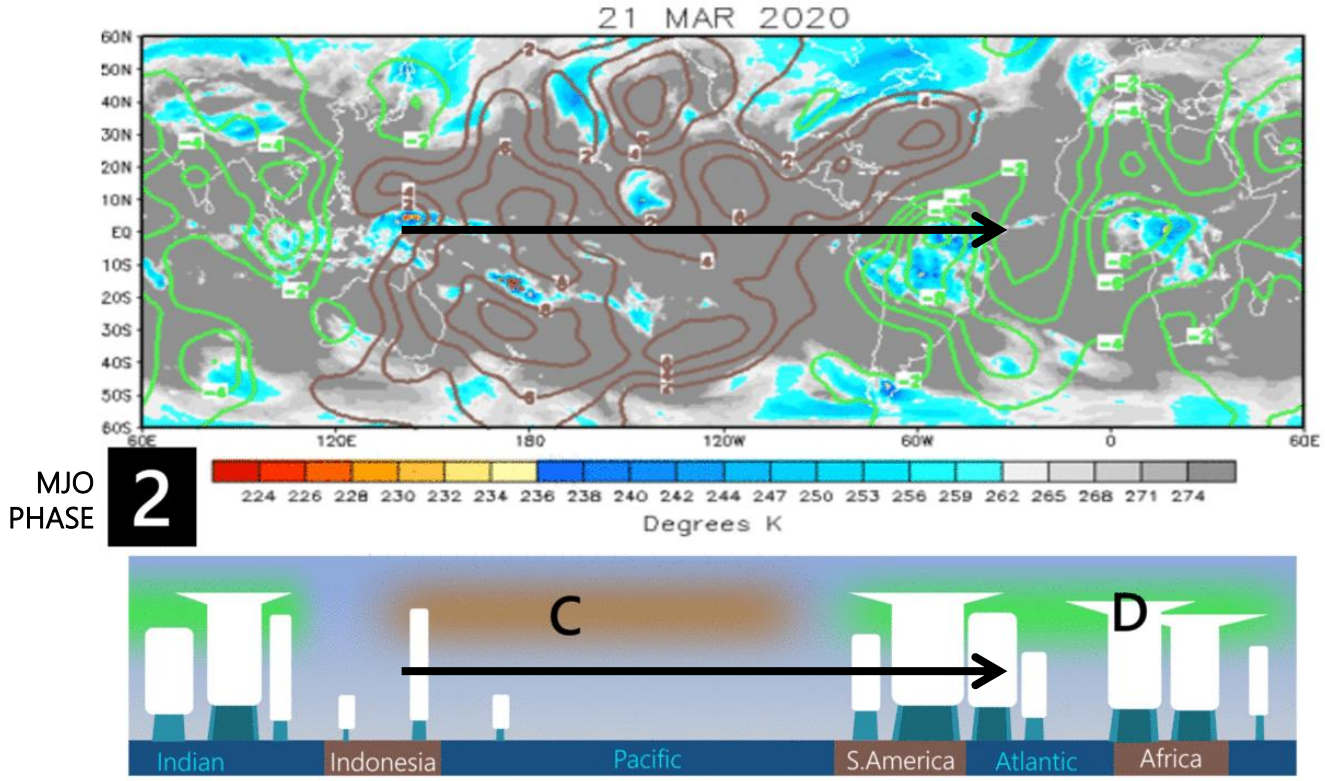
05b

La Oscilación Madden-Julian y otras ondas Troposféricas

Oscilación Madden-Julian

- Perturbación de nubes, lluvia, vientos y presión que se mueve hacia el este, dando la vuelta al globo el 30 – 60 días.
- Variabilidad tropical intraestacional (varia semana a semana).

Potencial de Velocidad en 200 hPa y Temperatura de Brillo (convección)

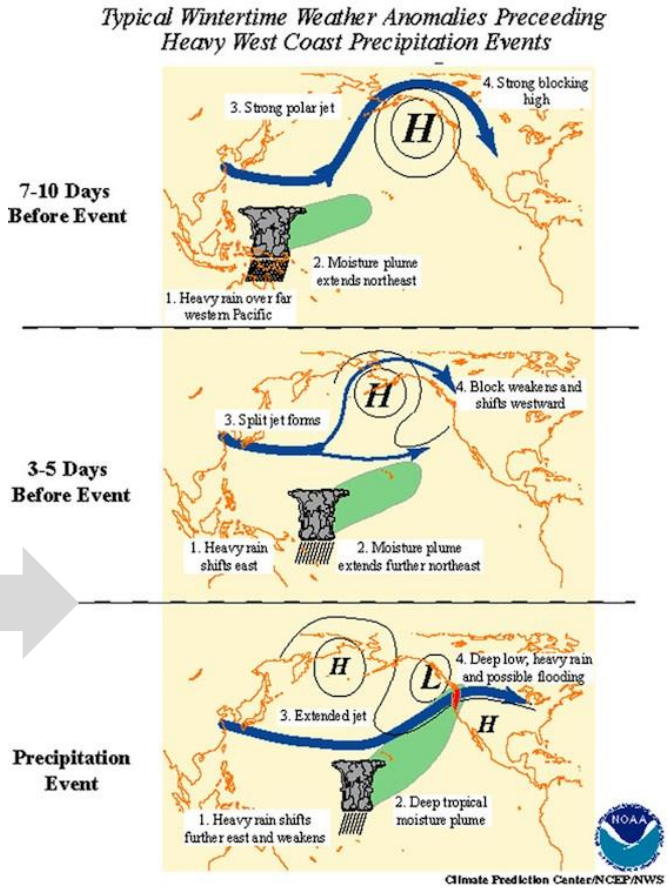


Convergente (C) / Divergente (D) y convección

Importancia de la MJO

- Clave para la variabilidad de la precipitación tropical y formación de tormentas tropicales
  - Fase divergente en altura favorece convección profunda e intensificación de ciclones tropicales.
  - Fase convergente en altura favorece la que resalten los alisios del este y cizalla/cizalladura en el Caribe.
- Afecta áreas extra tropicales también, vía teleconecciones (Ondas Rossby, y modulaciones de los chorros subtropicales.)

Implicaciones en Aviación: La fase divergente en altura intensifica la cobertura e intensidad de tormentas.



Oscilación Madden-Julian

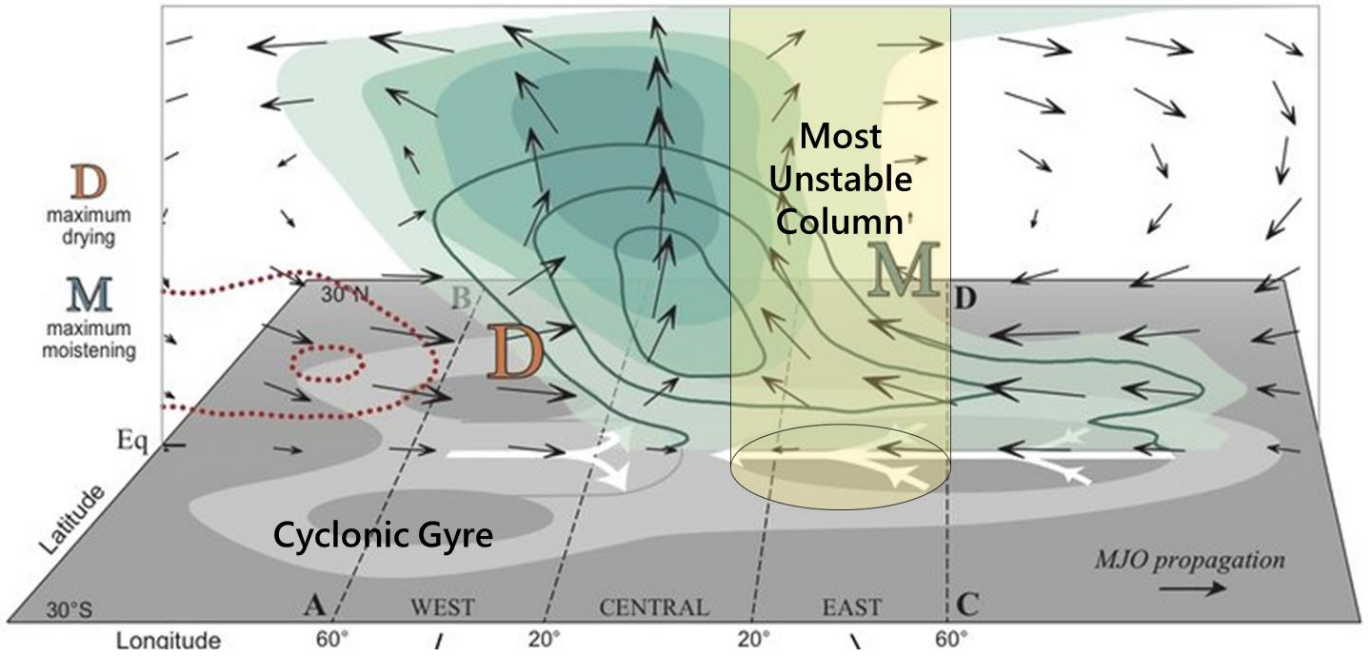
Se propaga hacia el este.

Conducida por ondas ecuatoriales atrapadas (Ondas Kelvin y Rossby) y el acoplamiento océano-atmosfera (AOC, siglas en ingles).

AOC: Al Este de la convección…

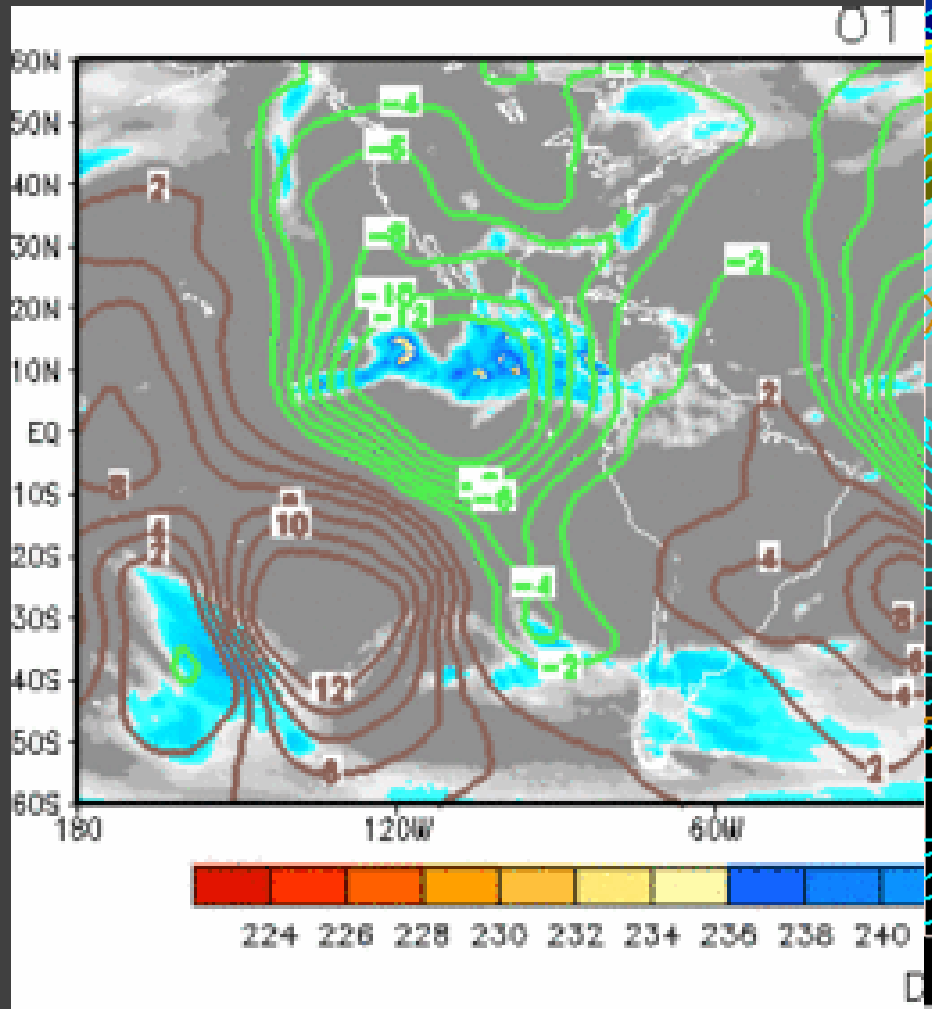
a. Giros horizontales favorecen divergencia en altura y ascensos.

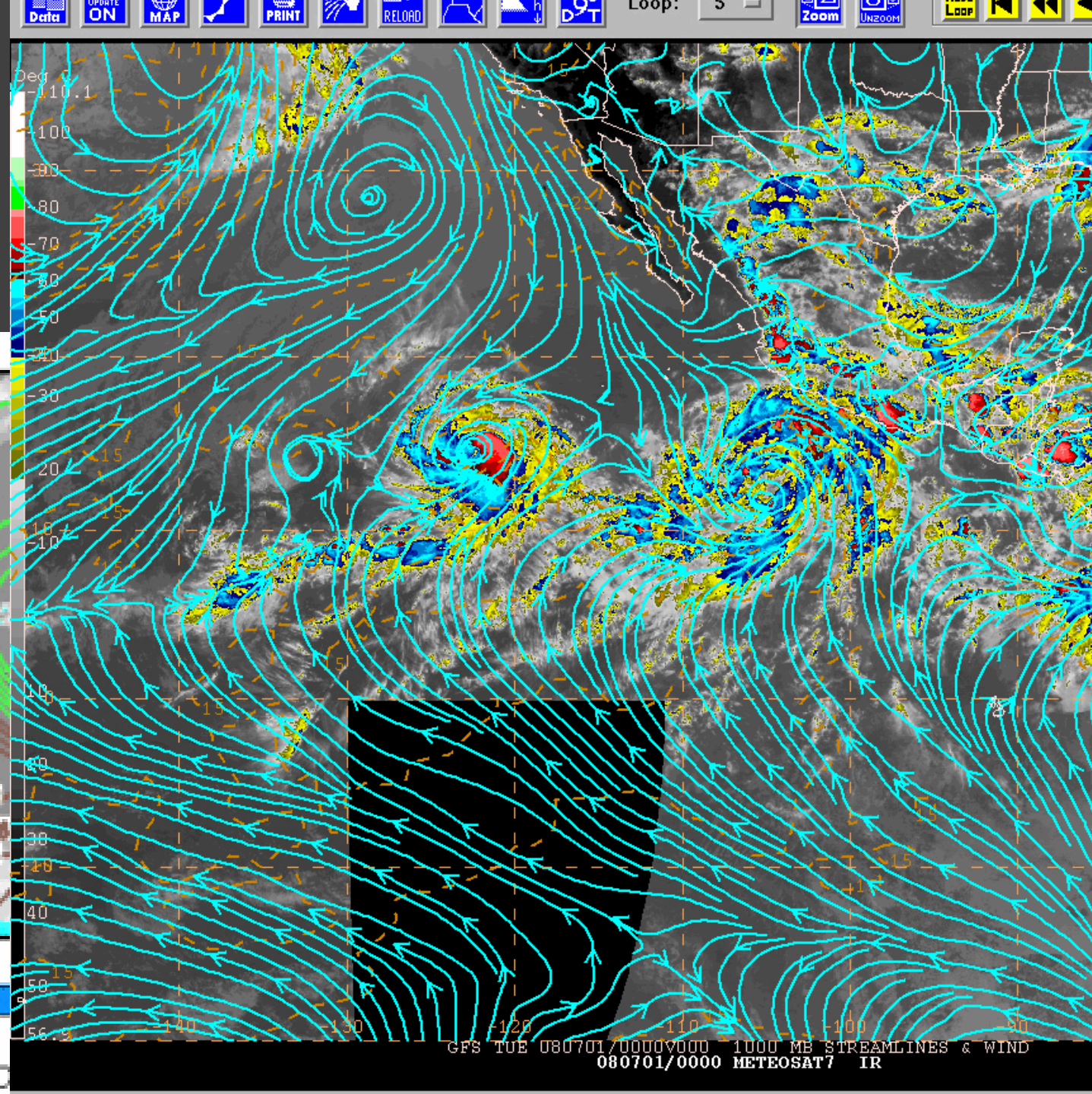
b. Subsidencia y radiación solar favorecen el calentamiento superficial, causando la estabilización.



Source: Adames and Wallace (2015)

MJO-IR
Julio 1, 2018





Evaluando la Propagación de la MJO

- Diagramas Hovmoller son buenas herramientas.
- Variables: Anomalia de velocidad potencial (CHI) en 200 hPa es una buena variable. Tiende a vincularse a la MJO y es mas parejo que otras variables.
- CHI es la representación de que anómala es la divergencia en el flujo en altura (verde), que favorece convección profunda y lluvias.

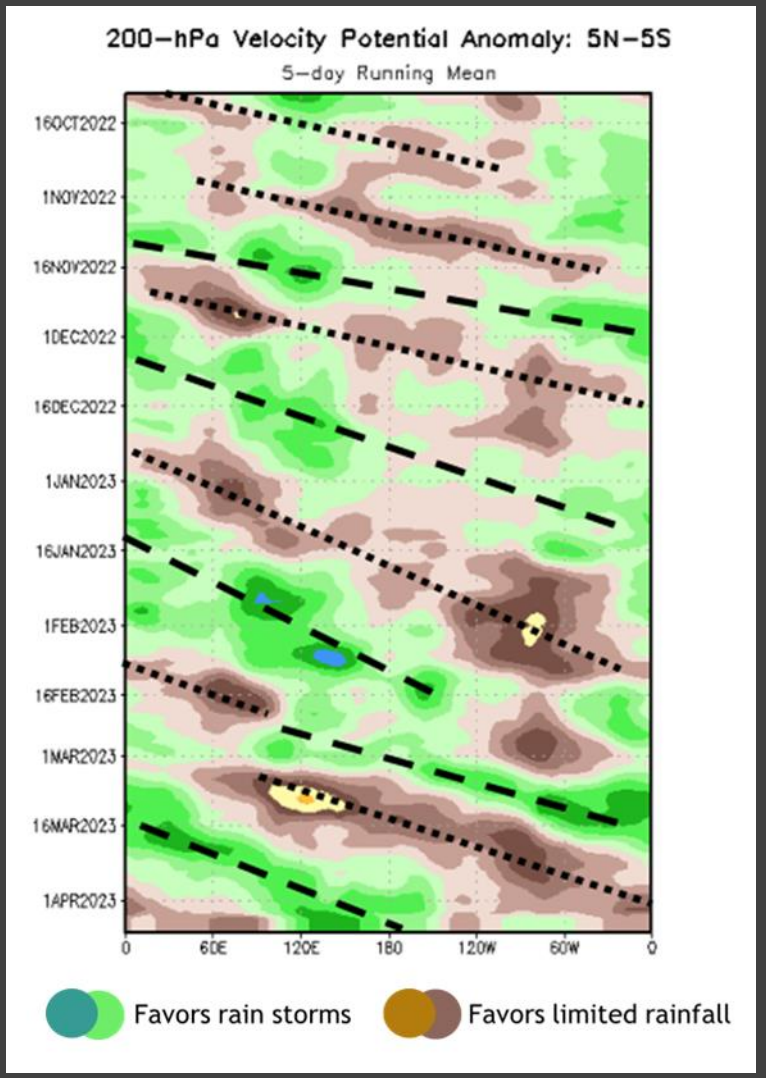
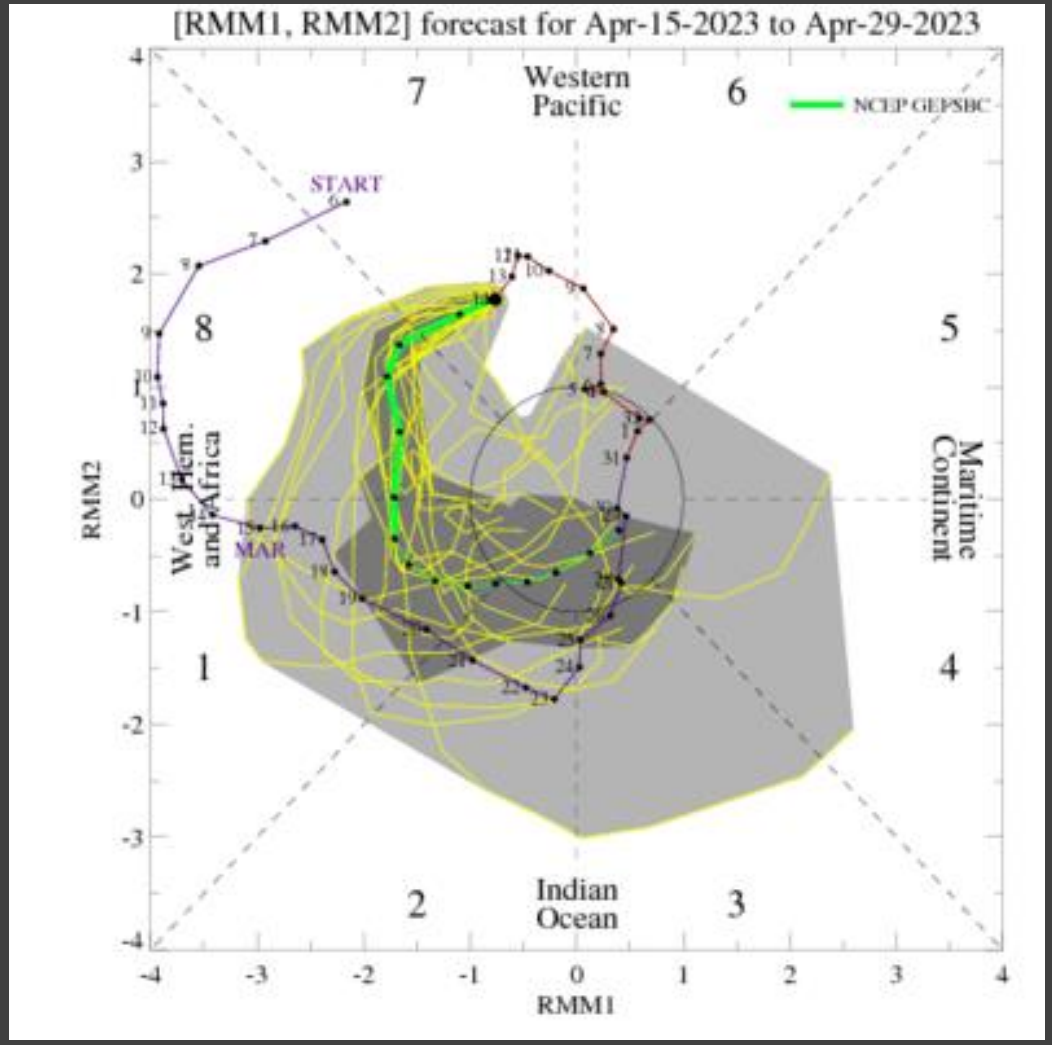


Diagrama de las Fases de la MJO

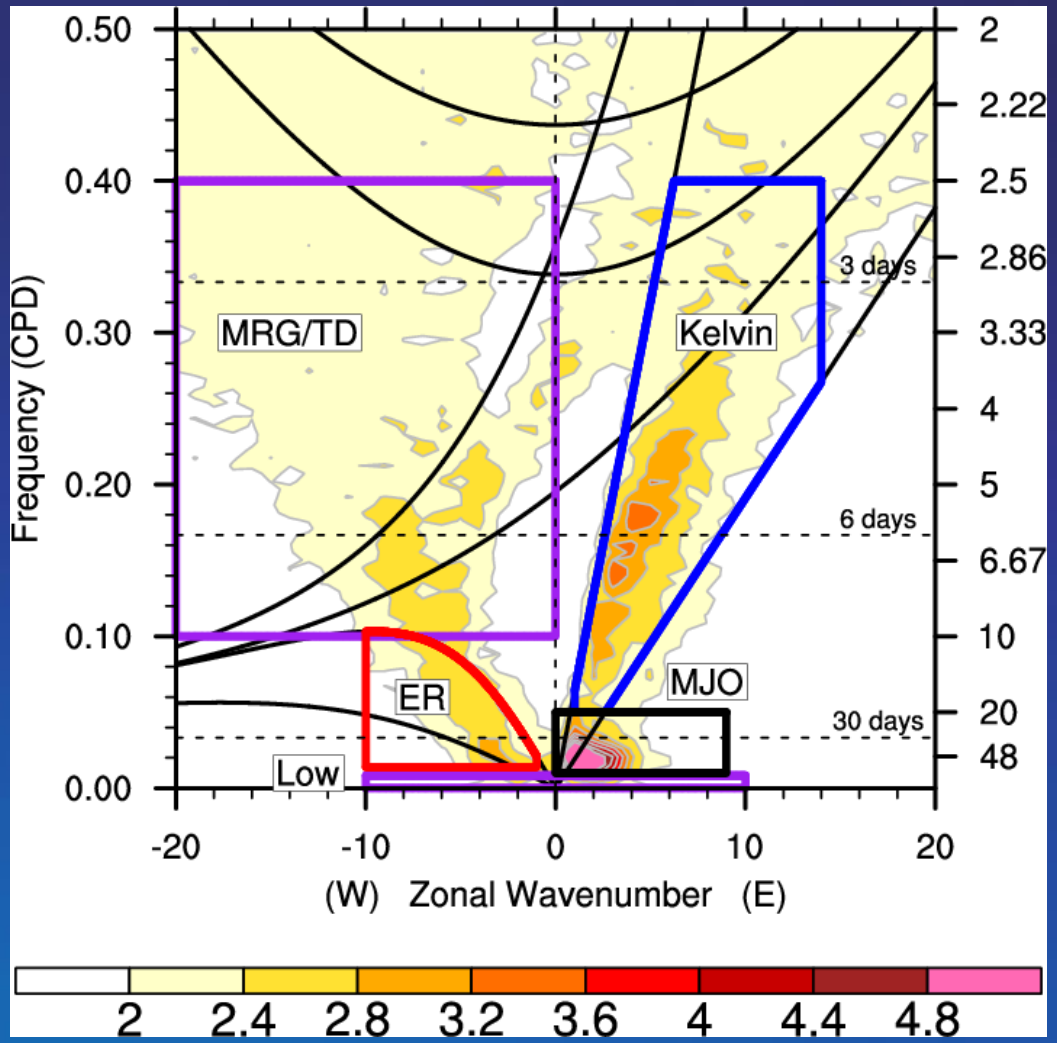
- Construida usando 2 modos de variabilidad de la señal de la MJO.
- Señales cerca al circulo y el centro significa una MJO menos organizada.
- El cuadrante o fase de la MJO, representa la parte del globo donde se encuentran las fases secas y húmedas.
- Fases 7, 8 y 1 son las fases mas húmedas para las Américas. Durante marzo de 2023 hubo una MJO en fase 8 fuerte (lejos del circulo) produjo lluvias fuertes y aumentos en TSM fuera de las costas de Perú y Ecuador.



Perturbaciones Troposféricas Ecuatoriales

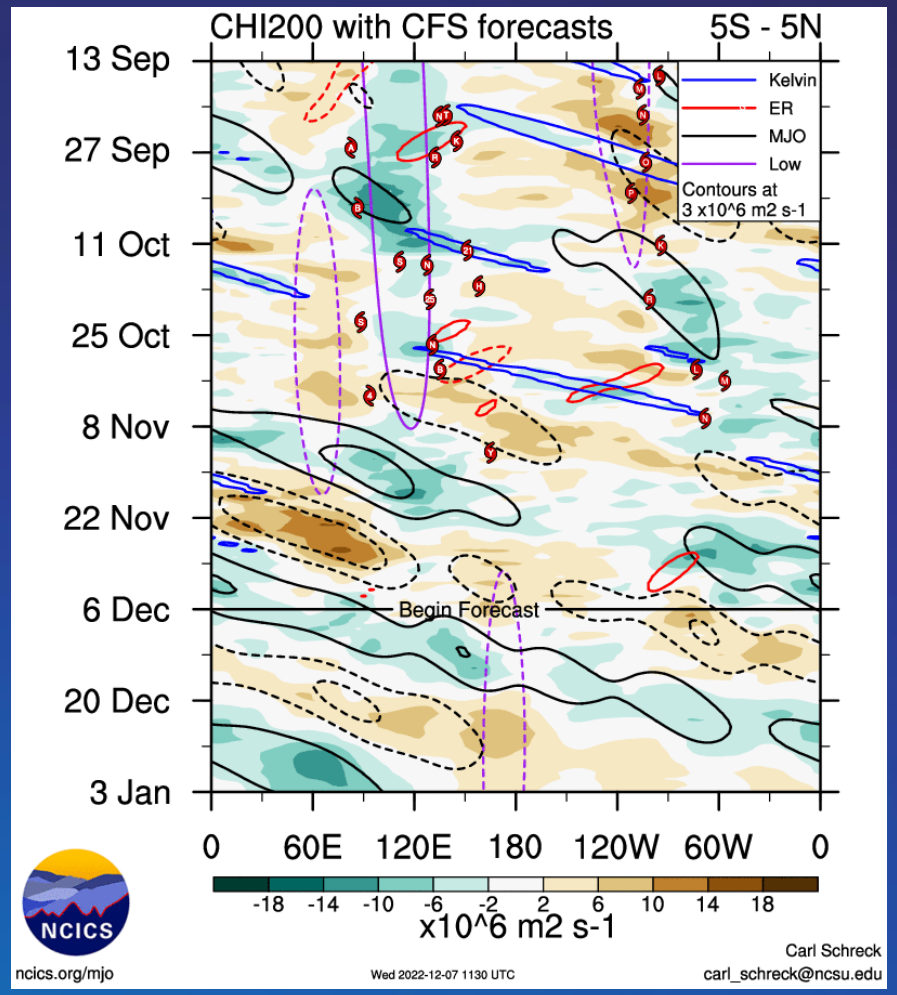
- Hay diferentes ondas ecuatoriales que se propagan mayormente usando la tropopausa como una “superficie” (capa estable) para su propagación.
- De todas estas ondas, la MJO y Kelvin son las mas impactantes para el tiempo tropical en las Americas.

Wheeler and Weickmann (2001) desarrollron un método para filtrar OLR en tiempo real para identificar, monitorear, y predecir la MJO y otras ondas ecuatoriales.



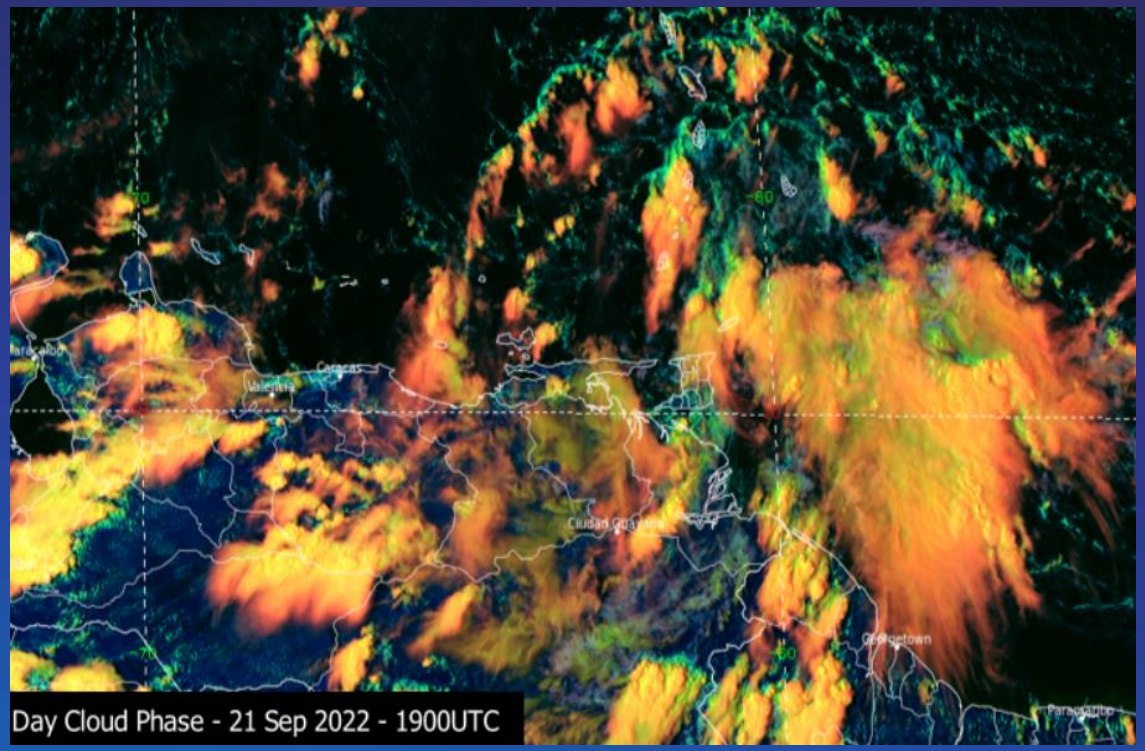
Ondas Kelvin Se Mueven Mas Rápido Que La MJO

- Diagramas Hovmöller ensenan la propagación.
- Los efectos le las ondas Kelvin son similares a la MJO, pero se mueven mas rápidas.
- Porque se propagan mas rápido, no dependen mucho de las interacciones entre océano y atmosfera.
- Pueden provocar lluvias fuertes y favorecer la formación de ciclones tropicales.



Señales de Ondas Kelvin (Y la MJO) con Divergencia en Altura

- Suelen aparecer en salidas amplificadas: Región amplia de cirrus de difluencia/entrada en las regiones tropicales.
- Salidas amplificadas son un patrón de divergencia en altura amplificada que se relaciona a ascensos y convergencia en niveles bajos amplificados.



Salidas durante una Onda Kelvin que intensifico la precipitación mientras pasaba el huracán Ian como una perturbación sobre las Islas de Barlovento en 2022.

Thank You!

ICAO