

**ASPECTOS METODOLÓGICOS DE LA PREDICCIÓN CLIMÁTICA MENSUAL EN COLOMBIA**

*José Franklyn Ruiz Murcia  
Jeimmy Yanely Melo Franco*

*Grupo de Modelamiento de Tiempo y Clima*

**IDEAM**

# ASPECTOS METODOLÓGICOS DE LA PREDICCIÓN CLIMÁTICA MENSUAL EN COLOMBIA

Para referenciar, cítese como: Ruiz, J.F. & Melo, J.Y., mar,2020: Aspectos Metodológicos de la Predicción Climática Mensual de la Precipitación en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Subdirección de Meteorología. NOTA TÉCNICA DEL IDEAM. IDEAM–METEO/001-2020. Bogotá – Colombia

## RESUMEN

La predicción climática que realiza el IDEAM, está sustentada en los avances de reducción de escala estadística que ha venido implementando desde el año 2007, cuando por primera vez se corrió el modelo de análisis de correlación canónica usando la herramienta desarrollada por el IRI conocida como CPT (Climate Predictability Tool). Desde entonces, diferentes configuraciones tanto para predicción mensual como para predicción estacional se han puesto en funcionamiento al interior del Grupo de Modelamiento Numérico de Tiempo y Clima hasta llegar hoy en día, a lo que denominamos el **promedio ponderado de los modelos que tienen mejor habilidad de predicción, basado en el índice de bondad** (goodness index, por sus siglas en inglés).

Las primeras versiones utilizaron como variable explicativa, la Temperatura Superficial del Mar observada y datos de precipitación procedentes de estaciones convencionales del IDEAM; sin embargo, el desarrollo por parte de centros internacionales de predicción climática en modelamiento dinámico para pronosticar distintas variables meteorológicas con un horizonte a 6 meses no solo a escala estacional sino mensual, así como el avance de metodologías para estimar la precipitación integrando datos observados con los provenientes de satélite en alta resolución espacial; han permitido lograr nuevos avances en IDEAM para ofrecer predicciones mensuales, que son las que más requieren los sectores, en dichas resoluciones, no solo de tipo probabilísticas sino también determinísticas, a través del uso de las mejoras incorporadas en la herramienta CPT por parte del Instituto Internacional de Investigación para Clima y Sociedad (IRI por sus siglas en inglés) tanto en su parte estadística como en su soporte lógico (software); pues las últimas versiones de CPT, en lenguaje bashCPT y pyCPT, han permitido automatizar procesos en Linux, favoreciendo ejecuciones masivas y procesamiento optimizado para generar la predicción más probable a nivel mensual basada en 44 configuraciones; lo que significa realizar 264 ejecuciones de la CPT, cada mes, para un obtener la predicción de los siguientes 6 meses.

## 1. DATOS

Para realizar la predicción climática de la precipitación en esta nueva versión, el IDEAM ha tomado como variables explicativas:

- La temperatura observada del bimestre anterior descargada del Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSSTv4) descrita por [Huang, B., et. al; \(2014\)](#)

- La temperatura superficial del mar pronosticada a 6 meses por 8 modelos del ensamble norteamericano del NMME y,
- La precipitación pronosticada igualmente a 6 meses por dicho conjunto de modelos.

Es necesario aclarar que de igual manera se descargan las climatologías de referencia para realizar el período de entrenamiento entre los datos de los modelos del NMME y las precipitaciones de Colombia; lo cual permite generar las ecuaciones de pronóstico y realizar los análisis de probabilidades similares al ejemplo presentado en la Fig. 1.

El North American Multi-Model Ensemble (NMME), es un sistema de pronóstico estacional multimodelo experimental que consiste en un conjunto de modelos acoplados, desarrollados en centros de modelamiento climático de Estados Unidos y Canadá como la NOAA, NCEP, GFDL, IRI, NCAR, NASA y el CMC. De acuerdo con (Kirtman, B.P., et al.; 2014) el enfoque del conjunto de modelos múltiples ha demostrado ser extremadamente más efectivo para cuantificar la incertidumbre de predicción debido a la incertidumbre en la formulación de cada uno de los modelos, y ha demostrado que produce una mejor calidad de predicción (en promedio) que cualquier modelo único.

- CFSv2
- CanCM4i
- GEM-NEMO
- GFDL
- GFDL-FLOR
- NASA
- NCAR-CCSM4
- Ensemble Mean

Cada uno de estos modelos tiene un conjunto completo de pronósticos retrospectivos para el periodo 1982-2010. Estas predicciones son posteriormente utilizadas por dichos centros internacionales para realizar calibraciones e investigaciones mencionando adicionalmente que en el “Ensamble Mean”, los modelos tienen una misma ponderación, lo que significa que las medias de conjunto para cada modelo se calculan primero y luego se promedian juntas para formar la media multimodelo.

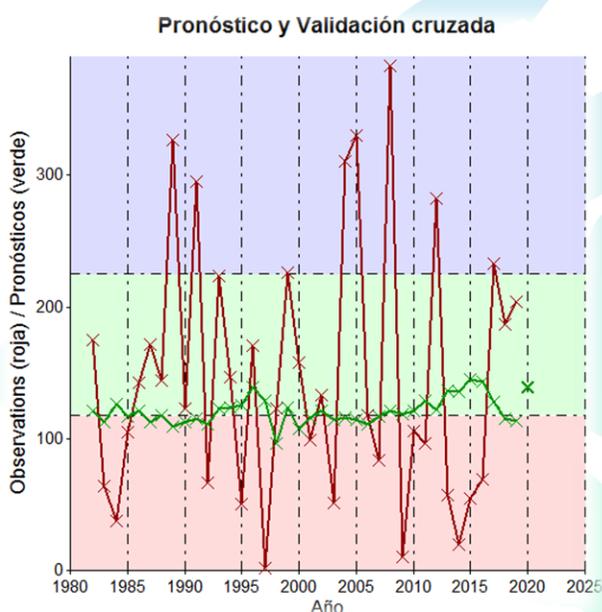
En el caso de las predicciones mensuales a 6 meses en “baja resolución”, están disponibles las siguientes variables meteorológicas:

- La temperatura superficial del mar
- La temperatura a 2 metros de altura y
- La precipitación.

Tal como los presentan en:

<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/international/nmme/nmme.shtml>

Frente a la variable a explicar, a partir de 2020, los datos de la precipitación en Colombia, se toman a partir de los datos históricos procedentes del CHIRPS (Funk et. al.; 2015) ubicados dentro del área geográfica comprendida entre 5°S y 15°N de latitud con 85°W y 65°W de longitud, puesto que son datos a una resolución espacial aproximada de 5kmX5km y los cuales, de acuerdo con los análisis realizados por Urrea, et. al; (2016) y Martínez & Serna (2018) en la escala mensual, han mostrado ser bastantes confiables sobre Colombia para usar en distintas aplicaciones; lo que permitirá ofrecer datos sobre todo el territorio nacional con más confianza que con análisis realizados a través de datos de aproximadamente 700 u 800 estaciones mayormente ubicadas en las regiones Andina y Caribe, que pueden



**Figura 1.** Ejemplo de pronóstico determinista y probabilista generado con la herramienta CPT para la precipitación en un punto de retícula de CHIRPS

Basados en los talleres llevados a cabo el 18 de febrero y el 8 de abril de 2011, dichos centros internacionales de predicción climática desarrollaron una estrategia de implementación colaborativa y coordinada para construir un sistema de predicción que actualmente ofrece predicciones mensuales y estacionales en tiempo real y sirve como guía para los pronosticadores operativos.

El conjunto de modelos dinámicos del NMME que en la actualidad están disponibles tanto en formato GrADS como CPT son los siguientes:

dar un buen resultado local, pero que al interpolar con metodologías que ofrecen los paquetes de sistemas de información geográfica (SIG), generan el efecto conocido como “ojo de buey” y no garantizan buenas predicciones en lugares donde no existen estaciones, tal y como ocurre en el sur de la región Caribe y grandes extensiones de las regiones Pacífica, Orinoquia y Amazonía.

En el campo de la temperatura, IDEAM espera realizar un reticulado de datos con asesoría del IRI dentro del proyecto AcToday a fin de hacer implementaciones similares; pero mientras se logra ello, se continuarán realizando las predicciones con datos de estaciones meteorológicas.

## 2. CONFIGURACIÓN DE LA CPT

Con respecto a las potenciales variables explicativas para predecir la precipitación en Colombia, vale la pena indicar que se han tomado dos (2) áreas explicativas tanto para la temperatura superficial de la mar (TSM) observada del ERSSTv4, como para la climatología de referencia y pronosticada de TSM por los 8 modelos de NMME; la primera ubicada entre las coordenadas geográficas 20°S y 20°N de latitud con 160°W y 60°W de longitud y la segunda entre 30°S y 30°N con 180°W y 20°W con el fin de expresar la influencia que tiene el comportamiento de la TSM tanto del océano Pacífico tropical como del Atlántico tropical sobre las condiciones climáticas del país (Fig. 2).

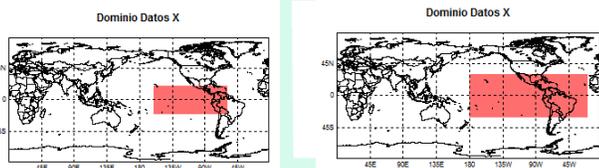


Figura 2. Áreas de la TSM como variable explicativa de la precipitación y temperatura en Colombia.

Cuando se toma como variable explicativa la precipitación del conjunto de modelos del NMME, el área se ubica sobre Colombia, solo que más ampliado para asegurar que las Funciones Empíricas

Ortogonales (EOFs) que usa el Análisis de Correlación Canónica (ACC) no queden “cortadas” evitando problemas en el borde del área de cálculo sobre el país; para ello, la descarga de los datos de precipitación de clima de referencia y pronosticados a 6 meses se realizan sobre el área comprendida entre 15°S y 25°N de latitud y entre 85°W y 55°W de longitud como se presenta en la Fig. 3.

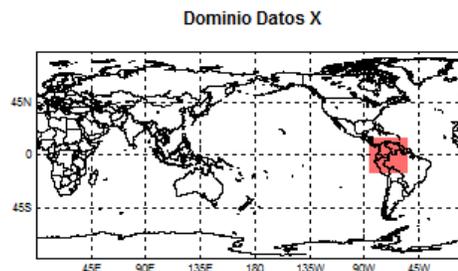


Figura 3. Área de la precipitación (modelada) como variable explicativa de la precipitación en Colombia.

Dentro de la configuración del modelo de Análisis de Correlación Canónica, es importante aclarar que cuando se usa como variable explicativa la temperatura superficial del mar; la variable a explicar, es decir, la precipitación derivada de CHIRPS, se puede tratar como una distribución empírica o una distribución gamma dentro de la herramienta CPT. El IDEAM la hace de las dos formas; no obstante, cuando se usa como variable explicativa la precipitación dada por los modelos del NMME; se ha visto que no hay diferencia significativa en el resultado de la predicción y se ha decidido configurar la variable a explicar, es decir, la precipitación de CHIRPS, transformándola a una distribución gamma teniendo en cuenta que es la distribución a la que más se ajusta la serie de precipitación en Colombia.

Finalmente, es relevante indicar que el diagrama de Scree plot que genera la CPT, sugirió trabajar con 6 modos de variabilidad para las variables explicativas, 7 para las variables a explicar y 5 para el Análisis de Correlación Canónica.

## 3. NÚMERO DE CORRIDAS

Con base en lo anterior, para cada mes de pronóstico se tienen 4 predicciones usando TSM observada del

ERSSTv4; 2 áreas explicativas por 2 formas de tratar los datos de precipitación (gamma y empírica); 8 predicciones usando precipitación pronosticada de los modelos del NMME con una forma de tratar los datos (gamma) y un área explicativa y, 32 predicciones usando TSM pronosticada dada por 8 modelos del NMME, por 2 áreas explicativas y por 2 formas de tratar los datos de precipitación (empírica y gamma); para un total de 44 predicciones por mes. Teniendo en cuenta que el horizonte de predicción son 6 meses, el IDEAM está haciendo 264 realizaciones o corridas mensualmente para el caso de precipitación.

En el caso de la temperatura del aire, se continúa haciendo las 4 predicciones, de forma similar a como se realiza para la precipitación, tomando como variable explicativa, la temperatura superficial del mar de ERSSTv4.

## 4. PROMEDIO PONDERADO

El evaluador para determinar cuáles de estas corridas se incluyen en el promedio ponderado, es el índice de bondad (goodness index), el cual en esta versión debe ser positivo, por lo que los modelos que hayan arrojado un índice de bondad negativo son descartados del promedio ponderado. El peso que se le da de cada modelo, también está dado por dicho índice de bondad, entre mayor sea este valor, mayor será el porcentaje que tendrá su predicción en los cálculos finales; por ejemplo, si tenemos 5 salidas de predicción (ya se sabe que en realidad son 44 por mes) con los siguientes índices bondad:

**Tabla 1.** Cálculo del peso que se da a cada corrida de la CPT para realizar el promedio ponderado

ACC	goodness index	Condional	1/SUMA (del Condional)	PORCENTAJE (%)
Predicción 1	-0,055	0	0,000	0,000
Predicción 2	-0,634	0	0,000	0,000
Predicción 3	0,223	0,223	0,556	55,611
Predicción 4	0,055	0,055	0,137	13,716
Predicción 5	0,123	0,123	0,307	30,673
SUMA		0,401	1	100

La ecuación del promedio ponderado, por ejemplo, para el valor determinístico pronosticado de la precipitación será:  $0.556 * \text{Predicción 3} + 0.137 * \text{Predicción 4} + 0.307 * \text{Predicción 5}$ . Se puede observar que la suma de los coeficientes es igual a 1.

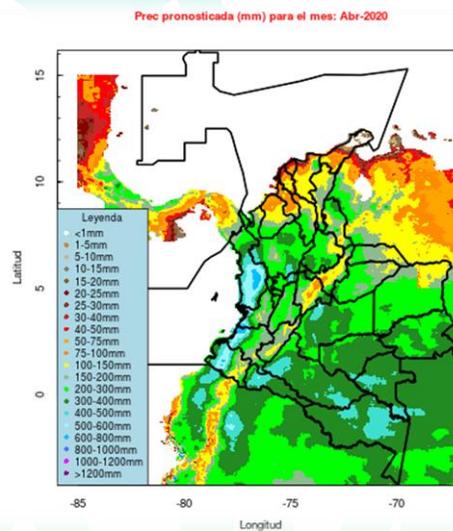
De esta misma forma se observa que la Predicción 3 aporta un ~55% de peso al resultado final de la predicción, mientras que la Predicción 4 solo ~13%.

Para las temperaturas, se hace el mismo tratamiento, pero por ahora sólo se usa las 4 salidas que consideran la TSM observada del ERSSTv4 como predictor.

## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Frente a la interpretación de los títulos que se presentan en el “Informe de Predicción Climática a Corto, Mediano y Largo Plazo” es importante indicar lo siguiente con respecto a la interpretación:

**Prec pronosticada (mm):** se refiere a la precipitación pronosticada por el modelo determinista generado por la herramienta CPT una vez ha realizado la validación cruzada (ver Fig. 4).



**Figura 4.** Ejemplo de precipitación pronosticada para el mes de abril de 2020 (Modelo determinístico). Corresponde a la línea y símbolo “x” de color verde en la Fig. 1 para cada punto de la retícula de 5kmX5km que tiene CHIRPS.

**Prec 1981-2010 (mm):** se refiere a la precipitación calculada dentro del período de referencia 1981-2010, y en el cual nos referimos indistintamente como valores climatológicos o promedios históricos de la precipitación (ver Fig. 5).

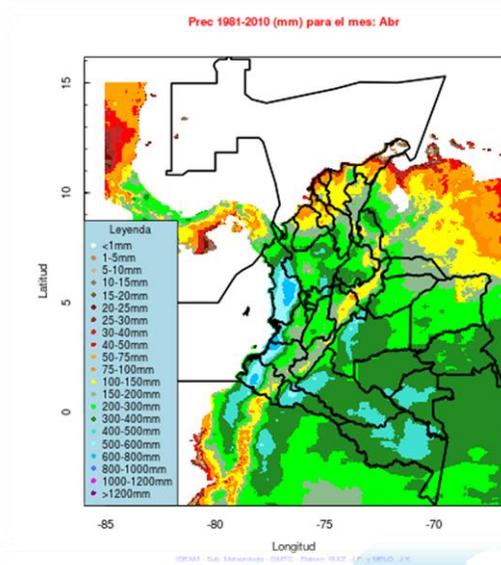


Figura 5. Ejemplo de la precipitación promedio mensual-multianual para el mes de abril (Climatología de referencia 1981-2010).

**Índice de la prec pronosticada (%):** Es el cambio de porcentaje entre lo pronosticado (**Prec pronosticada**) con respecto a la climatología de referencia (**Prec 1981-2010**) (Fig. 6).

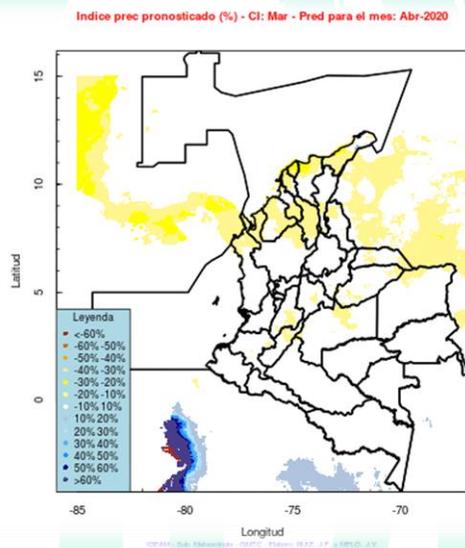


Figura 6. Ejemplo del cálculo del Índice de Precipitación (%) para el mes de abril de 2020. El mapa advierte déficits de lluvia en la región Caribe y algunas zonas de Tolima, Cundinamarca y Llanos Orientales. En el resto del país, el cambio de la precipitación se presentaría entre un  $\pm 10\%$  con respecto a la climatología de referencia.

Valores positivos indican precipitaciones por encima de los valores medios y negativos, por debajo de los mismos.

$$I = 100 * \left( \frac{P_{\text{pronosticada}}}{P_{1981-2010}} \right) - 100 \quad (1)$$

Si el índice es igual a cero, indica que el pronóstico de lluvia es igual a la climatología de referencia.

**Cond más probable (%):** representa la probabilidad de que los valores de precipitación se presenten dentro de lo normal, por encima de lo normal y por debajo de lo normal (Fig. 7). De acuerdo con [Martínez & Serna \(2018\)](#), para Colombia, los valores normales de una serie de tiempo de precipitación mensual son aquellos que se encuentran entre el percentil 40 y el percentil 60. Los percentiles 10, 40, 50 (o media), 60 y 90, para los 12 meses del año, se presentan en las Figs. 8 al 11.

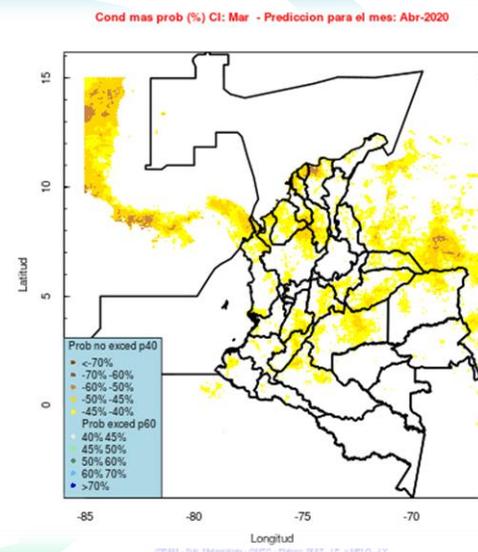


Figura 7. Ejemplo de la condición más probable para el mes de abril de 2020. Se observa en colores amarillos, que se espera que haya una mayor probabilidad de que se presenten valores de precipitación por debajo de lo normal, es decir, valores menores al percentil 40. En color blanco indica que lo más probable es que los valores de precipitación se presenten dentro de lo normal, es decir, entre el percentil 40 y 60.

Por lo anterior, el índice de precipitación no representa necesariamente esta situación ya que existen estaciones con valores medios de precipitación muy similares, pero con una distribución de datos diferentes (leptocúrticas, mesocúrticas y platicúrticas); por lo tanto, habrá un mayor rango de valores probables de lluvia en una distribución platicúrtica que en una leptocúrtica. Esto es válido en la CPT, ya que todos los análisis de probabilidad se realizan bajo un “universo” gaussiano.

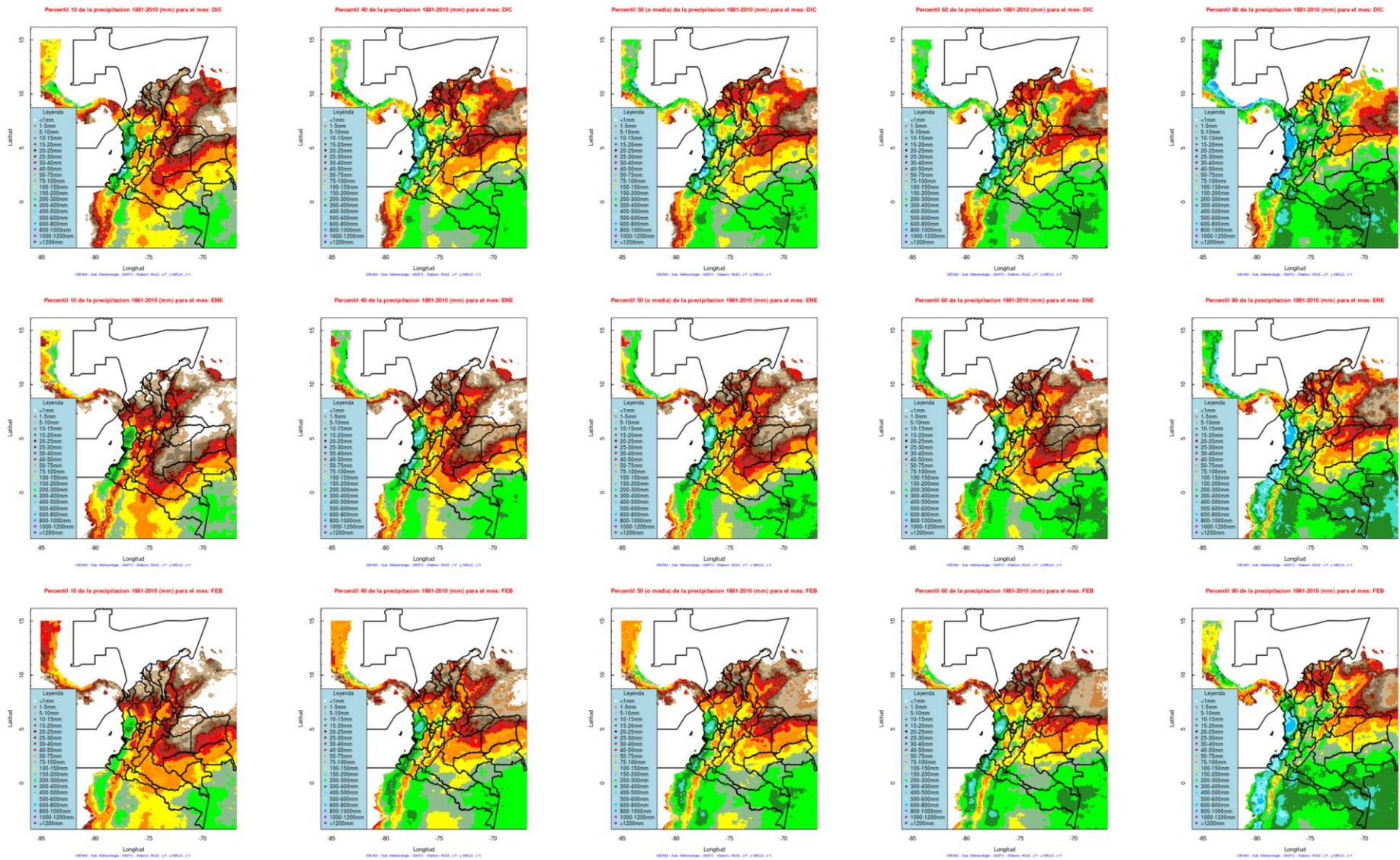


Figura 8. Percentiles 10, 40, 50, 60 y 90 (de izquierda a derecha) para los meses de diciembre, enero y febrero (de arriba hacia abajo) (Climatología 1981-2010)

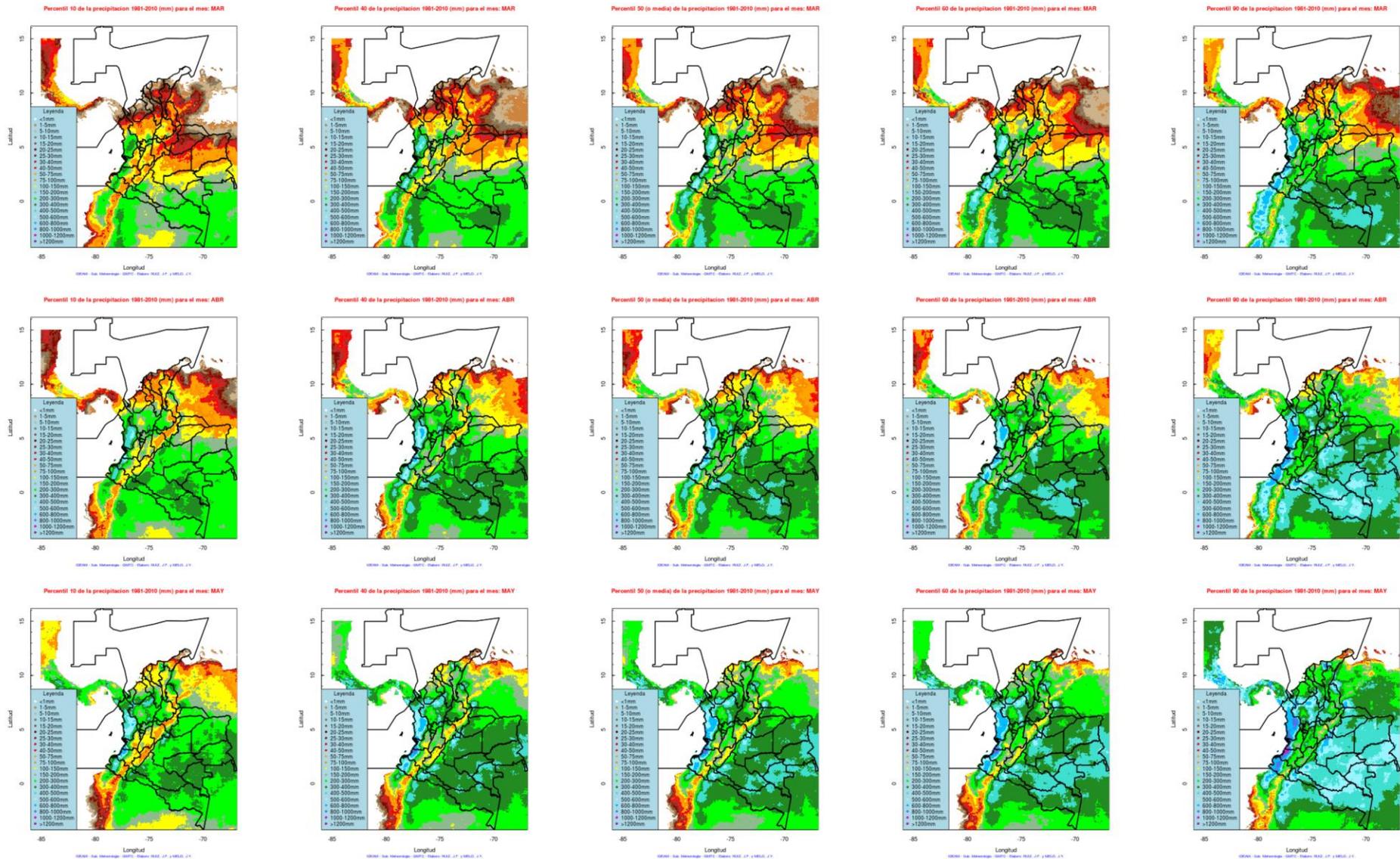


Figura 9. Percentiles 10, 40, 50, 60 y 90 (de izquierda a derecha) para los meses de marzo, abril y mayo (de arriba hacia abajo) (Climatología 1981-2010)

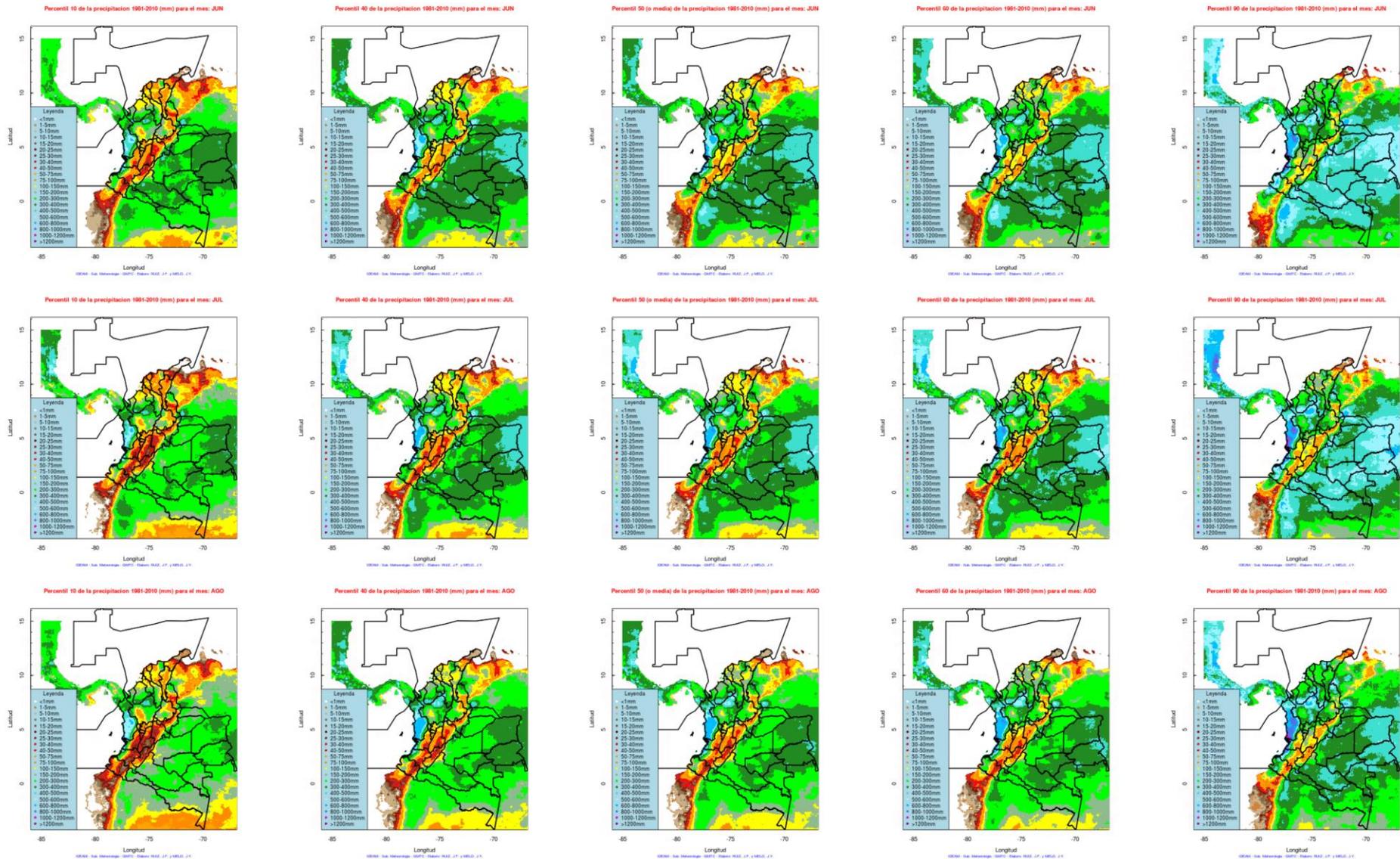


Figura 10. Percentiles 10, 40, 50, 60 y 90 (de izquierda a derecha) para los meses de junio, julio y agosto (de arriba hacia abajo) (Climatología 1981-2010)

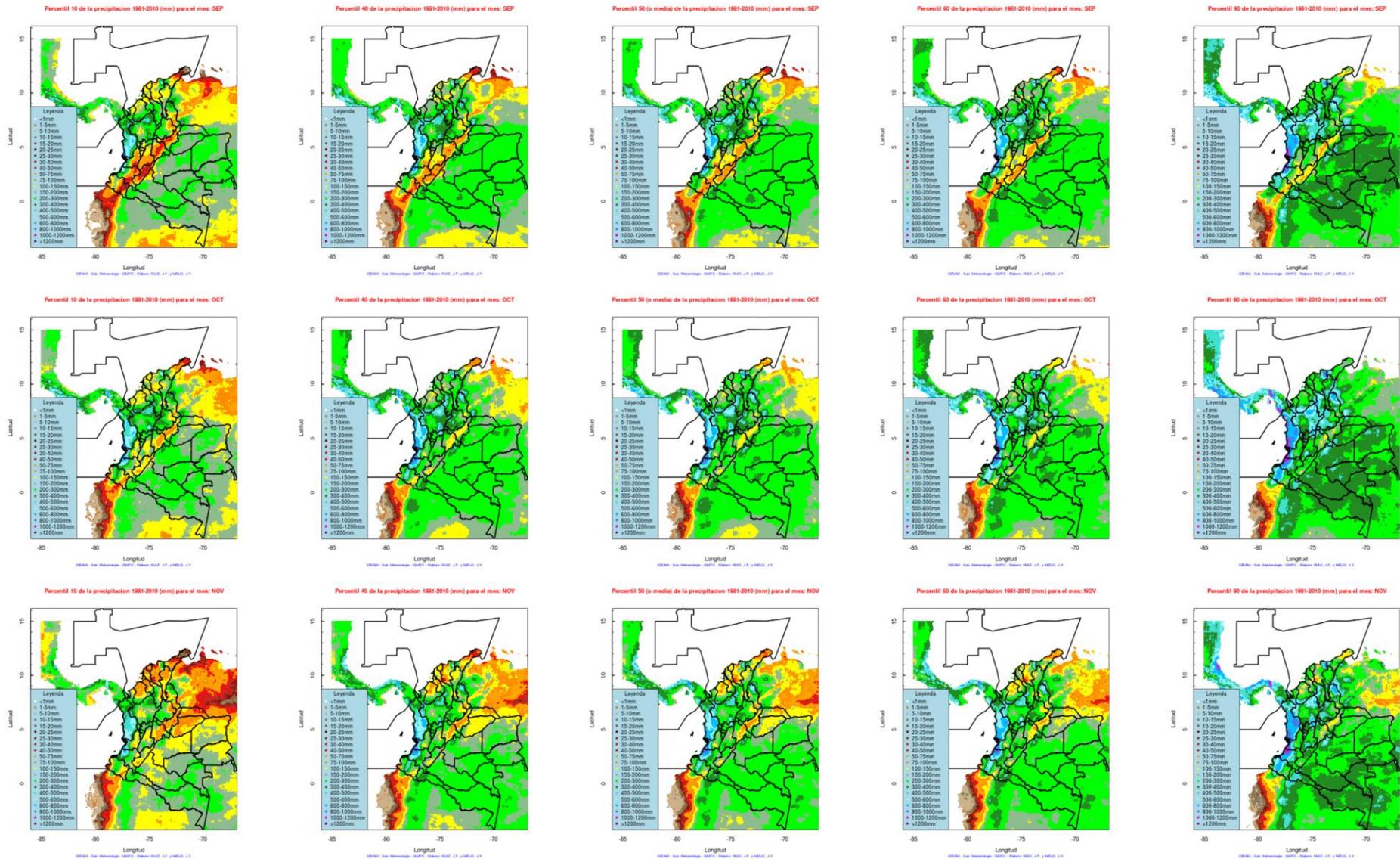
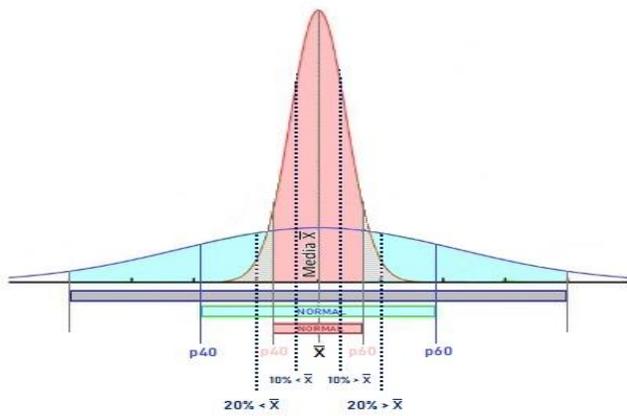


Figura 11. Percentiles 10, 40, 50, 60 y 90 (de izquierda a derecha) para los meses de septiembre, octubre y noviembre (de arriba hacia abajo) (Climatología 1981-2010)



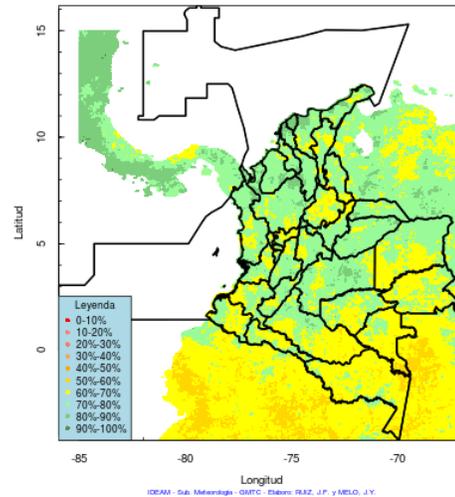
Por dicha razón, es importante tener claro que una precipitación pronosticada por encima de los promedios históricos, no indica precisamente que se presente por encima de lo normal; ya que no necesariamente dicho valor determinístico pronosticado de la precipitación, va a ser igual o mayor al valor del percentil 60, así haya superado, por ejemplo, en un +10% o +20% su valor con respecto a la climatología de referencia; lo mismo es válido para valores de precipitación por debajo de lo normal y que presenten valores determinísticos pronosticados por debajo de la climatología de referencia; como se trata de explicar en la Fig. 12.



**Figura 12.** En este ejemplo “exagerado”, donde el valor medio es el mismo para ambas distribuciones (2 estaciones pluviométricas o puntos de CHIRPS), se puede ver como el valor de  $\pm 20\%$ , con respecto al valor climatológico, para la distribución platicúrtica (azul) queda dentro de valores normales (entre los percentiles 40 y 60); mientras que, para la distribución leptocúrtica (roja) corresponde a valores por debajo y por encima de lo normal (por debajo del percentil 40 y por encima del percentil 60).

**Prob(%) que se de valor prec pronos:** Es la probabilidad de que el valor de la precipitación pronosticada (**Prec pronosticada**) se presente. En pocas palabras es buscar la probabilidad de que el percentil 50 en la PDF (Función de densidad de probabilidad) se cumpla. (ver Fig. 13)

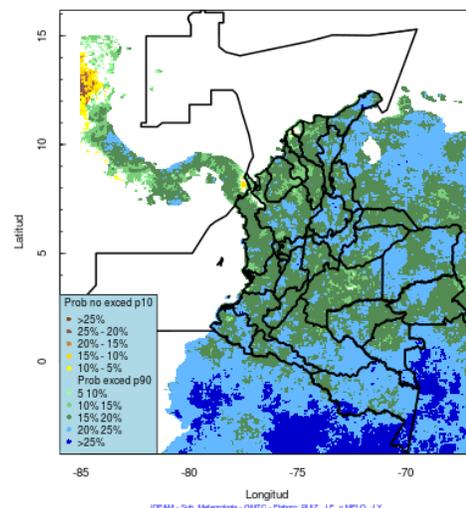
Prob(%) que se de valor prec pronos CI: Mar - Predicción para el mes: Abr-2020



**Figura 13.** Ejemplo de la probabilidad de que se presente el valor determinístico de la Fig. 4.

**Prob(%) eventos extremos prec pronos:** Son los análisis correspondientes a los extremos de la distribución gaussiana; por ende, corresponden al análisis de eventos extremos. En este sentido, se calcula la probabilidad de no excedencia del percentil 10 de la precipitación para identificar déficits de lluvias y de excedencia del percentil 90 para identificar el comportamiento de las lluvias fuertes (Fig. 14).

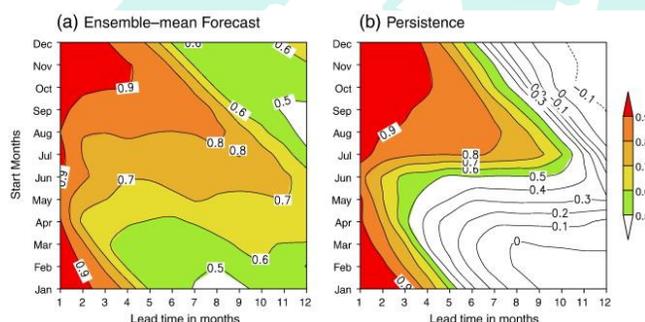
Prob(%) eventos extremos prec - CI: Mar - Predicción para el mes: Abr-2020



**Figura 14.** Ejemplo de probabilidad que no excede el percentil 10 de precipitación y de excedencia del percentil 90 para identificar eventos extremos. Lo normal en una distribución gaussiana es que la probabilidad para dichos percentiles esté cerca al 15% por ello es importante revisar lugares donde la CPT pronostique valores por encima de 15% para estos percentiles.

Para el caso de la temperatura del aire, solo se presenta la anomalía; es decir la diferencia entre los pronosticado y el clima de referencia.

Finalmente, es importante indicar que la habilidad de predicción de los modelos depende de la época del año; en particular, una de las razones por las cuales se dice que existe la "barrera de previsibilidad de la primavera", es porque la primavera es una época de transición del año para ENOS y, como la mayoría de las barreras, presenta desafíos adicionales para ir más allá (ver Fig. 15). A menudo, los eventos de El Niño/La Niña están decayendo después de su pico invernal, a veces pasando por su fase Neutral, antes de llegar a El Niño/La Niña más adelante en el año; por lo que es más difícil predecir el inicio o el final de un evento, que predecir un evento que ya está ocurriendo, más aún cuando los procesos de interacción océano-atmósfera son más débiles en ésta época del año, debido a una reducción en los gradientes de TSM promedio o climatológicos en el Océano Pacífico tropical.



**Figura 15.** Habilidad de los modelos para realizar predicción climática. En el eje vertical, el mes de inicio; en el eje horizontal, el horizonte de predicción. Se observa como hacia los meses de abril y mayo (primavera del hemisferio norte) las correlaciones disminuyen con respecto a otros meses bajo los métodos utilizados por la comunidad científica internacional: Ensamblados de pronósticos y Persistencia. (Zheng & Zhu; 2010)

## BIBLIOGRAFIA

Fei Zhenga & Jiang Zhub, 2010: *Spring predictability barrier of ENSO events from the perspective of an ensemble prediction system*. Global and Planetary Change. Volume 72, Issue 3, June 2010, Pages 108-117.

Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M. et al. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. Sci

Data 2, 150066 (2015). Recuperado de: <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>.

Huang, B., V.F. Banzon, E. Freeman, J. Lawrimore, W. Liu, T.C. Peterson, T.M. Smith, P.W. Thorne, S.D. Woodruff, and H.-M. Zhang, 2014: Extended Reconstructed Sea Surface Temperature version 4 (ERSST.v4): Part I. Upgrades and intercomparisons. Journal of Climate, 28, 911–930, doi:10.1175/JCLI-D-14-00006.1.

Kirtman, B.P., D. Min, J.M. Infanti, J.L. Kinter, D.A. Paolino, Q. Zhang, H. van den Dool, S. Saha, M.P. Mendez, E. Becker, P. Peng, P. Tripp, J. Huang, D.G. DeWitt, M.K. Tippett, A.G. Barnston, S. Li, A. Rosati, S.D. Schubert, M. Rienecker, M. Suarez, Z.E. Li, J. Marshak, Y. Lim, J. Tribbia, K. Pegion, W.J. Merryfield, B. Denis, and E.F. Wood, 2014: The North American Multimodel Ensemble: Phase-1 Seasonal-to-Interannual Prediction; Phase-2 toward Developing Intraseasonal Prediction. Bull. Amer. Meteor. Soc., 95, 585–601, recuperado de: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00050.1>

Martínez Pedraza., Alexander & Serna Cuenca., Julieta, 2018: Propuesta de umbrales de normalidad basada en las funciones de distribución de las series de datos y análisis de eventos de extremos para las variables meteorológicas: precipitación, número de días con lluvia y la temperatura mínima, media y máxima. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Subdirección de Meteorología. NOTA TÉCNICA DEL IDEAM. IDEAM–METEO/001-2018. Bogotá – Colombia.

\_\_\_\_\_, 2018: Validación de las estimaciones de precipitación con CHIRPS e IRE. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Subdirección de Meteorología. NOTA TÉCNICA DEL IDEAM. IDEAM–METEO/002-2018. Bogotá – Colombia.

Urrea, V., Ochoa, A. & Mesa, O., 2016. Validación de la base de datos de precipitación CHIRPS para Colombia a escala diaria, mensual y anual en el período 1981-2014. XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Lima, Perú, 28 Al 30 de septiembre De 2016. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Colombia.