



Ministerio de Defensa Nacional

Dirección General Marítima

Autoridad Marítima Colombiana

— Centro de Investigaciones Oceanográficas
e Hidrográficas del Caribe

ISSN 2339-4129 (En línea)

No. **134**

ABRIL

2 0 2 3

Mensual



Pronóstico
Climático del
Caribe Colombiano

**PRONÓSTICO CLIMÁTICO
CARIBE COLOMBIANO
N° 134/ ABRIL 2024**

Ministerio de Defensa Nacional

Dirección General Marítima
Subdirección de Desarrollo Marítimo
Centro de Investigaciones Oceanográficas
e Hidrográficas del Caribe (CIOH)

Dirección

Vicealmirante John Fabio Giraldo Gallo
Director General Marítimo

Capitán de Navío German Augusto Escobar Olaya
Coordinador General Dimar

Capitán de Navío Mario Alex Cabezas Hinestroza
Subdirector de Desarrollo Marítimo

Capitán de Fragata José Andrés Díaz Ruiz
Director del Centro de Investigación Oceanográfica
e Hidrográfica del Caribe

Capitán de Corbeta Gómez Sierra Jonnathan Fabrizio
Coordinador del Grupo de Investigación Científica
y Señalización

S1 José David Iriarte Sánchez
Responsable del Área de Oceanografía
Operacional

S2MOF Oscar Gómez Yucuma
Jefe Servicio Meteorológico Marino

Contenidos

MA2MMO Sebastián Esteban Quiroz Parra
Auxiliar Oceanografía

MSc. Isabel Ramos De La Hoz
Investigador en Oceanografía

CPS José David Garavito Mahecha
Meteorólogo del Servicio Meteorológico Marino – CIOH

Editorial
Área de Comunicaciones Estratégicas - Acoes

Edición y concepto gráfico
Área de Comunicaciones Estratégicas-Acoes
Área de Estadística y Estudios económicos - Grupo de
Planeación

Fotografía
Banco de imágenes Dimar

Edición en línea: ISSN 2339-4129



EL PRONÓSTICO CLIMÁTICO DEL CARIBE COLOMBIANO es un producto informativo que se edita en formato digital, con registro ISSN para *e-book*. Se encuentra protegido por el *copyright* ©, y cuenta con una política de acceso abierto para su consulta. Sus condiciones de uso y distribución están definidas por el licenciamiento *Creative Commons* (CC).
Abril de 2024. Cartagena., Colombia



CONTENIDO

	PÁG.
CONTENIDO	2
ÍNDICE DE TABLAS	3
ÍNDICE DE FIGURAS	4
Siglas y acrónimos	5
INTRODUCCIÓN	6
1.CONDICIONES ACTUALES Y PRONÓSTICO ESTACIONAL DEL ENSO Y SU POSIBLE INFLUENCIA EN LAS CONDICIONES DE TIEMPO DEL CARIBE.	8
2.PRONÓSTICO DE FENÓMENOS INTRA- ESTACIONALES Y ESTACIONALES	12
2.1. Oscilación Madden y Julián - OMJ	12
2.2. Zona de Confluencia Intertropical	13
2.3. Sistemas Frontales	14
3.PRONÓSTICO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES ATMOSFÉRICAS PARA ABRIL DE 2024	15
3.1. Configuración sinóptica climatológica de abril	15
3.2. Precipitación	19
3.3. Temperatura del aire	23
4.PRONÓSTICO DE LAS CONDICIONES OCEÁNICAS PARA EL MAR CARIBE COLOMBIANO.	24
4.1. Altura de la ola y corrientes superficiales	24
4.2. Corrientes superficiales	25
4.3. Temperatura Superficial del Mar	26
4.4. Pronóstico de Mareas del Caribe colombiano	28
CONCLUSIONES	29
BIBLIOGRAFÍA	32



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. ATSM en las regiones El Niño durante la primera semana de abril 2024. Fuente: CPC-NCEP (2024).9

Tabla 2. Probabilidad de ocurrencia de condiciones ENSO hasta el trimestre OND de 2024. Fuente: IRI (2024). Tomado de: https://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/enso/current/?enso_tab=enso-iri_plume11



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Regiones El Niño en el océano Pacífico ecuatorial. Fuente: CPC – NCEP, 2024	9
Figura 2. Evolución de las ATSM sobre el Pacífico ecuatorial hasta abril de 2024. Fuente: Modificado de CPC – NCEP, 2024.	9
Figura 3. Pronóstico probabilístico de las condiciones ENSO hasta el trimestre Noviembre-Diciembre-Enero (NDJ, por sus siglas en inglés) de 2024. Fuente: IRI (2023). Tomado de: https://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/enso/current/?enso_tab=enso-iri_plume	10
Figura 4. Pronóstico de la velocidad potencial en 200 hPa durante abril-mayo de 2024. Fuente: Climate Prediction Center (CPC) 2024.....	13
Figura 5. Líneas de corriente e índice de precipitación para el mes de abril (1981-2010) bajo las condiciones El Niño en 200, 500, 700, 850 y 1000 hPa, extraídas del CFSR. Fuente: Ruíz & Melo, 2019.	18
Figura 6. Valores climatológicos de precipitación durante abril (1990-2017) en los principales puertos del Caribe colombiano. Fuente: DIMAR – CIOH (2024).	19
Figura 7. Pronóstico de la anomalía mensual de precipitación para abril de 2024. Fuente: Modelo CFSv2 (NOAA –NCEP, 2024).	21
Figura 8. Pronósticos determinísticos y probabilísticos subestacionales de los modelos GEFS y CFS. a) Deterministic-Forecast-GEFSv12_&_CFSv2_SubX-CHIRPS-PCR y b) Probabilistic-Forecast_GEFsv12_&_CFSv2_SubX-CHIRPS-PCR. Fuente: CIOH, 2024.	22
Figura 9. Valores climatológicos de temperatura máxima, media y mínima para abril (1990-2017) en los principales puertos del Caribe colombiano. Fuente: DIMAR - CIOH (2024).	23
Figura 10. Valores climatológicos de dirección y altura de la ola en el mar Caribe para el mes de abril (1979-2018). Fuente: WW III (NWS - NOAA, 2009).....	24
Figura 11. Valores climatológicos de altura dinámica absoluta del mar para el mes de abril (1993-2020). Fuente: Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS, 2020).....	25
Figura 12. Valores climatológicos de la velocidad y dirección de la corriente superficial predominante para abril (1993-2020). Fuente: NRL, 2020.	26
Figura 13. Valores climatológicos de la TSM para el mes de abril (1981-2019). Fuente: Good et al., 2020.....	27
Figura 14. Pronóstico de las anomalías de la TSM para el mes de abril de 2024. Fuente: NOAA-CPC, 2021 Fuente: NOAA-CPC, 2021.....	28



SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ARC	Armada República de Colombia
DIMAR	Dirección General Marítima
CIOH	Centro de Investigación Oceanográfica e Hidrográfica del Caribe
SMMN	Servicio Meteorológico Marino Nacional




INTRODUCCIÓN

La Dirección General Marítima presenta el Pronóstico Climático Mensual a sus partes interesadas, el cual incluye la descripción de las condiciones océano - atmosféricas climatológicas y previstas en la región Caribe para el mes de abril de 2024.


Este informe consta de cuatro secciones y una más dedicada a las conclusiones. La primera y segunda, orientada al pronóstico de los fenómenos de variabilidad interanual, estacional e intraestacional que pueden incidir en las condiciones de tiempo y clima del período pronosticado, tal como lo son: el tránsito de sistemas frontales del hemisferio norte, la influencia de la Oscilación Madden & Julian (OMJ) y El Niño – Oscilación del Sur (ENSO). Los apartes tres y cuatro relacionan las condiciones meteorológicas y oceanográficas esperadas en función de las climatologías mensuales y anomalías pronosticadas de las variables de precipitación, temperaturas media, máxima y mínima del aire, temperatura superficial del mar, altura dinámica de la ola y corrientes superficiales, así mismo se incluye el pronóstico de marea para el mes de abril de 2024.

Para la elaboración del presente documento fueron utilizados datos e información proveniente del *Climate Prediction Center - National Centers for Environmental Services (CPC-NCEP)*, el *International Research Institute for Climate and Society (IRI)*, para el análisis de las anomalías de TSM en las regiones El Niño, así como de las proyecciones de condiciones ENSO en el corto y mediano plazo y el pronóstico de la OMJ. En la sección de predicción de las variables de precipitación y temperatura del aire, fueron usados los valores climatológicos del período 1990-2017, calculados a partir de datos suministrados por el Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. Por su parte, la predicción de las anomalías de precipitación y temperatura superficial del mar (TSM), fueron tomadas de los resultados de modelamiento numérico del *Seasonal Climate Forecast CFSv2* de la NOAA -NCEP. para el periodo de referencia 1991-2020.



Para las anomalías de precipitación y TSM, se empleó la última norma climatológica 1991-2020 con valores medios de estos 30 años, de acuerdo con lo recomendado por la Comisión de Climatología de la Organización Meteorológica Mundial.

Referente a los campos oceanográficos fueron utilizadas las climatologías de oleaje provenientes del Modelo *Wave Wach* III del *National Weather Service – National Oceanic and Atmospheric Administration* (NWS-NOAA). En el caso de la TSM fue utilizada información climatológica proveniente del *Hybrid Coordinate Ocean Model* (HYCOM) del *Naval Research Laboratory* -NRL, y las Anomalías de la TSM (ATSM) pronosticadas para el mes de abril de 2024, del CFSv2 (NOAA-CPC). Finalmente, el pronóstico de mareas para el Caribe colombiano se evidencia en una cartilla mareográfica de Colombia a la cual se accede mediante un link que nos permite visualizar el pronóstico de mareas para los puertos del Caribe obtenido en conjunto con el Ideam, como producto del trabajo realizado el año pasado. (Dimar - Ideam 2024).



1.CONDICIONES ACTUALES Y PRONÓSTICO ESTACIONAL DEL ENSO Y SU POSIBLE INFLUENCIA EN LAS CONDICIONES DE TIEMPO DEL CARIBE.

De acuerdo con el último informe emitido por el Climate Prediction Center - National Centers for Environmental Prediction, CPC-NCEP (2024), se ha evidenciado que actualmente las condiciones ENSO El Niño en la región persisten. Donde, la TSM en el océano Pacífico ecuatorial oriental y central continua por encima del promedio climatológico. Sin embargo, las anomalías atmosféricas sobre el océano Pacífico tropical se han debilitado con respecto a las condiciones El Niño. Pese a esto, el CPC se mantiene en un estado de “Aviso El Niño y Vigilancia La Niña”, de acuerdo con las salidas de los modelos climáticos globales y regionales. En estos estados de monitoreo, se estima una probable transición de las condiciones oceánicas y atmosféricas de El Niño a ENSO Neutral del 83 % durante abril y junio de 2024. Esta eventual transición entre El Niño y ENSO Neutral, está acompañada de una probable evolución a las condiciones oceánicas y atmosféricas características de La Niña sobre el Pacífico ecuatorial entre junio y agosto de 2024 con una probabilidad del 62 %.

Entre marzo y octubre de 2023 se evidenció que las Anomalías de la TSM (ATSM) positivas se propagaron y desplazaron gradualmente desde el oriente hacia el occidente del océano Pacífico ecuatorial. Desde diciembre de 2023 los registros de la TSM atenuaron a través de la mayoría del océano Pacífico ecuatorial. Recientemente, se evidencia que la TSM sobre el océano Pacífico ecuatorial oriental registran valores por debajo del promedio climatológico. Por tanto, los valores calculados de las ATSM positivas sobre el Pacífico ecuatorial corresponden a $-0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la región Niño 1+2. Correspondientemente, a este debilitamiento paulatino, las ATSM positivas presentan valores en la región Niño 3 de $1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$, en la Niño 3.4 de $1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y en la región Niño 4 (la más occidental sobre el Pacífico ecuatorial) de $0.9\text{ }^{\circ}\text{C}$, (Figuras 1 y 2; Tabla 1).

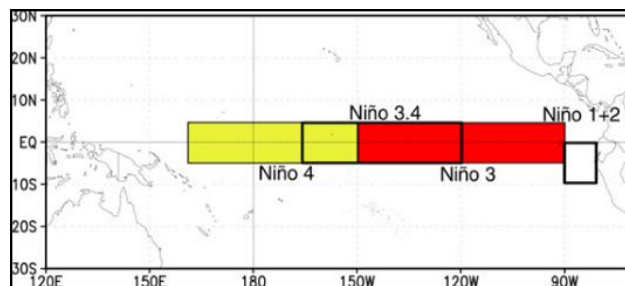


Figura 1. Regiones El Niño en el océano Pacífico ecuatorial. Fuente: CPC – NCEP, 2024

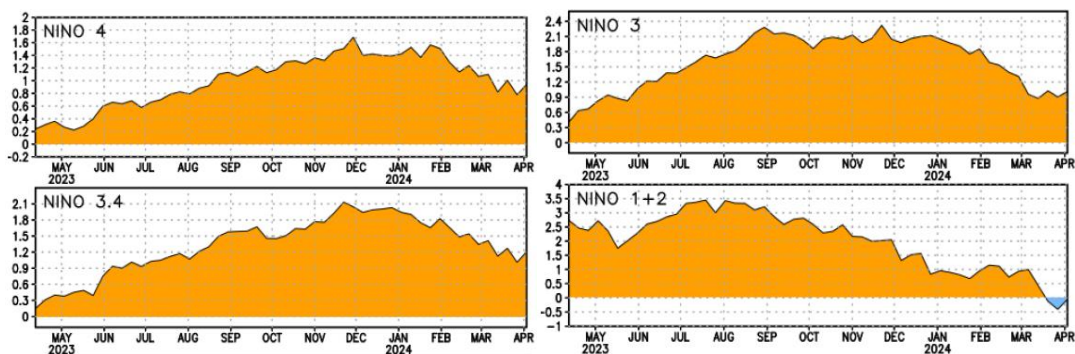


Figura 2. Evolución de las ATSM sobre el Pacífico ecuatorial hasta abril de 2024. Fuente: Modificado de CPC – NCEP, 2024.

Tabla 1. ATSM en las regiones El Niño durante la primera semana de abril 2024. Fuente: CPC-NCEP (2024).

REGIÓN EL NIÑO	ANOMALÍAS DE LA TSM (°C)
El Niño 4	0.9
El Niño 3.4	1.2
El Niño 3	1.0
El Niño 1+2	-0.1

Correspondientemente, de acuerdo con el más reciente informe del International Research Institute for Climate and Society (IRI, 2024), los diferentes modelos probabilísticos de predicción climática indican que las condiciones ENSO en su fase positiva El Niño persistirán entre el otoño hasta la primavera boreal durante los meses de Marzo-Abril-Mayo (MAM, Figura 3 y tabla 2). Por tanto, durante el primer trimestre del año los efectos de El Niño seguirán influyendo en las



condiciones del tiempo atmosférico y clima en cada una de las variables meteomarinas sobre aguas marítimas y costeras de la cuenca del Caribe colombiano aproximadamente hasta el mes de mayo.

Específicamente, entre los trimestres Marzo-Abril-Mayo (MAM) de 2024 se estima un 88 % de probabilidad de presencia del fenómeno de El Niño debido a que las condiciones océano – atmosféricas están acopladas y son favorables para la fase positiva de ENSO sobre el océano Pacífico ecuatorial (Tabla 2). Sin embargo, a partir del trimestre Abril-Mayo-Junio (AMJ) y durante Mayo-Junio-Julio (MJJ) se estima debilitamiento de estas condiciones océano-atmosféricas características de El Niño. Esto permitirá que se generen condiciones Neutrales de ENSO sobre el océano Pacífico ecuatorial con una probabilidad ocurrencia entre el 71 y 76 %, correspondientemente. Durante el trimestre Junio-Julio-Agosto (JJA) de acuerdo con la salida de los modelos probabilísticos de predicción climática se prevé que se presente acoplamiento gradual de las condiciones oceánicas y atmosféricas características de La Niña. Paulatinamente, estas condiciones meteomarinas se intensificarán y persistirán hasta el invierno boreal en el trimestre Noviembre-Diciembre-Enero (NDJ, por sus siglas en inglés) con una probabilidad de ocurrencia entre el 45 y 74 % (figura 3 y tabla 2).

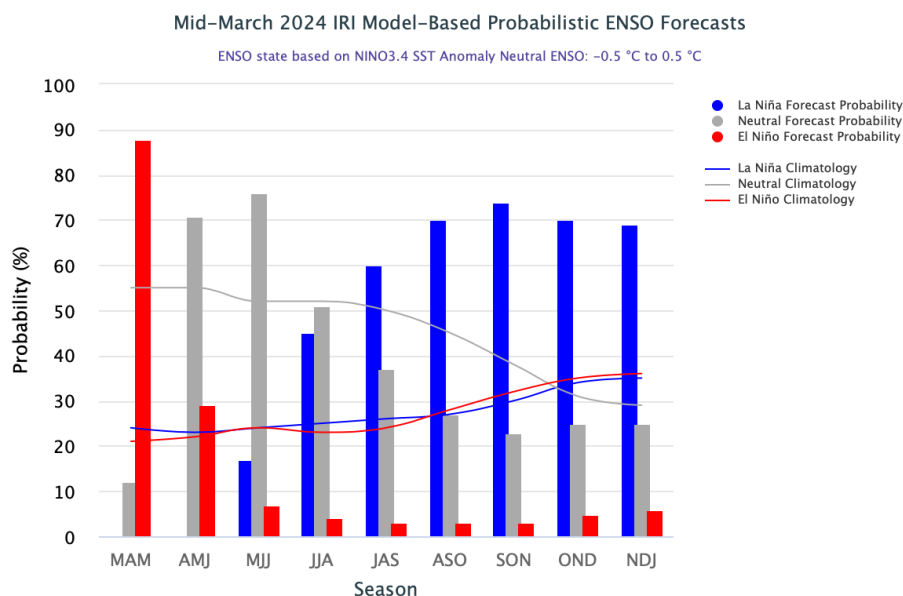


Figura 3. Pronóstico probabilístico de las condiciones ENSO hasta el trimestre Noviembre-Diciembre-Enero (NDJ, por sus siglas en inglés) de 2024. Fuente: IRI (2023). Tomado de: https://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/enso/current/?enso_tab=enso-iri_plume

De acuerdo con este acoplamiento e interacción océano-atmósfera sobre el océano Pacífico ecuatorial, el fenómeno ENSO se manifiesta actualmente sobre las condiciones climáticas en la cuenca del mar Caribe y en el mundo a través de sus teleconexiones. Lo anterior, influirá en el comportamiento de la precipitación en la cuenca del Caribe colombiano, probablemente atenuando la intensidad y frecuencia de las precipitaciones sobre el litoral Caribe colombiano y el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina y durante abril de 2024.

Sin embargo, teniendo en cuenta las salidas gráficas de los modelos determinísticos y probabilísticos subestacionales GEFS y CFS publicados recientemente por el CIOH, 2024 al finalizar abril se estima incremento de la precipitación producto del debilitamiento paulatino de las condiciones océano-atmosféricas características de El Niño sobre el océano Pacífico ecuatorial y por la influencia directa de la dinámica de los fenómenos atmosféricos intraestacionales como la Oscilación Madden & Julián (OMJ).

Tabla 2. Probabilidad de ocurrencia de condiciones ENSO hasta el trimestre OND de 2024. Fuente: IRI (2024). Tomado de: https://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/enso/current/?enso_tab=enso-iri_plume

Estación	La Niña (%)	Neutral (%)	El Niño (%)
MAM	0	12	88
AMJ	0	71	29
MJJ	17	76	7
JJA	45	51	4
JAS	60	37	3
ASO	70	27	3
SON	74	23	3
OND	70	25	5
NDJ	69	25	6

2. PRONÓSTICO DE FENÓMENOS INTRA-ESTACIONALES Y ESTACIONALES

2.1. Oscilación Madden y Julián - OMJ

Según el más reciente informe del CPC-NCEP (2024), la Oscilación Madden & Julián (OMJ) durante inicios de abril de 2024, se estima ingreso y persistencia de una fase subsidente de la OMJ la cual influirá junto con los demás sistemas sinópticos en las condiciones atmosféricas sobre la cuenca del Caribe colombiano y apoyará la atenuación del comportamiento de la precipitación en la región. Sin embargo, se estima que a partir del 23 de abril hasta finalizar el mes ingrese de una fase convectiva generando incremento en la humedad, nubosidad y el comportamiento de la precipitación en el Caribe colombiano (Figura 4). Pese a que esta dinámica atmosférica no es tan significativa durante la temporada de menores precipitaciones en la región, las oscilaciones atmosféricas en los sistemas béricos y los vientos en superficie asociados con la OMJ, influirán ligeramente en el comportamiento e incremento de la precipitación sobre aguas marítimas y costeras de la cuenca del Caribe colombiano.

Por tanto, debido al acoplamiento de las condiciones oceánicas y atmosféricas hasta finales de abril se modulará y mantendrá el gradiente de presión, la intensidad del viento y la altura significativa de la ola con respecto a las condiciones características durante la transición de la temporada de menores a mayores precipitaciones en la cuenca del Caribe colombiano. En el que se prevé predominio de tiempo seco con cielo entre ligero y parcialmente nublado en la cuenca del Caribe colombiano con algunas probables lluvias entre ligeras y moderadas aisladas, especialmente durante los últimos días de abril de 2024. Por tanto, al finalizar el mes se estima un leve y paulatino incremento del comportamiento de la precipitación en la región, correspondientemente al acoplamiento y la interacción de la OMJ con sistemas atmosféricos regionales y las condiciones meteomarinas. Estos sistemas atmosféricos modularán el ligero incremento paulatino del comportamiento de la precipitación en la cuenca del Caribe colombiano.

CHI 200 hPa 40-DAY forecast (00z08Apr2024–18May2024)
(based on EWP zonal harmonics)

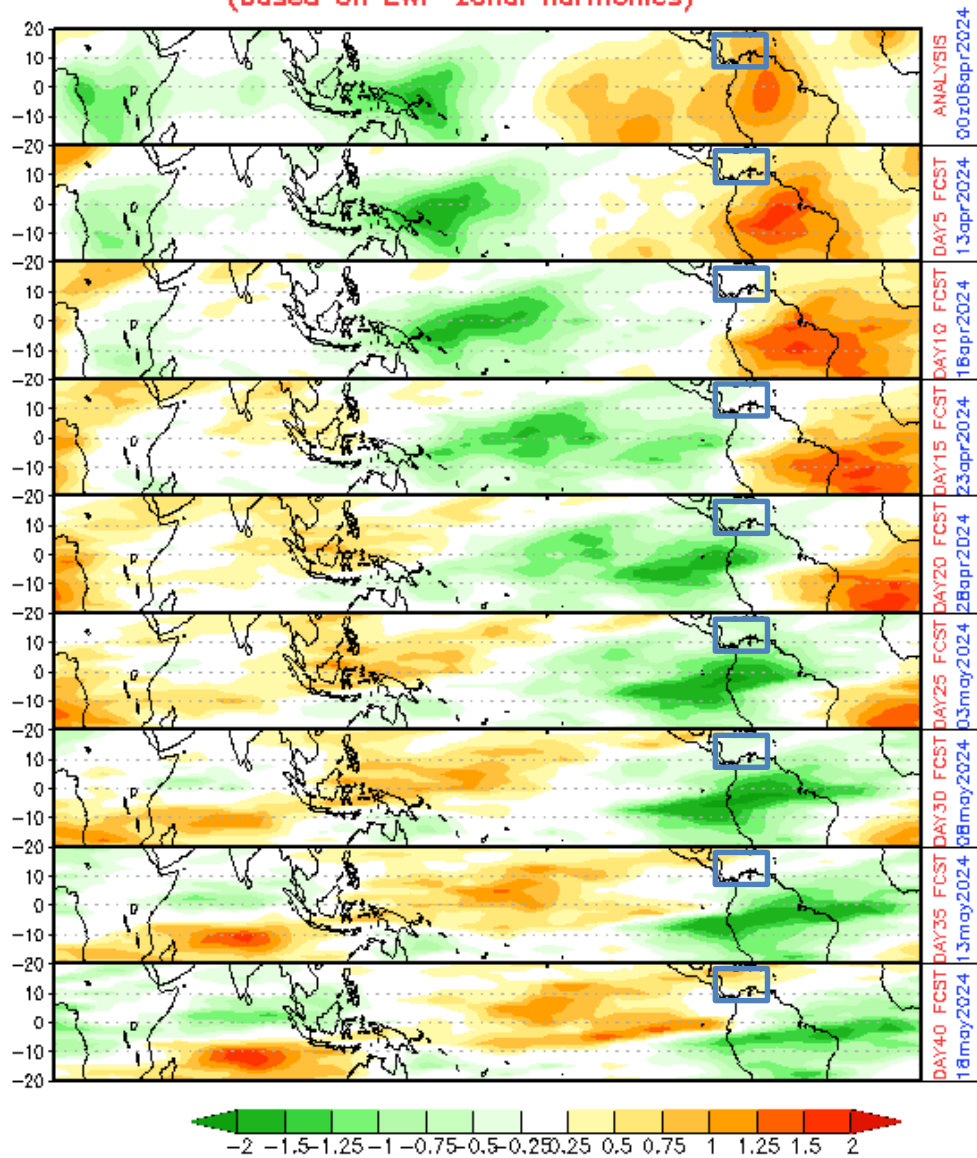



Figura 4. Pronóstico de la velocidad potencial en 200 hPa durante abril-mayo de 2024. Fuente: Climate Prediction Center (CPC) 2024.

2.2. Zona de Confluencia Intertropical

Durante abril, el segmento del Pacífico de la Zona de Confluencia Intertropical – ZCIT usualmente se encuentra transitando hacia el norte de la región. Donde, se posiciona en proximidades al litoral del Pacífico colombiano se encuentra entre los 4.0 y 7.0 °N (Ruíz & Melo,



2019). Mientras que, la vaguada monzónica se encuentra meridionalmente un poco más al norte entre los 04 y 10.5 °N de latitud norte. A principios de abril, el posicionamiento de la ZCIT y la vaguada monzónica sobre latitudes más australes en el trópico junto con la dinámica de los sistemas atmosféricos, influirán determinadamente en el comportamiento de condiciones secas con cielos entre ligeros y parcialmente nublados en la cuenca del Caribe colombiano. Sin embargo, el tránsito meridional paulatino de estos sistemas atmosféricos hacia latitudes más boreales favorecerá la interacción activa con los sistemas frontales del Atlántico norte, el sistema de baja presión del Darién y el anticiclón del Atlántico norte. Lo anterior, influirá al terminar la transición entre las características temporadas de escasas y mayores precipitaciones durante abril de 2024 en la cuenca del Caribe colombiano, incluyendo el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Por tanto, a finales de abril de 2024 se estima un ligero y paulatino incremento de la humedad, la nubosidad y la precipitación sobre la región Caribe colombiana.

2.3. Sistemas Frontales

Teniendo en cuenta lo establecido por Royero et al. 2013 al analizar la información registrada en los boletines meteorológicos del IDEAM y el CIOH, la variación estacional de la ocurrencia y tránsito de sistemas frontales sobre la cuenca del Caribe colombiano en general tiene un promedio de seis (06) frentes fríos al año. Estos sistemas frontales se concentran especialmente durante la temporada de menores precipitaciones, incluso durante la época de transición a mayores volúmenes de precipitación. Donde, la mayoría de los sistemas frontales transitaron entre enero y febrero, en el que el 64 % de los frentes fríos se registraron durante los tres primeros meses del año. Sin embargo, durante abril sobre el mar Caribe transitan entre 3 y 6 sistemas frontales producto del gradiente de presión y la dinámica de la circulación general de la atmósfera en el hemisferio norte, asociados con el gradiente horizontal de temperatura en la troposfera. Estos frentes fríos, seguramente influirán e incrementarán la velocidad del viento y la altura significativa de la ola en la cuenca del Caribe colombiano, especialmente sobre el área insular y el litoral Caribe colombiano norte y centro.




3. PRONÓSTICO DEL COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES ATMOSFÉRICAS PARA ABRIL DE 2024

3.1. Configuración sinóptica climatológica de abril

De acuerdo con el modelo de reanálisis Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) para el periodo de referencia 1981-2010 (Ruíz & Melo, 2019), la circulación general de la atmósfera en los niveles altos (200 hPa), evidencia un área de convergencia sobre la cuenca del Caribe colombiano en la que los vientos presentan una advección de vorticidad y generan movimientos verticales descendentes característicos de condiciones de tiempo seco sobre la región. Esta prominente dorsal en altura posicionada sobre el Pacífico y el Caribe colombiano proviene de una marcada elongación de un centro de altas presiones ubicado habitualmente en condiciones océano-atmosféricas El Niño al sur de la Guayanas francesas dominando el flujo de las líneas de corriente sobre el trópico en el hemisferio norte occidental.

Esta circulación atmosférica en altura modulada por acción de una dorsal que se extiende desde la Orinoquía hasta el Pacífico oriental en inmediaciones de la costa sur de Centro América presenta divergencia de vientos en la mitad oeste de la dorsal generando convección profunda sobre la cuenca del Pacífico colombiano. Por su parte, esta dorsal en altura presenta convergencia de vientos en la mitad este, generando subsidencia sobre gran parte de la cuenca del Caribe colombiano. Sin embargo, simultáneamente esta dorsal en altura genera transporte de humedad en niveles superiores de la tropósfera desde el océano Pacífico oriental hacia litoral Caribe sur, el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina y el sur del litoral Caribe colombiano norte, como también el área marítima centro e insular de la cuenca del Caribe colombiano.

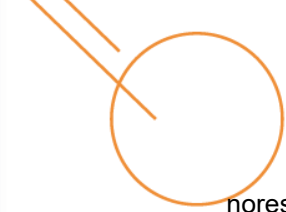
Por su parte, en los niveles de 500 hPa, se configura sobre la cuenca del Caribe colombiano un sistema de alta presión el cual se posiciona sobre la costa sur de México en el océano Pacífico



oriental y tiene una elongación que genera una pequeña dorsal sobre el mar Caribe que modula la circulación atmosférica, el transporte de humedad y condiciones subsidentes propias de condiciones secas sobre la región de acuerdo con el acoplamiento océano-atmósfera propio de El Niño durante la climatología característica de abril. Esta circulación atmosférica genera un flujo de las líneas de corriente más organizado. Por tanto, genera los característicos vientos zonales predominantes de componente oeste y noroeste característico de niveles medios de la tropósfera. Sin embargo, debido al gradiente de presión en estos niveles y a la elongación de la alta presión con la dorsal posicionada sobre el Caribe colombiano se presenta una advección de vorticidad modulando la convergencia del viento, advección de humedad y en general las condiciones subsidentes sobre el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina y el litoral del Caribe colombiano.

Por su parte, sobre los 700 y 850 hPa la configuración de los vientos en estos niveles se debe a un flujo atmosférico zonal de las líneas de corriente en el que se configura prominentemente el sistema de alta de presión de Azores sobre el Atlántico norte oriental, especialmente en el nivel de los 850 hPa. Debido a la elongación de este sistema atmosférico de alta de presión de Azores se configura una dorsal posicionada sobre el Atlántico norte occidental la cual presenta una advección de vorticidad modulando divergencia de vientos sobre el mar Caribe. Esta divergencia de vientos sobre el Caribe genera advección de humedad y convección somera sobre la cuenca del Caribe colombiano influyendo en el incremento de la precipitación, especialmente a final del mes de abril para consolidar el inicio de la temporada de mayores precipitaciones en la región.

Similarmente, en superficie sobre los 1000 hPa los característicos vientos alisios del hemisferio sur propios del recurvamiento definido por la vaguada monzónica se configuran desorganizadamente al sur de la Cuenca del Pacífico Colombiano. Mientras que, sobre el Atlántico norte oriental el sistema de alta presión de Azores se debilita levemente y su dorsal asociada a la elongación del sistema ya no es tan prominente y se desplaza sobre latitudes mayores. Esta configuración de la dorsal asociada con la alta presión de Azores bajo el escenario del acoplamiento de las condiciones océano-atmosféricas genera que el flujo de los vientos alisios ya no sea dominado por la influencia de la dorsal. Por tanto, los característicos vientos alisios de componente este y



noreste en superficie (1000 hPa) ahora son influidos por la interacción directa y la divergencia generada por el anticiclón de Azores. Por esta razón, la divergencia atenúa moderadamente influyendo en la advección y de humedad y la atenuación del comportamiento de la precipitación durante abril en la cuenca del Caribe colombiano (Figura 5).

Correspondientemente, la interacción entre los sistemas frontales, los sistemas de alta presión que se ubican sobre el Atlántico norte y los sistemas de baja presión que se posicionan sobre el centro del litoral Caribe colombiano mantienen un gradiente de presión entre moderado y fuerte que favorece el tránsito de vientos de componente este y noreste. Además, persiste la presencia del chorro de bajo nivel del Caribe junto con la dinámica (un poco más austral) de la vaguada monzónica en conjunto con otros sistemas atmosféricos de variabilidad intraestacional. Estos sistemas atmosféricos en conjunto influyen en el incremento de la velocidad del viento que se estima estará entre los 10 y 30 nudos y en la altura significativa de la ola que se prevé estará oscilando entre los 0.9 y 3.1 metros, afectando las aguas marítimas y costeras de la cuenca del Caribe colombiano.

Sin embargo, el contenido acuoso de la troposfera y los procesos de evaporación y condensación sobre el mar Caribe durante abril bajo el escenario del acoplamiento océano-atmósfera de El Niño atenúan considerablemente, exacerbado también por el tránsito de masas de aire cálidas y secas. Estas condiciones atmosféricas están asociadas con el gradiente horizontal de temperatura, al gradiente horizontal de presión y finalmente a la dinámica de la circulación atmosférica. Por tanto, durante las dos primeras décadas de abril (primeros veinte días) en la cuenca del Caribe colombiano, el comportamiento de la precipitación será menos intenso, atenuando significativamente los volúmenes de precipitación acumulada en la región. Mientras que, durante la última década de abril (últimos diez días) se estima incremento paulatino del comportamiento de la precipitación en la cuenca del Caribe colombiano. Consolidando así, la época de mayores precipitaciones en la región. Lo anterior está fuertemente influido por el acoplamiento océano-atmósfera propia de El Niño sobre el Pacífico ecuatorial durante el invierno y la primavera boreal, como se resaltado anteriormente (figura 5).

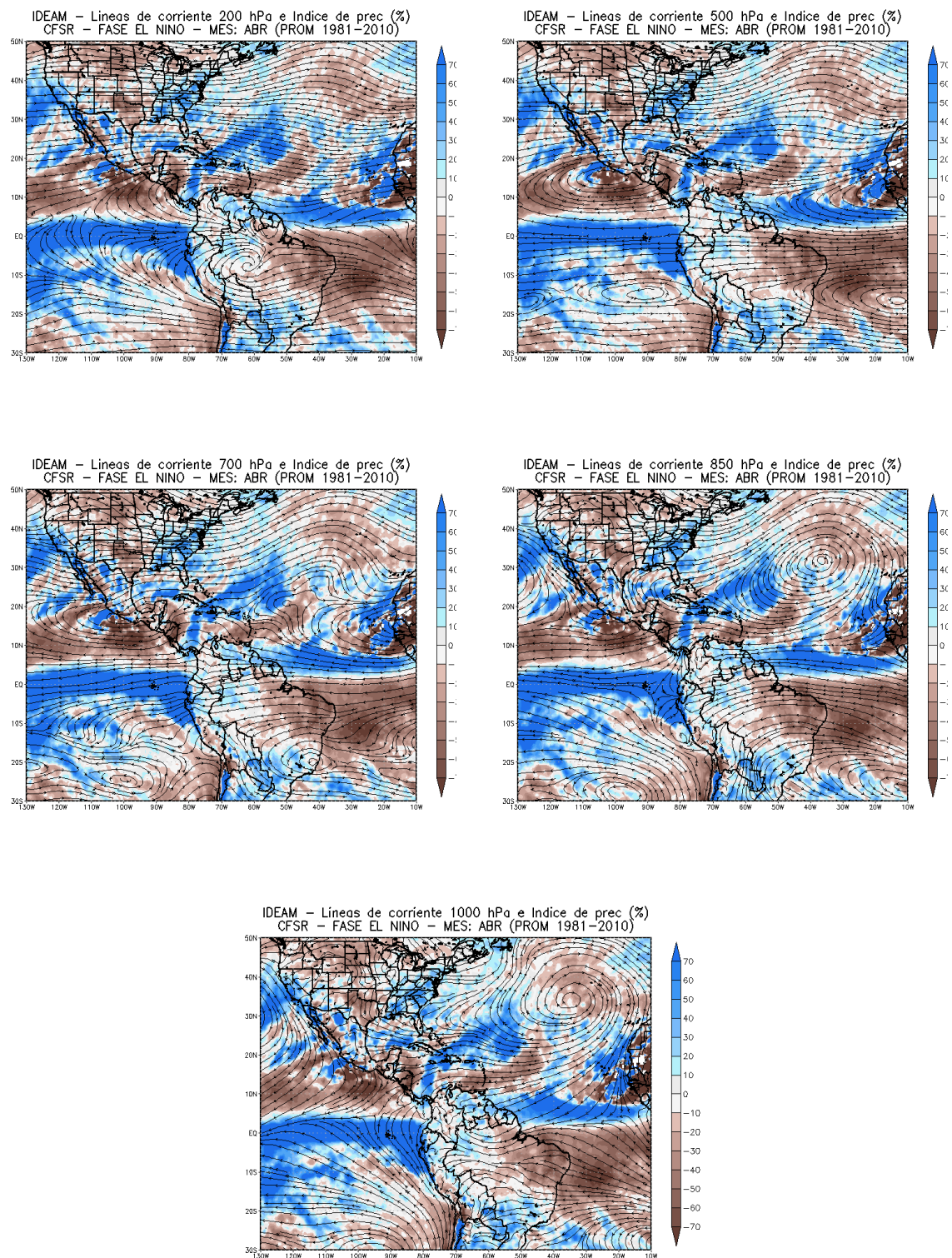


Figura 5. Líneas de corriente e índice de precipitación para el mes de abril (1981-2010) bajo las condiciones El Niño en 200, 500, 700, 850 y 1000 hPa, extraídas del CFSR. Fuente: Ruíz & Melo, 2019.

3.2. Precipitación

De acuerdo con la climatología generada a partir de datos históricos (1990-2017, figura 6)¹, durante abril se establece la época de transición entre la temporada de menores precipitaciones y el ingreso de la temporada de mayores volúmenes de precipitación sobre el mar Caribe colombiano. Excepto en el litoral Caribe sur y sobre el Golfo de Urabá en donde se presenta una transición abrupta entre las dos temporadas y abril hace parte ya de la época de mayores precipitaciones. Como se evidencia en la figura 6 estas condiciones atmosféricas son más acentuadas sobre el litoral sur del Caribe colombiano y las inmediaciones al Golfo de Urabá de la cuenca del Caribe colombiano. En el que los registros de precipitación son mayores y están comprendidos entre los 84.8 y 195.6 mm en las estaciones de Coveñas y Turbo, correspondientemente.

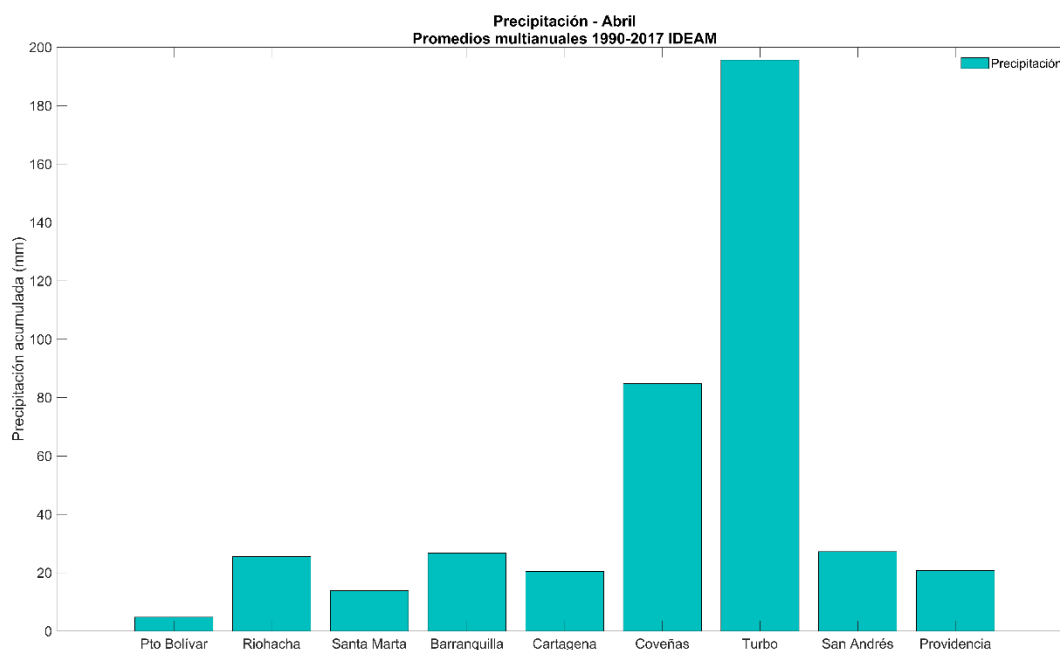



Figura 6. Valores climatológicos de precipitación durante abril (1990-2017) en los principales puertos del Caribe colombiano. Fuente: DIMAR – CIOH (2024).

¹ Climatología calculada a partir de series de tiempo suministradas por los datos de la red de estaciones meteorológicas del IDEAM.



Por tanto, en los puertos de Puerto Bolívar y Santa Marta se presentan los menores valores de precipitación con 4.8 y 13.9, respectivamente. Estos valores climatológicos son seguidos por los registros que presentan volúmenes medios de precipitación en Cartagena con 20.4 mm, Providencia con 20.8 mm, Riohacha con 25.5 mm, Barranquilla con 26.7 y San Andrés con 27.3 mm. Mientras que, sobre el litoral Caribe sur en el puerto de Turbo con 195.6 mm y en Coveñas con 84.8 mm, se registran los mayores volúmenes de precipitación acumulada mensual en la cuenca del Caribe colombiano (DIMAR – CIOH, 2024. Figura 6).

Las anomalías de precipitación fueron generadas con datos del periodo de referencia 1991-2020, provenientes del Climate Forecast System vs2 (CFSv2, NOAA- NCEP, 2024). De acuerdo con el modelo CFSv2, durante abril de 2024 se estima que las anomalías negativas de precipitación atenuen paulatinamente y tengan menor cobertura espacial con respecto al mes anterior. En general, en aguas costeras y marítimas del litoral Caribe colombiano norte y el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina se concentran ligeras anomalías negativas de precipitación. Los mayores valores se presentan sobre el área insular de la cuenca del Caribe colombiano. Sin embargo, en aguas costeras y marítimas del litoral Caribe centro y sur se presentan anomalías positivas de precipitación. Los mayores valores se concentran sobre el litoral Caribe centro y en proximidades de la Sierra Nevada de Santa Marta, estando muy cerca de los valores de la normal climatológica (figura 7).

Por tanto, durante abril se estima en gran parte de la cuenca del Caribe colombiano déficits en los volúmenes de precipitación. Especialmente, en aguas marítimas y costeras del litoral Caribe colombiano norte, como también sobre el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Es decir, durante abril en gran parte de la cuenca del Caribe colombiano se prevé volúmenes de precipitación inferiores a los valores climatológicos de referencia 1991-2020 (figura 6). La ocurrencia de estas anomalías negativas de precipitación está asociada con el acoplamiento océano-atmósfera y a la influencia que ejerce los efectos de El Niño sobre el comportamiento de la precipitación en la región. Estos valores de las anomalías negativas de precipitación (déficits de lluvias) oscilarán entre -0.1 y -2.5 mm/día, siendo más intensas sobre el área insular de la cuenca del Caribe colombiano.

Sin embargo, al finalizar el mes sobre su última década se estima incremento del comportamiento de la precipitación en la cuenca del Caribe colombiano presentándose probables excesos de lluvias con relación a la normal climatológica. Especialmente, sobre aguas marítimas y costeras del litoral Caribe centro y la Sierra Nevada de Santa Marta. Estos valores de anomalías positivas de precipitación oscilarán entre 0.1 y 1.5 mm/día, en estos sectores del Caribe colombiano.

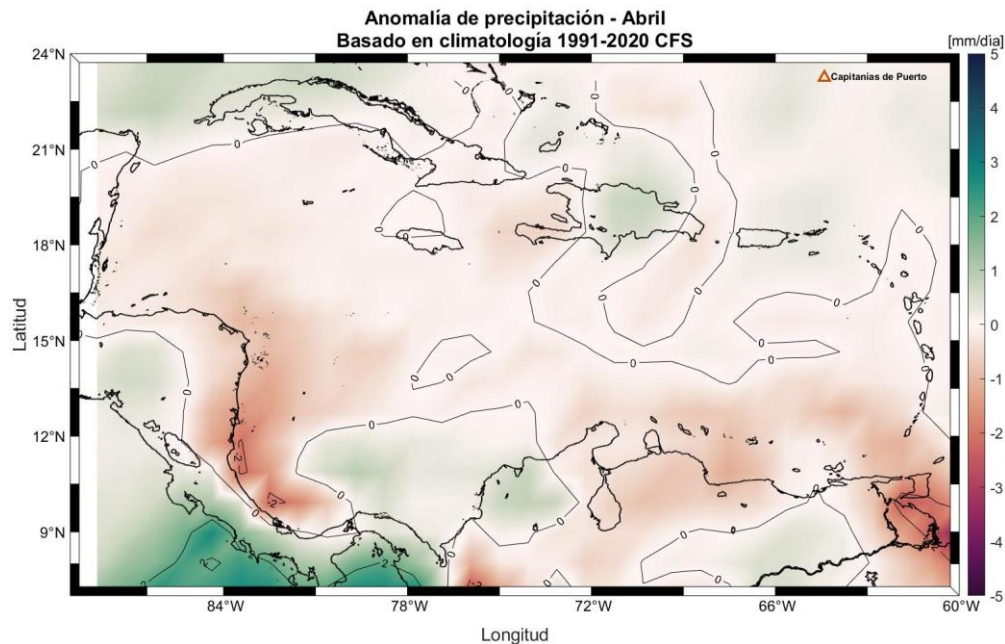
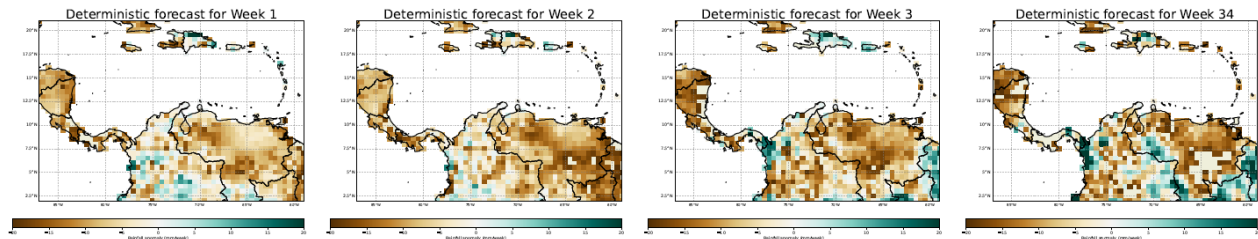


Figura 7. Pronóstico de la anomalía mensual de precipitación para abril de 2024. Fuente: Modelo CFSv2 (NOAA –NCEP, 2024).

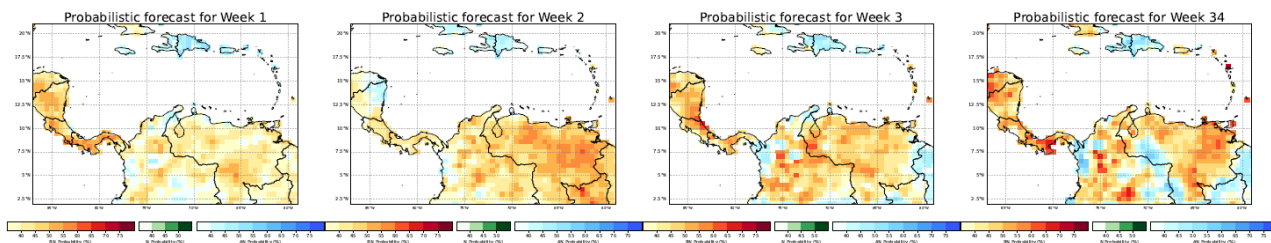
Lo anterior, es coherente con los modelos determinísticos y probabilísticos subestacionales GEFS y CFS publicados recientemente por el CIOH, 2024. Las salidas gráficas de estos modelos fueron emitidas a partir de la primera semana de abril de 2024 las cuales tienen un horizonte de tiempo de siete (7) días para ser válidas durante el transcurso de este periodo de tiempo.

Teniendo en cuenta la estimación emitida por estos modelos determinísticos y probabilísticos, se evidencia que a medida que avanza el paso en el tiempo se incrementan las anomalías positivas de precipitación en la cuenca del Caribe colombiano. Especialmente, sobre el

litoral Caribe sur y centro, como también en proximidades de la Sierra Nevada de Santa Marta. Esto indica que existe una probabilidad moderada de presentarse precipitaciones por encima de los valores normales para la época (excesos de precipitación) sobre la cuenca del Caribe colombiano, especialmente durante las semanas tres (3) y cuatro (4). CIOH, 2024. Figura 8).



a)



b)

Figura 8. Pronósticos determinísticos y probabilísticos subestacionales de los modelos GEFS y CFS. a) Deterministic-Forecast-GEFSv12_&_CFSv2_SubX-CHIRPS-PCR y b) Probabilistic-Forecast_GEFSv12_&_CFSv2_SubX-CHIRPS-PCR. Fuente: CIOH, 2024.

3.3. Temperatura del aire

De acuerdo con los valores climatológicos 1990-2017², durante abril los mayores valores de la temperatura del aire máxima en la cuenca Colombia se registran sobre el litoral Caribe colombiano norte y sur en los puertos de Santa Marta con 33.8 °C, Barranquilla con 33.4 °C y Coveñas con 33.8 °C. Por su parte, la temperatura del aire promedio es de 28.6°C. Valores promedio cercanos a la normal climatológica 1990-2017, se presentan en los puertos de Coveñas con 28.2 °C, Riohacha con 28.2 °C y Cartagena con 28.0 °C. Mientras que, los menores valores de la temperatura del aire mínima se registran en las estaciones meteorológicas de los puertos de Coveñas con 23.5 °C, Turbo con 24.6 °C y Riohacha con 24.7 °C, ubicadas sobre el litoral Caribe colombiano sur y norte (Figura 9).

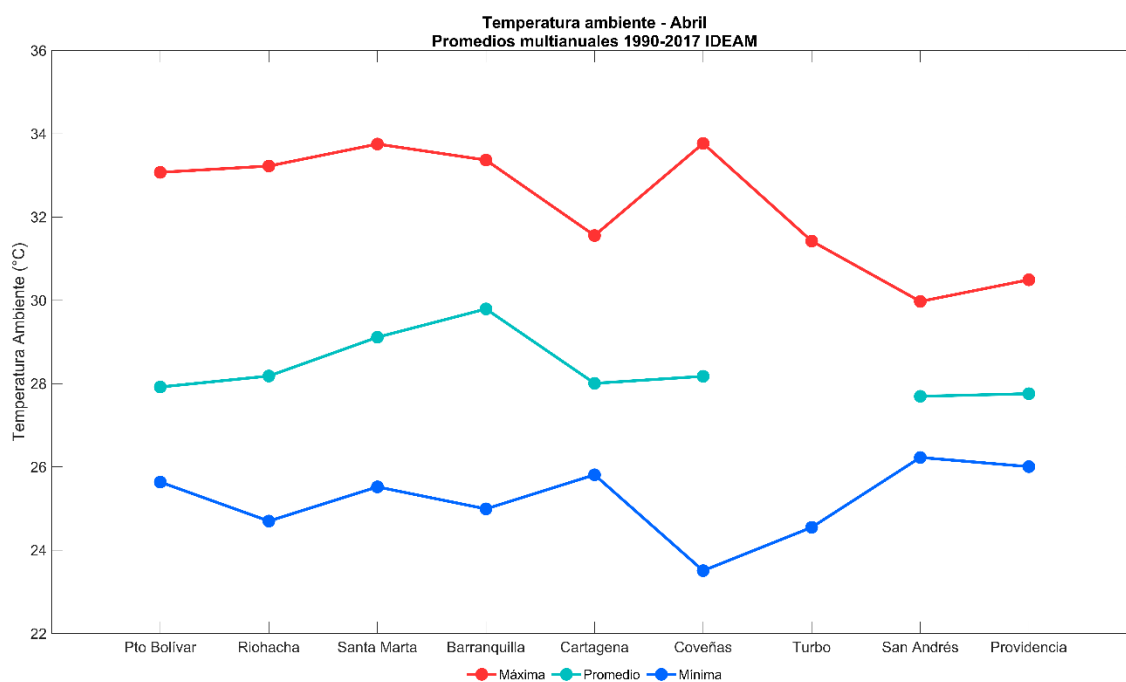


Figura 9. Valores climatológicos de temperatura máxima, media y mínima para abril (1990-2017) en los principales puertos del Caribe colombiano. Fuente: DIMAR - CIOH (2024).

² Climatología calculada a partir de series de tiempo suministradas por los datos de la red de estaciones meteorológicas del IDEAM.

4. PRONÓSTICO DE LAS CONDICIONES OCEÁNICAS PARA EL MAR CARIBE COLOMBIANO.

4.1 Altura de la ola y corrientes superficiales

A partir de los valores climatológicos del modelo de oleaje WAVEWACH III calculados para el período (1979-2018) (NWS-NOAA, 2009), se evidencia que típicamente durante abril, se presenta un comportamiento similar de la altura media del oleaje con respecto al mes anterior. La dirección predominante del oleaje sobre el litoral Caribe norte es del este. Mientras que, sobre el litoral Caribe centro y sur como también en el área insular de la cuenca Colombia la dirección predominante es de componente noreste. En general, la altura significativa de la ola en la cuenca del Caribe colombiano registra valores entre los 1.0 y 2.0 m. Donde los mayores valores de la altura significativa de la ola se presentan sobre el litoral Caribe centro con valores alrededor de los 2.2 m. Mientras que, sobre el litoral Caribe colombiano sur registra una altura significativa que oscila entre 0.8 y 1.0 m (Figura 10).

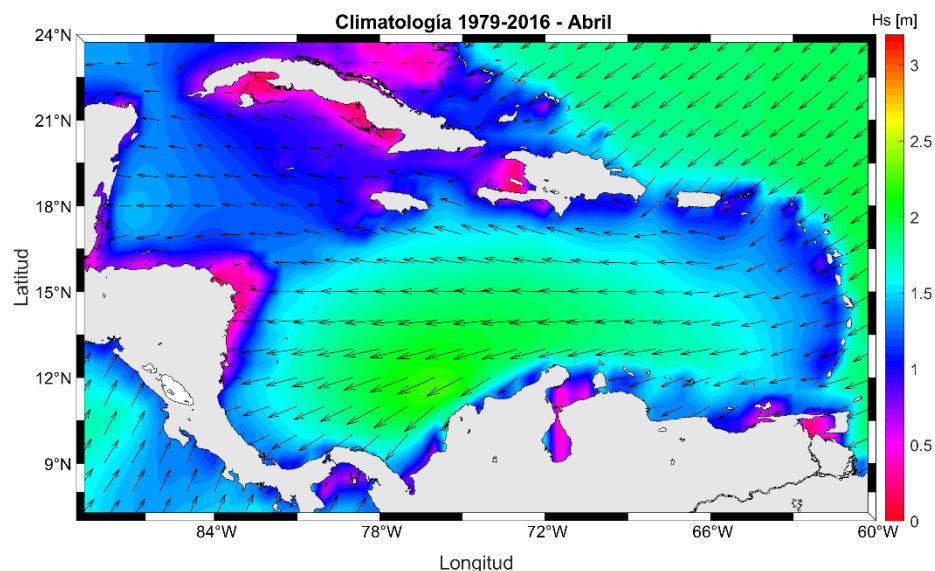


Figura 10. Valores climatológicos de dirección y altura de la ola en el mar Caribe para el mes de abril (1979-2018). Fuente: WW III (NWS - NOAA, 2009)

Teniendo en cuenta los valores climatológicos Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS, 2020) calculados para el periodo (1993-2020), durante abril se presentan valores levemente superiores con respecto al mes anterior de la altura dinámica absoluta del mar sobre la cuenca del Caribe colombiano. En general, en la cuenca Colombia los valores de la altura dinámica absoluta del mar oscilan entre 0.4 y 0.75 m (Figura 11).

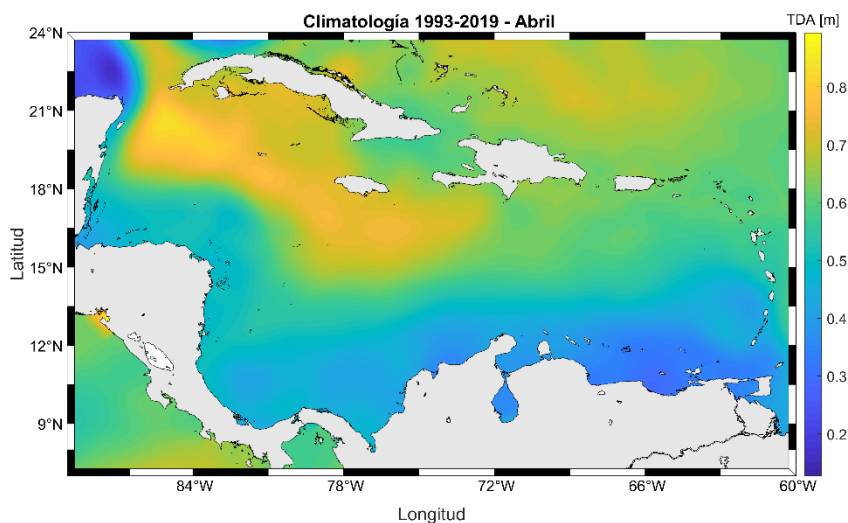


Figura 11. Valores climatológicos de altura dinámica absoluta del mar para el mes de abril (1993-2020). Fuente: Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS, 2020).

4.2 Corrientes superficiales

De acuerdo con valores climatológicos (1993-2020) provenientes del modelo hidrodinámico HYCOM 2.2 (Naval Research Laboratory -NRL, 2020), en abril la velocidad de la corriente superficial muestra un comportamiento similar respecto al mes anterior sobre la cuenca del Caribe colombiano. Como es característico de esta zona, la dirección predominante es de componente oeste, y registra velocidades que oscilan entre 0.1 y 0.7 m/s. En general, las aguas marítimas y costeras de la cuenca del Caribe colombiano (excepto en el litoral Caribe norte), están fuertemente influidas por el giro ciclónico de Panamá – Colombia, donde se presenta una corriente elongada en sentido antihorario más organizada frente a la costa de Centroamérica, como también

al sur y suroccidente de la cuenca del Caribe colombiano en el que la corriente superficial del mar muestra una circulación anticiclónica, con velocidades promedio entre 0.1 y 0.3 m/s (Figura 12).

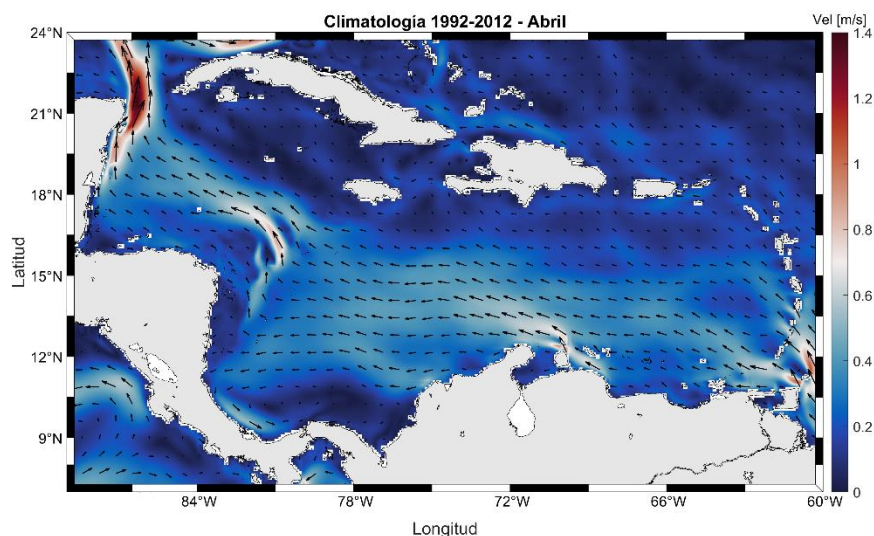


Figura 12. Valores climatológicos de la velocidad y dirección de la corriente superficial predominante para abril (1993-2020). Fuente: NRL, 2020.

4.3 Temperatura Superficial del Mar

Basado en los valores climatológicos de la TSM para el período de referencia (1981-2019, Good et al., 2020), durante abril la TSM en aguas marítimas y costeras de la cuenca del Caribe colombiano muestra un aumento en los valores con respecto al mes anterior. En abril la TSM registra valores climatológicos que oscilan entre 23.0 y 28.3 °C sobre cuenca Caribe colombiana en general. En la zona central y costera de la cuenca se presentan aguas más cálidas con valores entre 26.2 y 28.3 °C. Por su parte, en aguas costeras del litoral Caribe colombiano sur, en proximidades del puerto de Turbo se registran aguas más cálidas respecto al mes anterior, con valores entre los 27.8 y 28.0 °C. En cuanto a la característica surgencia de La Guajira, se observa con una disminución significativa en cuanto a su cobertura espacial respecto al mes anterior, presentando valores de la TSM entre 24.8 y 25.8°C (Figura 13).

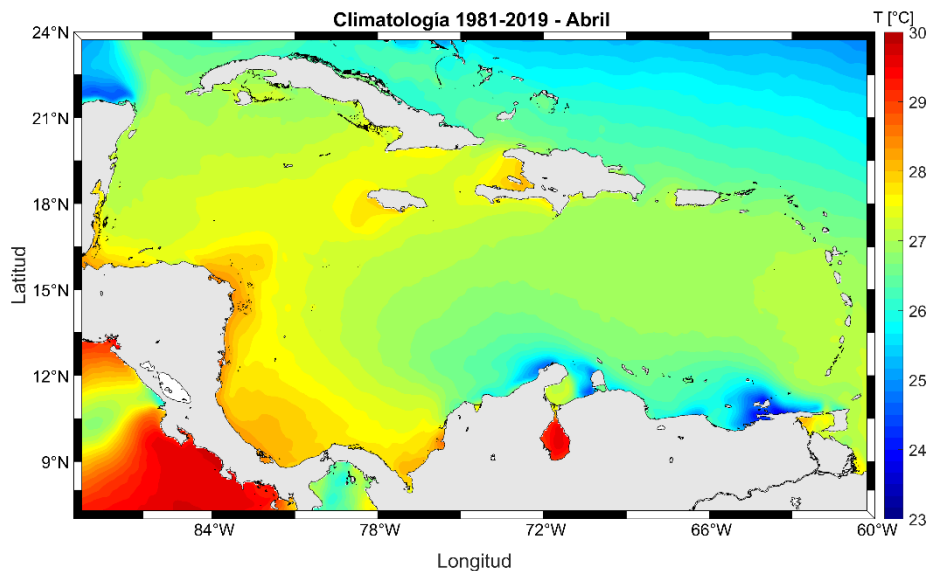


Figura 13. Valores climatológicos de la TSM para el mes de abril (1981-2019). Fuente: Good et al., 2020.

De acuerdo con la proyección para abril de 2024 del Climate Forecast - CFSv2 (NOAA - CPC, 2021), usando datos para el periodo de referencia 1991-2020 las ATSM sobre la cuenca del Caribe colombiano persisten y son ligeramente mayores con respecto al mes anterior.

En general, la cuenca del Caribe colombiano presentaría ATSM positivas con valores que oscilarían entre 0.5 y 2.0 °C (Figura 14). Estas ATSM positivas pueden influir directamente en las condiciones océano – atmosféricas, exacerbando los escenarios prevalentes de tiempo y mar en la cuenca del Caribe colombiano.

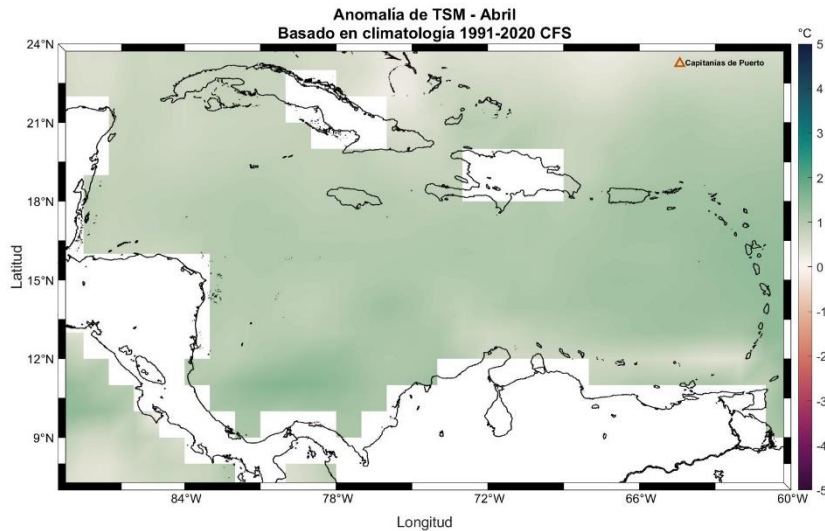


Figura 14. Pronóstico de las anomalías de la TSM para el mes de abril de 2024. Fuente: NOAA-CPC, 2021
Fuente: NOAA-CPC, 2021.

4.4 Pronóstico de Mareas del Caribe colombiano

Cartilla Mareográfica de Colombia

La Dirección General Marítima – Dimar y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – Ideam han aunado esfuerzos institucionales para la construcción de las cartillas mareográficas de pronósticos de pleamares y bajamares correspondientes al año 2024 para la costa Pacífica colombiana. Lo anterior, a partir de procesos estadísticos de control de calidad rigurosos y referencias verticales aplicadas a las mediciones locales, conforme a las recomendaciones y metodologías con estándares internacionales. De esta manera, la cartilla mareográfica se presenta a la comunidad como resultado de una cooperación interinstitucional alineada a los objetivos misionales de cada entidad, y se convierte en insumo para la toma de decisiones y el planeamiento estratégico (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - Dirección General Marítima (2023), 2024). La presente se puede visualizar por medio del siguiente link: https://dimarmilcomy.sharepoint.com/:b:g/personal/ppadilla_dimar_mil_co/ERwXlpLQZmlChXFJIm-NuacB-ASVFswJntg_FgG48w5Tbg



CONCLUSIONES


Entre los trimestres Marzo-Abril-Mayo (MAM) de 2024 se estima un 88 % de probabilidad de presencia del fenómeno de El Niño debido a que las condiciones océano – atmosféricas están acopladas y son favorables para la fase positiva de ENSO sobre el océano Pacífico ecuatorial.

Las anomalías atmosféricas sobre el océano Pacífico ecuatorial son consistentes con condiciones ENSO El Niño. Sin embargo, se estima que hay una probabilidad del 83 % de que se presente una transición de las condiciones El Niño a ENSO Neutral sobre el Pacífico ecuatorial y que éstas persistan durante la primavera boreal entre abril y junio de 2024.

Esta eventual transición entre El Niño y ENSO Neutral, está acompañada de una probable evolución a las condiciones oceánicas y atmosféricas características de La Niña sobre el Pacífico ecuatorial entre junio y agosto de 2024 con una probabilidad del 62 %.

De acuerdo con este acoplamiento e interacción océano-atmósfera sobre el océano Pacífico ecuatorial, el fenómeno ENSO se manifiesta actualmente sobre las condiciones climáticas en la cuenca del mar Caribe y en el mundo a través de sus teleconexiones. Lo anterior, influirá en el comportamiento de la precipitación en la cuenca del Caribe colombiano, probablemente atenuando la intensidad y frecuencia de las precipitaciones sobre el litoral Caribe colombiano y el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina y durante abril de 2024.


Sin embargo, teniendo en cuenta las salidas gráficas de los modelos determinísticos y probabilísticos subestacionales GEFS y CFS publicados recientemente por el CIOH, 2024 al finalizar abril se estima incremento de la precipitación producto del debilitamiento paulatino de las condiciones océano-atmosféricas características de El Niño sobre el océano Pacífico ecuatorial y por la influencia directa de la dinámica de los fenómenos atmosféricos intraestacionales como la Oscilación Madden & Julián (OMJ).



Por tanto, debido al acoplamiento de las condiciones oceánicas y atmosféricas hasta finales de abril se modulará y mantendrá el gradiente de presión, la intensidad del viento y la altura significativa de la ola con respecto a las condiciones características durante la transición de la temporada de menores a mayores precipitaciones en la cuenca del Caribe colombiano. En el que se prevé predominio de tiempo seco con cielo entre ligero y parcialmente nublado en la cuenca del Caribe colombiano con algunas probables lluvias entre ligeras y moderadas aisladas, especialmente durante los últimos días de abril de 2024.

Durante abril se estima en gran parte de la cuenca del Caribe colombiano déficits en los volúmenes de precipitación. Especialmente, en aguas marítimas y costeras del litoral Caribe colombiano norte, como también sobre el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Es decir, durante abril en gran parte de la cuenca del Caribe colombiano se prevé volúmenes de precipitación inferiores a los valores climatológicos de referencia 1991-2020. La ocurrencia de estas anomalías negativas de precipitación está asociada con el acoplamiento océano-atmósfera y a la influencia que ejerce los efectos de El Niño sobre el comportamiento de la precipitación en la región. Sin embargo, al finalizar el mes sobre su última década se estima incremento del comportamiento de la precipitación en la cuenca del Caribe colombiano presentándose probables excesos de lluvias con relación a la normal climatológica. Especialmente, sobre aguas marítimas y costeras del litoral Caribe centro y la Sierra Nevada de Santa Marta.

Similarmente, los modelos determinísticos y probabilísticos subestacionales GEFS y CFS publicados recientemente por el CIOH, 2024, evidencian que a medida que avanza el paso en el tiempo se incrementan las anomalías positivas de precipitación en la cuenca del Caribe colombiano. Especialmente, sobre el litoral Caribe sur y centro, como también en proximidades de la Sierra Nevada de Santa Marta. Esto indica que existe una probabilidad moderada de presentarse precipitaciones por encima de los valores normales para la época (excesos de precipitación) sobre la cuenca del Caribe colombiano, especialmente durante las semanas tres (3) y cuatro (4).



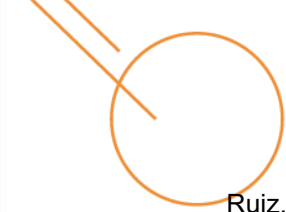
En abril la TSM registra valores climatológicos que oscilan entre 23.0 y 28.3 °C sobre cuenca Caribe colombiana en general. En la zona central y costera de la cuenca se presentan aguas más cálidas con valores entre 26.2 y 28.3 °C. Por su parte, en aguas costeras del litoral Caribe colombiano sur, en proximidades del puerto de Turbo se registran aguas mas cálidas respecto al mes anterior, con valores entre los 27.8 y 28.0 °C. En cuanto a la característica surgencia de La Guajira, se observa con una disminución significativa en cuanto a su cobertura espacial respecto al mes anterior, presentando valores de la TSM entre 24.8 y 25.8°C.

En general, la cuenca del Caribe colombiano presentaría ATSM positivas con valores que oscilarían entre 0.5 y 2.0 °C (Figura 14). Estas ATSM positivas pueden influir directamente en las condiciones océano – atmosféricas, exacerbando los escenarios prevalecientes de tiempo y mar en la cuenca del Caribe colombiano.



BIBLIOGRAFÍA

- CPC-NCEP. (28 de diciembre de 2022). ENSO: Recent evolution, current status and predictions. Recuperado el 30 de noviembre de 2022, de <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/enso.shtml>
- CPC-NCEP a (28 de noviembre 2022 Predictions. Recuperado el 1 de diciembre de 2022, de <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/mjo.shtml>
- DIMAR – CIOH. (2022). Derrotero de las Costas y Áreas Insulares del Caribe Colombiano. Dirección General Marítima – Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe – Servicio Hidrográfico Nacional. Editorial Dimar. Bogotá Colombia. En edición.
- Dominguez, C.; Done, J.M.; & Bruyere, C.L. (2020) Easterly wave contributions to seasonal rainfall over the Tropical Americas in observations and a regional climate model. *Climate Dynamics*, 54(1), 191-209.
- Good, S.; Fiedler, E.; Mao, C.; Martin, M.J.; Maycock, A.; Reid, R.; Roberts-Jones, J.; Searle, T.; Waters, J.; While, J.; Worsfold, M. (2020) The Current Configuration of the OSTIA System for Operational Production of Foundation Sea Surface Temperature and Ice Concentration Analyses. *Remote Sens.* 2020, 12, 720, doi:10.3390/rs12040720
- IRI ENSO Forecast (18 de noviembre de 2022). Recuperado el 30 de noviembre de 2022, de https://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/enso/current/?enso_tab=enso-cpc_plume
- Latandret -Solana, S. (2021). Estudio de la marea y su pronóstico en la cuenca Colombia - mar Caribe. Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla - Centro de Investigaciones Hidrográficas y Oceanográficas del Caribe. Documento Interno.
- National Weather Service, NWS - National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA. (2009). WAVEWATCH III.
- Naval Research Laboratory -NRL. (2009). Software Design Description for the HYbrid Coordinate Ocean Model (HYCOM) Version 2.2. Ocean Dynamics and Prediction Branch Oceanography Division.
- Ortiz -Royero, J.C.; L.J. Otero, J.C. Restrepo, J. Ruiz, and M. Cadena. (2013). Cold fronts in the Colombian Caribbean Sea and their relationship to extreme wave events. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13, 2797–2804, 2013 www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/13/2797/2013/ doi:10.5194/nhess-13-2797-2013
- Ramsay, H. (2017). The Global Climatology of Tropical Cyclones. *Natural Hazards Science. Tropical Storms*. Online Publication. May 2017. DOI: 0.1093/acrefore/9780199389407.013.79



Ruiz, F. y J. Melo. (2019). Patrones sinópticos bajo las tres fases del ENOS visto a través del reanálisis CFSR y su respuesta en la precipitación para Colombia. Nota Técnica IDEAM/METEO 002-2019. Subdirección de Meteorología. Grupo de Modelamiento Numérico de Tiempo y Clima. Bogotá, diciembre de 2019. Recuperado el 13 de septiembre de 2020, de http://bart.ideam.gov.co/wrfideam/new_modelo/DOCUMENTOS/2019/NT_IDEAM-002-2019.pdf