

# **VALIDACION DE LOS PRONOSTICOS DE PRECIPITACIÓN CON LOS MODELOS GFS, MM5, WRF, CMM5 Y CWRF SOBRE EL TERRITORIO COLOMBIANO.**

**Sandra Mejia H, José Franklyn Ruíz M.  
Subdirección de Meteorología IDEAM**

## **RESUMEN**

Con el objeto de identificar y establecer cuál de los modelos operacionales disponibles en el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM logra identificar de manera aceptable los patrones de comportamiento de las variables precipitación, se realizó la validación estadística de los resultados obtenidos por los modelos de simulación numérica del tiempo GFS, MM5 y WRF y los modelos de Clima CMM5 y CWRF sobre el territorio Colombiano durante los años 2010, 2011 y 2012. Para lo cual se contó con los datos de observaciones de las estaciones meteorológicas que conforman la red operativa de alertas hidrometeorológicas. A través de diagramas de Taylor se muestran los estadísticos RMSE, desviación estándar y correlación. En particular, el modelo GFS, para pronóstico de tiempo y el CWRF para predicción climática, presentaron los menores errores en la representación de la precipitación analizada.

Palabras clave: Validación, modelos meteorológicos.

## **ABSTRACT**

In order to identify and establish which of operational models available at the Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies IDEAM acceptably can identify behavior patterns of precipitation and temperature variables, we performed the statistical validation of the results obtained by numerical simulation models on Colombian territory during the years 2010, 2011 and 2012. For which data were available from observations of the weather stations operating in the network of weather warnings. Through Taylor diagrams show the statistical RMSE, standard deviation and correlation. In particular, the GFS, to pronóstico of weather and CWRF for climate prediction, had the lowest errors in the representation of the analyzed precipitation.

Palabras clave: Validation, meteorological models.

## 1. INTRODUCCION

Este trabajo mostrará el análisis de la comparación de los resultados obtenidos con la aplicación de los modelos de tiempo GFS, MM5, WRF y de clima CMM5, CWRf, y los valores de las observaciones meteorológicas que conforman la red operativa de alertas hidrometeorológicas sobre todo el territorio colombiano.

El objetivo de realizar validaciones se centra en dos razones:

1. Evaluar y cuantificar la habilidad del pronóstico y la predicción.
2. Al menos identificar el valor del error sistemático.

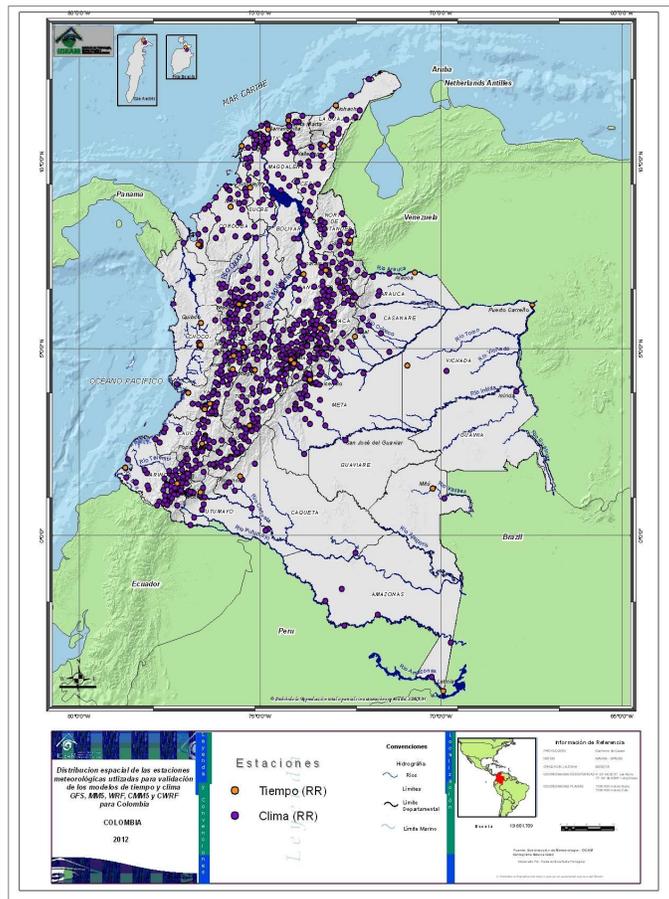
Es importante mencionar que las palabras verificación y validación corresponden a procesos de comprobación y análisis respectivamente. La verificación del pronóstico es el proceso de determinar la calidad de pronósticos. Este proceso quizás mejor se ha desarrollado en las ciencias atmosféricas, aunque paralelo los progresos han ocurrido dentro de otras disciplinas también (e.g., Stephenson y Jolliffe, 2003), donde la actividad a veces se llama validación, o evaluación. La verificación nos permite identificar en este caso si los modelos resuelven los procesos físicos de la atmosfera, mientras que la validación nos permite comprobar que los resultados de los modelos son coherentes con el comportamiento de las variables analizadas.

Para la validación del modelo se utilizaron técnicas estadísticas empleadas por varios autores entre ellos Brooks y Doswell (1996) y Wilks (2006). Los estadísticos utilizados son: el error cuadrático medio (RMSE), la desviación estándar (DV) y correlación (CORR), a través de la construcción de diagramas de Taylor en los cuales se resumen de manera trimestral los resultados de los modelos y permite constatar lo complejo que resulta para los modelos de simulación numérica, identificar el patrón de comportamiento de la variable precipitación sobre nuestro territorio. De los tres modelos analizados para pronóstico del tiempo en las ciudades principales del país, el GFS logra los menores errores aunque estos resultados difieren de manera importante del patrón de lluvias y de los dos modelos analizados para clima, el CWRf logra representar de manera aceptable el comportamiento de la precipitación en el país.

## 2. MATERIALES Y METÓDOS

### 2.1. Área de estudio

Para la validación de los modelos de tiempo GFS, MM5 y WRF el área de estudio correspondió al territorio colombiano, tomando como referencia 42 Estaciones meteorológicas del IDEAM sobre las cuales se realiza el reporte diario del estado del tiempo, correspondiente a los aeropuertos y ciudades capitales del país y aproximadamente 100 estaciones que corresponden a la red nacional para cambio climático con la cual se analizaron resultados para los CMM5 y CWRF. La validación para cada uno de los casos se realizó de manera mensual a partir de enero de 2010 hasta septiembre de 2012.



Mapa 1 Localización de estaciones meteorológicas en los aeropuertos de Colombia y principales ciudades del país.

## 2.2. Datos utilizados

1. Para el desarrollo del presente trabajo se utilizaron datos diarios acumulados de las observaciones de precipitación en 24 horas, los promedios mensuales, datos diarios de temperaturas media, máxima y mínima; y los promedios mensuales de las estas desde el mes de enero de 2010 hasta septiembre de 2012. Se crearon bases de datos mensuales con los resultados de los modelos. Se construyeron scripts en bash para lograr las interpolaciones entre modelo y observación.

**Tabla 1.** Listado de las estaciones meteorológicas seleccionadas dentro del territorio colombiano para cada uno de los modelos validados.

MODELO	No. ESTACIONES ANALIZADAS	PERIODO DE ESTUDIO
GFS	42	NOV 2009 - SEP 2012
MM5	42	NOV 2009 - SEP 2012
WRF	42	NOV 2009 - SEP 2012
CMM5	100	OCT 2010 - SEP 2012
CWRF	100	OCT 2010 - SEP 2012

Los datos correspondientes a las salidas de los modelos GFS MM5, WRF, CMM5 y CWRF fueron suministrados por la subdirección de meteorología del IDEAM, con límites de grilla (Longitud entre -65W,-85W y Latitudes entre -5S,15N) y espaciamiento de 20 kilómetros.

## 3. METODOLOGIA

### 3.1. Diagramas de Taylor

Se utilizaron los diagramas de Taylor para graficar el resumen de los resultados de los estadísticos (RMSE, desviación estándar y correlación) de manera trimestral para todos los modelos, puesto que este tipo de diagrama permite agrupar varios indicadores (Taylor, 2001). En el caso de los modelos para análisis del clima se realizó una división por regiones para la muestra de los resultados, primero se muestra el análisis espacial sobre el territorio colombiano y luego la división de estos en tres zonas: Z1 corresponde a la zona norte del país, Z2 al Pacífico colombiano y Z3 que cubre la zona andina. Para las zonas de Amazonía y la Orinoquia Desafortunadamente no se contó con suficiente información para los análisis finales.

RMSE (muestra el error total del modelo): corresponde al cálculo de la raíz cuadrada del promedio de las diferencias cuadradas de cada una de los valores del pronóstico ( $f_n$ ) y la observación ( $O_n$ ). Este cálculo permite ponderar los errores positivos y negativos, por lo cual en él están incluidos los errores sistemáticos y aleatorios de los modelos.

$$\left[ \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (f_n - o_n)^2 \right]^{1/2}$$

Fuente: [http://www.meted.ucar.edu/nwp/model\\_derivedproducts/navmenu.php?tab=1&page=4.4.0](http://www.meted.ucar.edu/nwp/model_derivedproducts/navmenu.php?tab=1&page=4.4.0)

Donde

$F_n$  corresponde al valor de la predicción,

$o_n$  es el valor de la observación y

$N$ , es el número total de la muestra.

Desviación Estandar: corresponde a la raíz cuadrada de la diferencia media cuadrática entre el error de pronóstico ( $e_n = f_n - o_n$ ) y el error de pronóstico promedio ( $\bar{e}$ ). Se utiliza para medir la cantidad de variabilidad en el pronóstico de variables meteorológicas. Cuanto mayor sea el valor de la SD, mayor será la variabilidad del pronóstico.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^N (e_n - \bar{e})^2}$$

Donde  $e_n$ = Error de la predicción,

$N$ , es el número total de la muestra.

Correlación: Nos permite establecer la relación lineal entre los modelos utilizados y la observación y está acotada entre -1 y 1.

$$R = \frac{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (f_n - \bar{f})(o_n - \bar{o})}{\sigma_f \sigma_r}$$

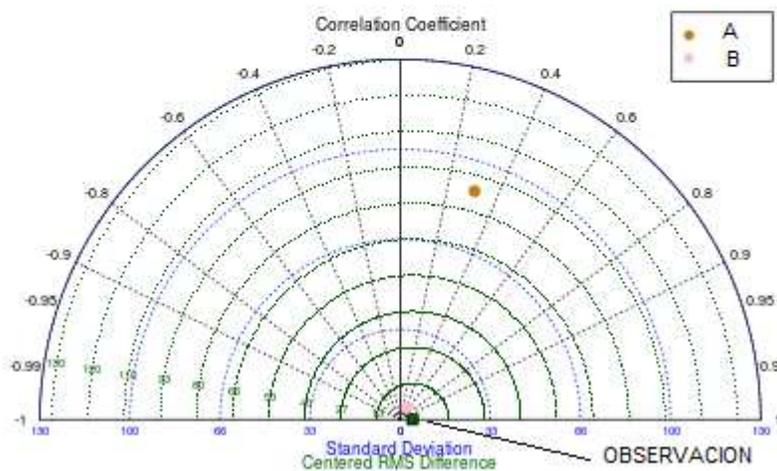
$F_n$  corresponde al valor de la predicción,

$o_n$  es el valor de la observación y

$N$ , es el número total de la muestra.

Para la construcción de los diagramas de Taylor se utilizaron con los promedios mensuales de la variable precipitación resultantes de los modelos y la observación. Para el análisis de la predicción climática se realizaron diagramas con toda la información a nivel nacional y luego se realizó la división de la información en 3 de las 5 zonas naturales del país: Z1 Caribe, Z2 Pacífico y Z3 área Andina. El diagrama de Taylor integra los estadísticos mencionados en una gráfica como la que se muestra de ejemplo a continuación:

### Taylor Diagram



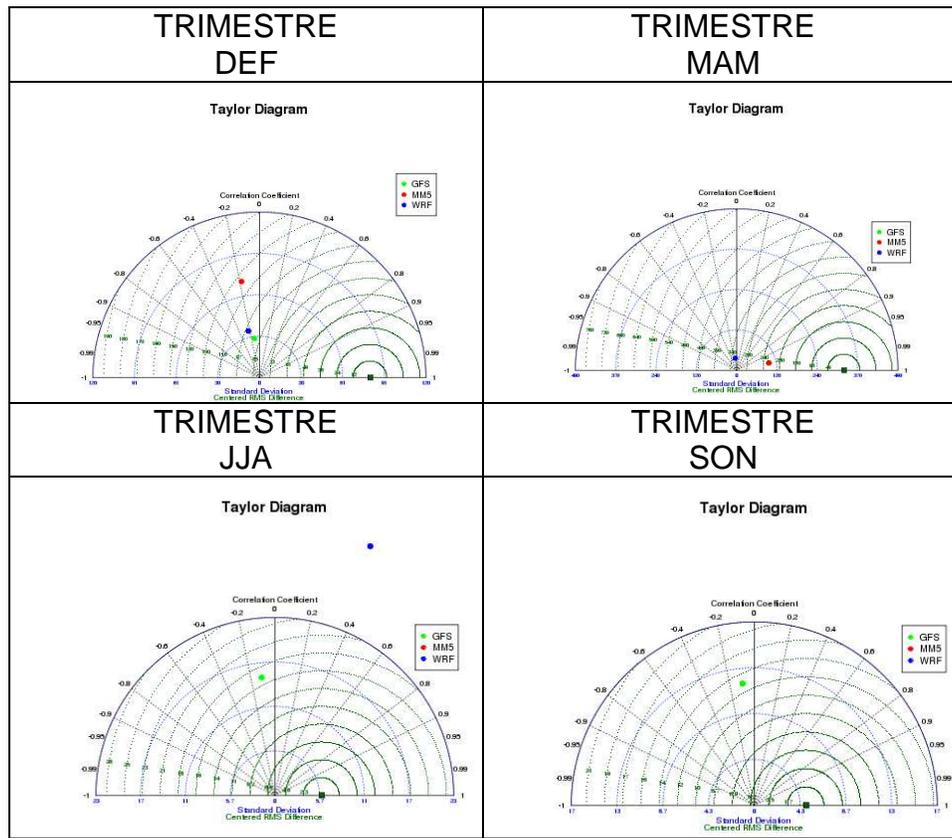
**Figura 1.** Diagrama de Taylor

De manera bidimensional sobre los ejes “X” y “Y” se muestra el resultado de la desviación estándar, para este ejemplo la observación presenta una desviación estándar de 0.9 y está representada por la línea negra interna en el área del gráfico; en la parte externa del gráfico se muestra la escala de la correlación, iniciando el menor valor desde la parte superior del gráfico, aumentando en el sentido de giro de las manecillas del reloj hacia el eje “X” y el RMSE de los modelos corresponde a 5.9 para el modelo A y 6.3 aproximadamente para el modelo B (anillos grises). De acuerdo con los resultados graficados el modelo A representado por el punto de color café muestra una correlación de 0,37 respecto de la observación, mientras que el modelo B registra una correlación de 0.4.

Cuando un modelo se acerca a la línea negra y al círculo o punto que representa la observación localizado en el eje “X” indica que este tiene una correlación relativamente alta y un error cuadrático medio (RMSE) bajo.

## 4. RESULTADOS

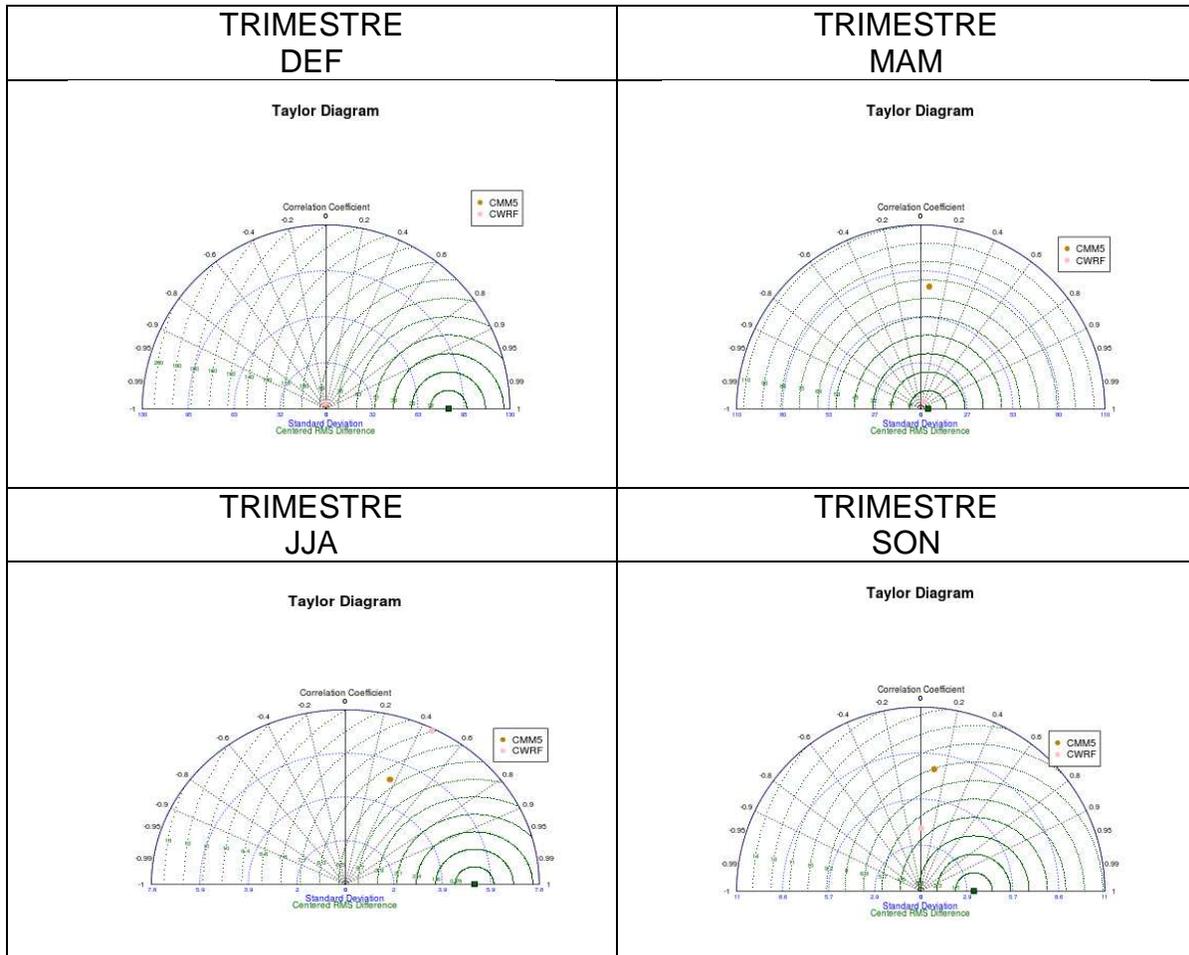
### 4.1. Diagramas de Taylor para los modelos de tiempo GFS, MM5 y WRF



**Figura 2.** Diagramas de Taylor del pronóstico de tiempo sobre 42 ciudades principales del territorio nacional en los trimestres DEF, MAM, JJA Y SON.

En los diagramas se puede apreciar que las correlaciones de los modelos GFS, MM5 y WRF son generalmente negativas, excepto la mostrada en el trimestre MAM con el modelo MM5 que esta por encima de 0.9 de correlación, sin embargo los modelos de manera general no logran representar la variabilidad espacial de la precipitación. El modelo GFS a pesar de mostrar correlaciones negativas es el que muestra los menores errores.

#### 4.2. Diagramas de Taylor para CMM5 y CWRf sobre el territorio nacional.



**Figura 3.** Diagramas de Taylor predicción climática sobre el territorio nacional en los trimestres DEF, MAM, JJA Y SON.

El mejor trimestre representado por los modelos es MAM, el modelo CWRf muestra una correlación no muy alta (0.5) y desviación estándar muy cercana a la observada, lo cual indica que el modelo representa la variación de la precipitación de manera coherente con la observación. Para el trimestre JJA el modelo CWRf muestra una correlación de 0.43 a pesar de no representar bien la variabilidad de la precipitación. El trimestre SON muestra que los modelos no logran una buena representación de la precipitación, en este caso el modelo MM5 logra los menores errores. Por último el trimestre en el cual los modelos no lograron representar el patrón de lluvias corresponde a DEF.

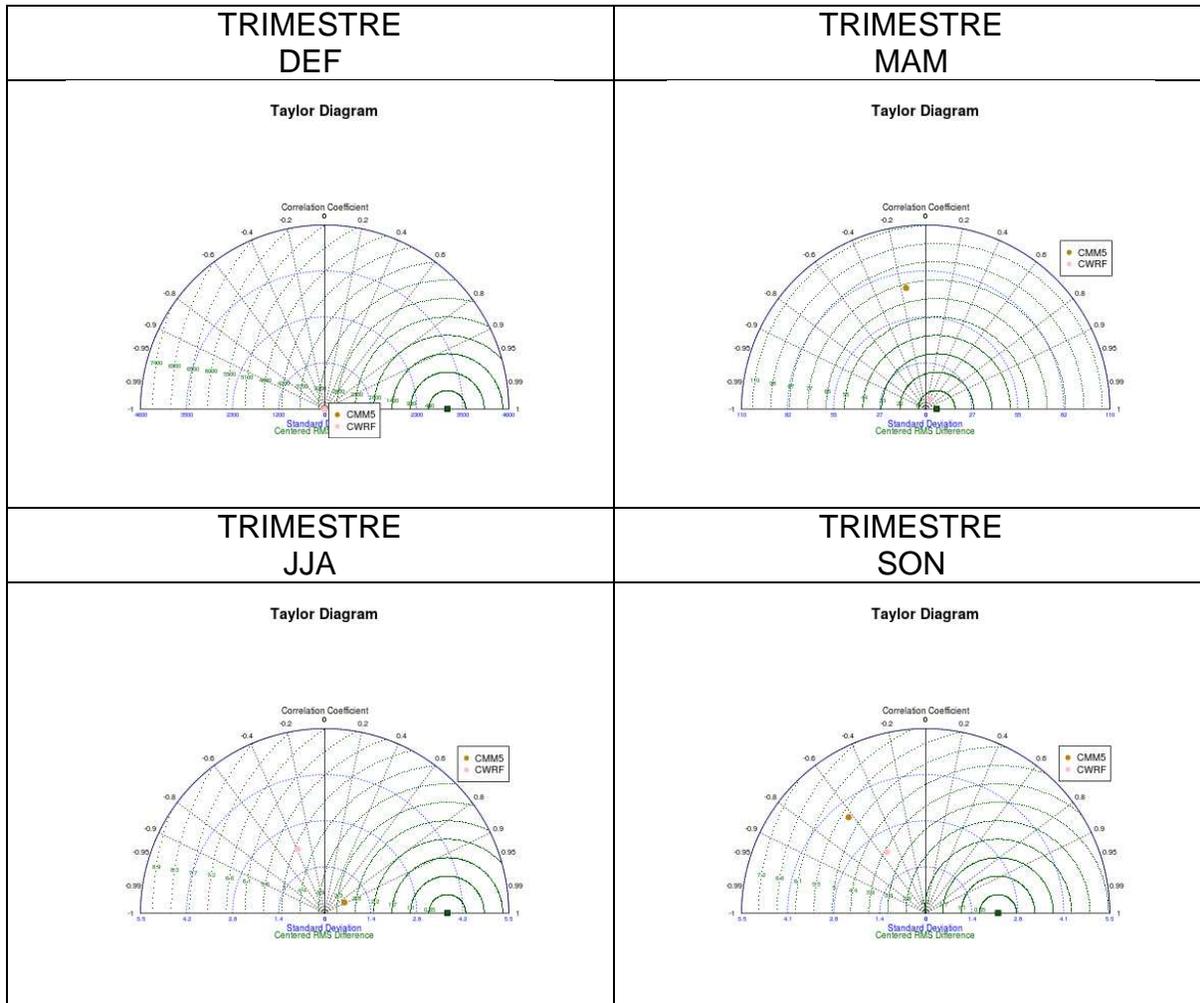
### 4.3. Diagramas de Taylor para CMM5 y CWRf para Z1



**Figura 4.** Diagramas de Taylor predicción climática para Z1 en los trimestres DEF, MAM, JJA Y SON.

En esta zona la mejor representación de la precipitación la muestran los modelos en el trimestre MAM y los menores errores los registra el modelo CWRf con una correlación de 0.40. Luego en el trimestre JJA nuevamente el modelo CWRf muestra los menores errores, la correlación es de 0.5. Para el trimestre SON el modelo CMM5 muestra una correlación de 0.18 respecto a la de CWRf que es de 0.02 aproximadamente. Nuevamente el trimestre que no logra ser representado por los modelos para la Z1 es DEF.

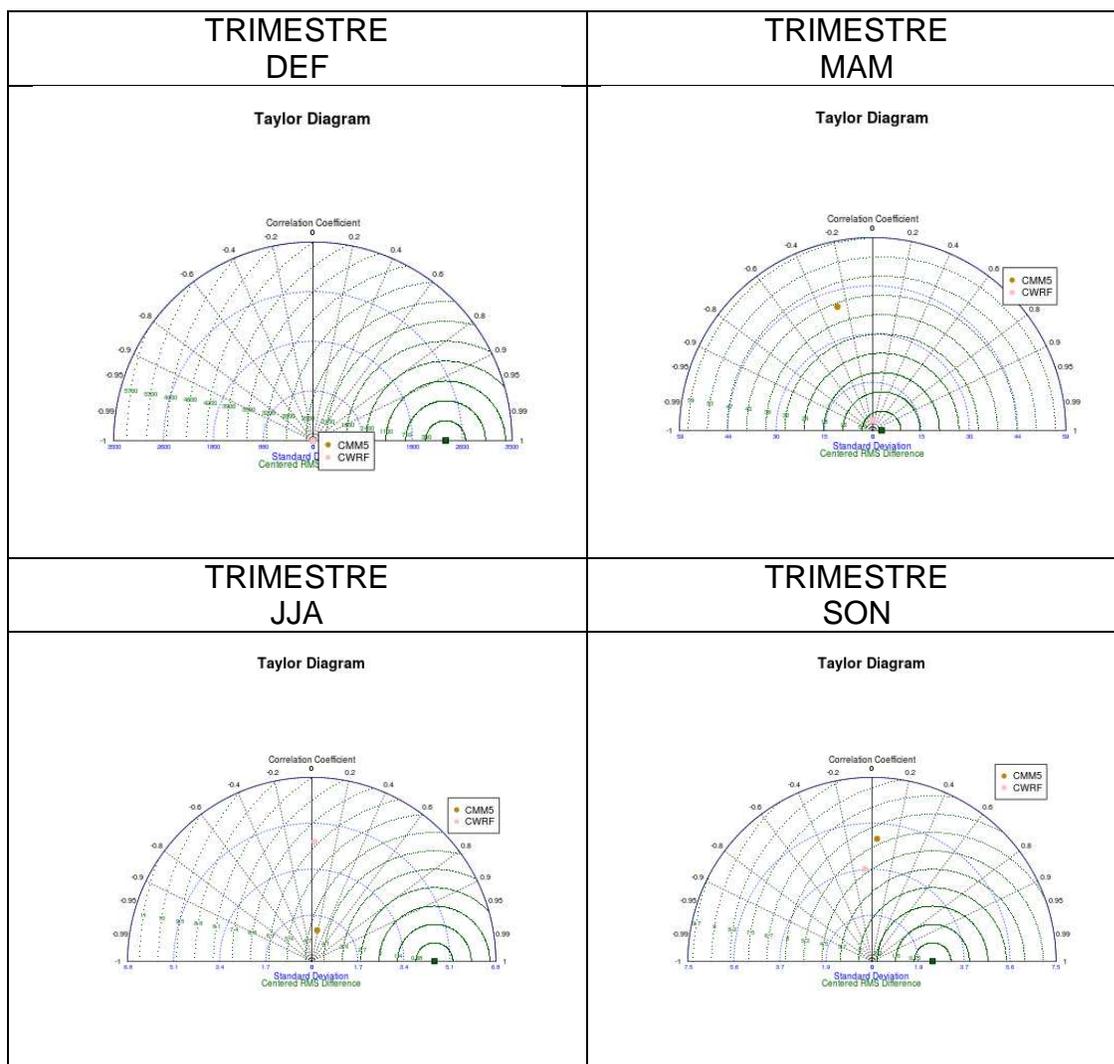
#### 4.4. Diagramas de Taylor para CMM5 y CWRf para Z2



**Figura 5.** Diagramas de Taylor predicción climática para Z2 en los trimestres DEF, MAM, JJA Y SON.

Para la zona 2 los modelos de clima presentan algunas correlaciones negativas. El mejor trimestre representado es MAM por el modelo CWRf con una correlación de 0.4. En el trimestre JJA el modelo que mejor logra resultados es el CMM5 con una correlación de 0.8 a pesar de no identificar la variabilidad de la precipitación respecto de la observación ya que la desviación estándar es de 5.6. Los modelos no logran buenas representaciones de la variable precipitación para los trimestres SON y DEF en esta zona.

#### 4.5. Diagramas de Taylor para CMM5 y CWRf para Z3



**Figura 6.** Diagramas de Taylor predicción climática para Z3 en los trimestres DEF, MAM, JJA Y SON.

En esta tercera zona los modelos no logran resultados destacados, solo en MAM el modelo CWRf muestra una correlación cercana a la observación. En esta zona los modelos para los trimestres DEF, JJA, y SON no logran representar la precipitación y obtienen correlaciones negativas.

## **5. CONCLUSIONES**

El modelo global GFS muestra que a pesar de registrar correlaciones negativas, logra una representación más cercana de la variable para pronósticos de tiempo.

El modelo MM5 logra para el trimestre MAM el mejor pronóstico de tiempo.

El mejor trimestre representado por los modelos de clima es MAM, siendo el modelo CWRF el que menores errores presenta.

En el trimestre SON el modelo CMM5 logra los menores errores.

De manera general el trimestre en el cual los modelos CMM5 y CWRF registran los mayores errores es DEF.

Al dividir el análisis en tres zonas se evidencia que el modelo CWRF representa de manera aceptable el patrón de las observaciones.

En la zona Caribe, la mejor representación de la precipitación la muestra el modelo CWRF en los trimestres de MAM y JJA. El modelo CMM5 muestra los menores errores en el trimestre SON.

En la zona Pacífica, el trimestre MAM es el mejor representado por el modelo CWRF y el trimestre JJA por el modelo CMM5. No se logran buenos resultados por los modelos para los trimestres DEF y SON.

En la zona Andina, solo para el trimestre MAM el modelo CWRF logra los menores errores. En los trimestres DEF, JJA y SON los modelos de clima sobre esta zona, no logran representar el patrón de la precipitación.

## **AGRADECIMIENTOS**

Se hace un reconcomiendo a la subdirección de meteorología del IDEAM por el apoyo recibido, con lo cual se hizo posible la realización de esta nota técnica; en especial al Ingeniero de Sistemas Guillermo Armenta y al Físico Alexander Rojas quienes a través de sus desarrollos informáticos y scripts facilitaron la organización y generación de los resultados aquí presentados.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Brooks, H. E., and C. A. Doswell III, 1996: A comparison of measures-oriented and distributions-oriented approaches to forecast verification. *Wea. Forecasting*, 11, 288-303.

Jolliffe, I.T. and D.B. Stephenson, 2003. *Forecast Verification: A Practitioner's Guide in Atmospheric Science*. Wiley Press, USA., ISBN: 978-0-471-49759-2.

Taylor, 2001. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 106, NO. D7, P. 7183, 2001. doi:10.1029/2000JD900719

Wilks, D.S., 2006. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. 2nd Edn., Academic Press, San Diego, ISBN-10: 0-12-751066-1.