

CUBAGUA 2017

ANÁLISIS DE TENDENCIAS EN CURVAS IDF EN COLOMBIA

**Erasmus Rodríguez, Edgar Villarreal, Albeiro Figueroa, Alexander Villamizar,
David Zamora, Sergio Fúquene, Carlos Fuentes, Juan Suárez, Marlon Molina,
Leonardo Albornoz**

Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá

earodriguezs@unal.edu.co

Resumen

Las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) constituyen un insumo básico para el planeamiento, diseño y operación de diversos tipos de infraestructura, incluyendo alcantarillados, estructuras de control de inundaciones, estructuras de control de erosión y de drenaje, entre otros. Varios estudios (Losada (2015), New, et al. (2006), Groissman et al. (2011), Sen et al. (2013)), reportan que en diversas latitudes las intensidades de las tormentas se están incrementando, lo que implicaría la necesidad de revisar los métodos de diseño hidrológico actuales, verificar la infraestructura existente, diseñada con unas condiciones que continuamente han venido cambiando y analizar posibles tendencias en las curvas IDF. A este respecto, y a través de un proyecto financiado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en Colombia, se han actualizado al año 2010, 110 curvas IDF en el país evaluando las tendencias en las mismas. Los resultados son mixtos, mostrando aumentos en las intensidades para algunas estaciones y disminuciones en otras. Sin embargo, se ha hallado que consistentemente las tendencias son mayoritariamente de incremento para las duraciones más cortas (15 y 30 minutos) y de disminución para las duraciones mayores de 30 minutos. Se ha encontrado adicionalmente que las tendencias halladas son en parte debidas al diferente procesamiento de la información para las series existentes y actualizadas.

CUBAGUA 2017

ANÁLISIS DE TENDENCIAS EN CURVAS IDF EN COLOMBIA

**Erasmus Rodríguez, Edgar Villarreal, Albeiro Figueroa, Alexander Villamizar,
David Zamora, Sergio Fúquene, Carlos Fuentes, Juan Suárez, Marlon Molina,
Leonardo Albornoz**

Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá

earodriguezs@unal.edu.co

I. Introducción

Las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) sintetizan la información de tormentas de corta duración sobre un punto particular del espacio e indican la probabilidad (o su inverso, el período de retorno) de que una lluvia de intensidad y duración dadas ocurra.

El proceso semi-empírico para la obtención de las curvas IDF, con base en registros pluviográficos, se encuentra bastante estandarizado en la literatura. A partir de registros de pluviogramas se identifican para cada año en el período de análisis el mayor número posible de eventos extremos de tormenta, para cada uno de los cuales se establecen profundidades e intensidades máximas de precipitación para duraciones establecidas. Usualmente se construye una serie anual de valores máximos de estas intensidades para cada duración y mediante un análisis tradicional de frecuencias se ajustan diversas distribuciones de probabilidad: Gumbel (caso del IDEAM), GEV (Generalized Extreme Value (caso de Estados Unidos), Gamma, Log Normal de tres parámetros (LN3), Pearson tipo 3 (P3), Log-Pearson tipo 3 (LP3), Exponencial, Pareto, entre otras. En el ajuste se utilizan diferentes métodos para la estimación de los parámetros de estas distribuciones incluyendo momentos, momentos ponderados por probabilidad o L-momentos, máxima verosimilitud, entre otros, y se verifica el ajuste tanto de forma visual como de forma estadística, implementando pruebas, como la de Kolmogorov-Smirnov (K-S) y la Chi cuadrado. Como resultado de este ajuste se obtienen las curvas IDF (gráfica, tabla, ecuación) con las intensidades para las duraciones establecidas y los diversos períodos de retorno analizados.

Es importante mencionar que los cambios en el ciclo hidrológico, asociados al incremento de gases de efecto invernadero en la atmósfera, que conllevan a incrementos en la temperatura y los cambios en el uso del suelo, sin duda han de repercutir en la intensidad, duración y frecuencia de estos eventos extremos de tormenta. A manera de ejemplo y considerando, tal como ha sido hallado en varias investigaciones (Losada, 2015; New, et al., 2006; Groissman et al., 2011; Sen et al., 2013), que las intensidades de las tormentas se están incrementando, esto implicaría la necesidad de revisar los métodos de diseño hidrológico actuales, verificar la infraestructura existente, diseñada con unas condiciones que

continuamente han venido cambiando y analizar posibles tendencias en las curvas IDF, utilizando por ejemplo escenarios de cambio climático, para anticipar posibles dificultades y problemas.

A través de un proyecto financiado por el IDEAM en Colombia (UNAL-IDEAM, 2016) y desarrollado durante el año 2016 por la Universidad Nacional de Colombia, se han actualizado las curvas IDF de 110 de las estaciones en el país que cuentan con los registros más largos y completos (i.e., más de 10 años completos de registros). La información existente consiste de series de precipitación diaria, curvas IDF existentes en las 110 estaciones (en general, estimadas con registros hasta finales de la década de los 80), y cartas pluviográficas escaneadas al año 2010. La ubicación de las 110 estaciones analizadas se presenta en la Figura 1, en donde puede observarse también el tipo de estación, con el mayor número correspondiente al tipo climatológico ordinario (CO). Se observa también que la distribución espacial de las mismas es bastante heterogénea en el país, con cerca del 70% de las estaciones ubicadas en la zona Andina colombiana (parte central de la Figura 1).

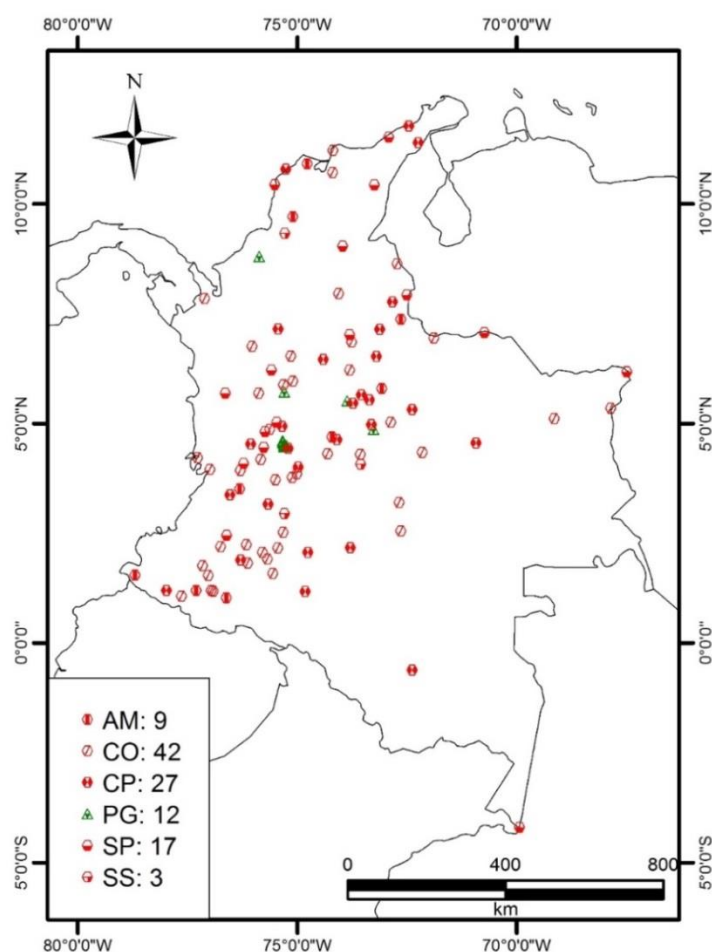


Figura 1. Localización de las 110 estaciones cuyas curvas IDF han sido actualizadas al año 2010

II. Metodología

La Figura 2 presenta el diagrama del marco metodológico aplicado para la actualización de las curvas IDF y para el análisis de tendencias en series de intensidades máximas, el cual se discute brevemente a continuación.

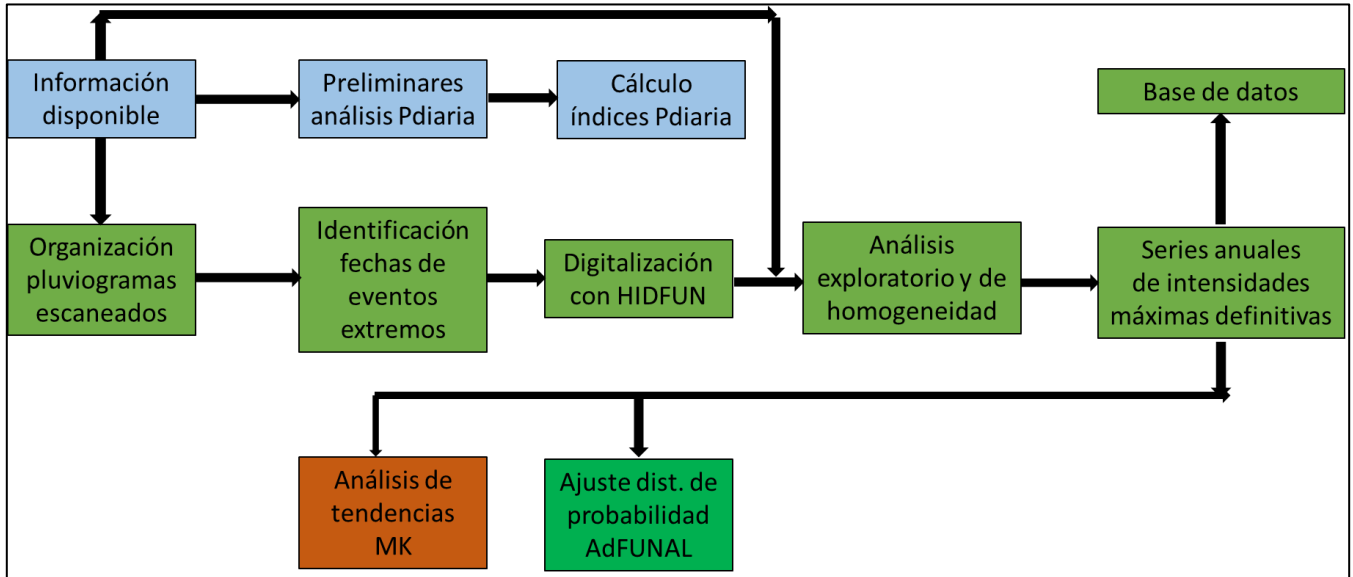


Figura 2. Marco metodológico aplicado para la actualización y análisis de curvas IDF

De acuerdo con lo presentado en la Figura 2, a partir de la información disponible inicialmente se realizaron análisis de las series de precipitación diaria en las 110 estaciones. Para ello, se utilizó el software RHTest (Wang y Feng, 2013) para evaluar la homogeneidad y posible existencia de puntos anómalos en las series. Seguidamente y utilizando la herramienta RClimdex (Zhang y Yang, 2004), una herramienta estándar utilizada para efectuar análisis de cambio climático en series diarias, se calcularon 10 índices de precipitación. La Figura 3 muestra los resultados para el índice PRCPTOT (precipitación total anual durante días húmedos) para las 110 estaciones analizadas. En la Figura 3 el tamaño del círculo refleja la magnitud de la tendencia: positiva o de aumento y significativa para el caso de los puntos rellenos en color azul, no significativa para puntos de color azul vacíos, negativa o de disminución y significativa para el caso de los puntos en color rojo rellenos y no significativa con puntos en color rojo vacíos. Los resultados mostrados en la Figura 3 indican que mayoritariamente para este índice existen tendencias de aumento de la precipitación (tanto significativas como no significativas). Resultados similares se obtuvieron para los otros 9 índices analizados (no incluidos aquí).

Estos resultados son consistentes con los reportados por otros estudios previos en Colombia y en otros países, que indican tendencias mixtas en la precipitación a través del tiempo, de aumento en algunas zonas y de disminución en otras. De

acuerdo con esto se esperarían también tendencias mixtas en las intensidades máximas de las curvas IDF actualizadas

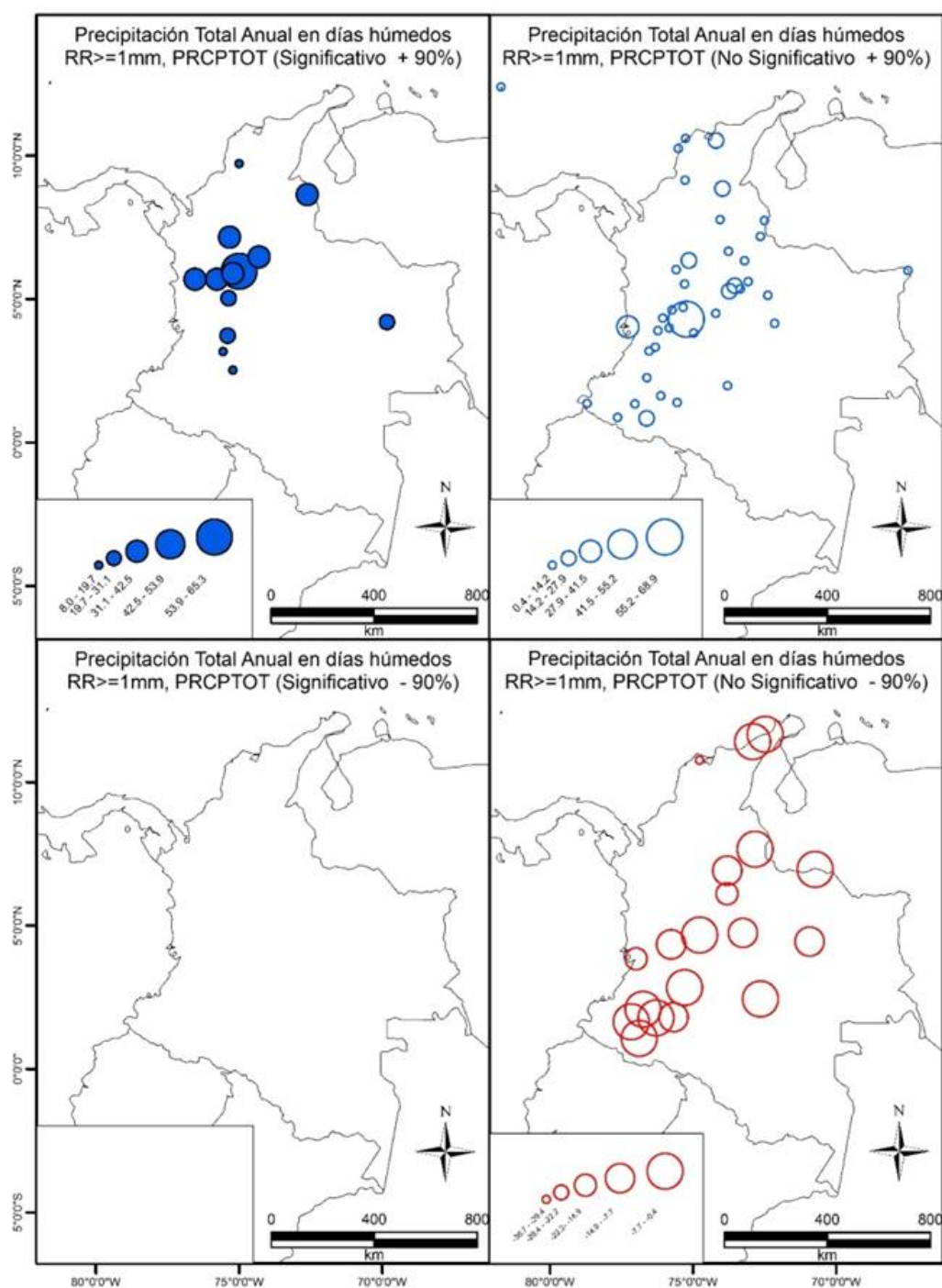


Figura 3. Tendencias en los valores de precipitación total anual en días húmedos (PRCPTOT) para las 110 estaciones analizadas

Continuando con la descripción del marco metodológico presentado en la Figura 2, debe mencionarse que con relación a las cartas pluviográficas escaneadas, estas primeramente fueron organizadas por estación y año, luego se hizo un proceso de identificación de los 15 eventos más extremos para cada año y estación, complementado con un proceso visual de inspección de todas las cartas disponibles para un año, con el objetivo de identificar eventos con intensidades importantes. De esta forma se seleccionaron de las cartas pluviográficas para digitalización los eventos extremos así identificados. En total, se digitalizaron 16,557 cartas pluviográficas correspondientes a aproximadamente 1,400 años analizados. A este respecto y para el proceso de digitalización, se evaluaron herramientas desarrolladas en casa como el software ACE (van Piggelen et al., 2011), utilizado por el Servicio Meteorológico Holandés y el software Pluvio_Reader (Burboa y Meier, 2016), propuesto en Chile para la digitalización de cartas pluviográficas semanales. Asimismo, se evaluaron herramientas de uso libre utilizadas para hacer la digitalización de todo tipo de curvas, incluyendo las herramientas WebPlot Digitizer (<http://arohatgi.info/WebPlotDigitizer/>) y Engauge Digitizer (<http://markummitcheil.github.io/engauge-digitizer/>). De la evaluación realizada se obtuvo que las herramientas desarrolladas en casa atienden propósitos específicos, tanto de las cartas como de la climatología, y que las herramientas de uso libre no aprovechan las potencialidades de un software específico. Así, se decidió desarrollar una herramienta en MATLAB, denominada HIDFUN (Herramienta para el cálculo de curvas IDF de la Universidad Nacional), que está basada en algoritmos de segmentación y extracción semi-automática de la curva y que tiene la ventaja de calcular, a partir del pluviograma digitalizado, directamente la curva de masa y efectuar el cálculo de intensidades para duraciones dadas haciendo uso de una ventana móvil de la duración indicada para capturar la intensidad máxima correspondiente. Utilizando la herramienta HIDFUN se digitalizaron las 16,557 requeridas con un promedio de 5 min de procesamiento por cada carta.

Esta información se ha consolidado en una base de datos en PostgreSQL, a través de la cual se han almacenado, entre otras, las series anuales de intensidades máximas para el período existente y actualizado, para las mismas duraciones de las curvas IDF existentes: 15, 30, 60, 120 y 360 minutos.

Con estas series se han efectuado los análisis de tendencias en las mismas, utilizando el test de Mann-Kendall (prueba estándar sugerida por la OMM para evaluar tendencias monotónicas en series hidrometeorológicas) y el ajuste de las mismas, a través del empleo de otra herramienta de análisis, desarrollada en este estudio y denominada AdFUNAL (Análisis de Frecuencia Universidad Nacional), que permite ajustar 10 distribuciones de probabilidad diferentes, con tres métodos de estimación de parámetros y cuatro criterios de evaluación de la bondad del ajuste. AdFUNAL se desarrolló en R (www.r-project.org).

A continuación se exponen los resultados de esta implementación.

III. Resultados

Las Figura 4 y Figura 5 muestran los resultados del análisis de tendencias con Mann-Kendall para las 110 estaciones y para las duraciones de 15 y 30 minutos, respectivamente, que son las que mayoritariamente reportan incrementos de las intensidades.

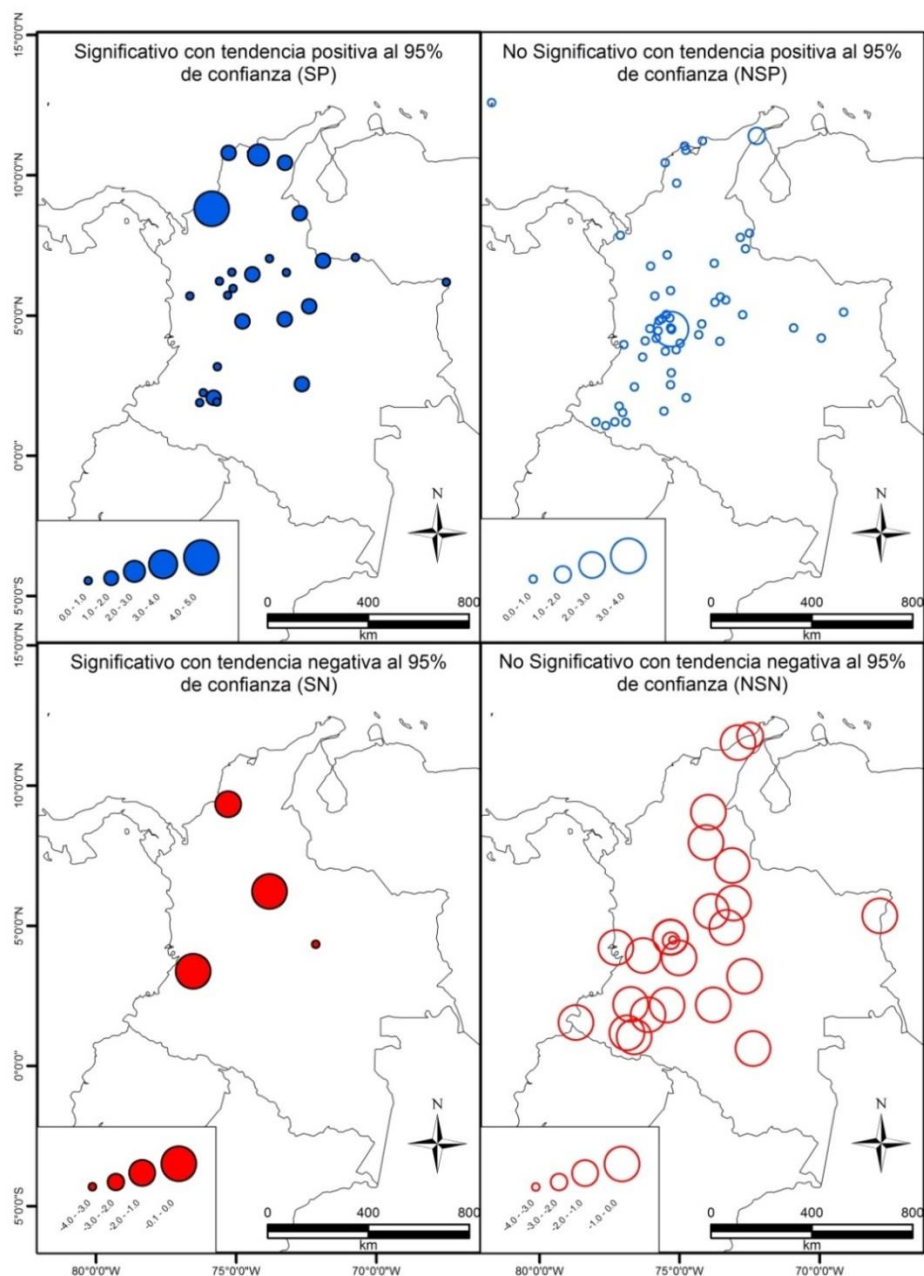


Figura 4. Espacialización de los resultados de las tendencias obtenidas con la prueba de Mann-Kendall para las series de intensidades máximas para una duración de 15 minutos

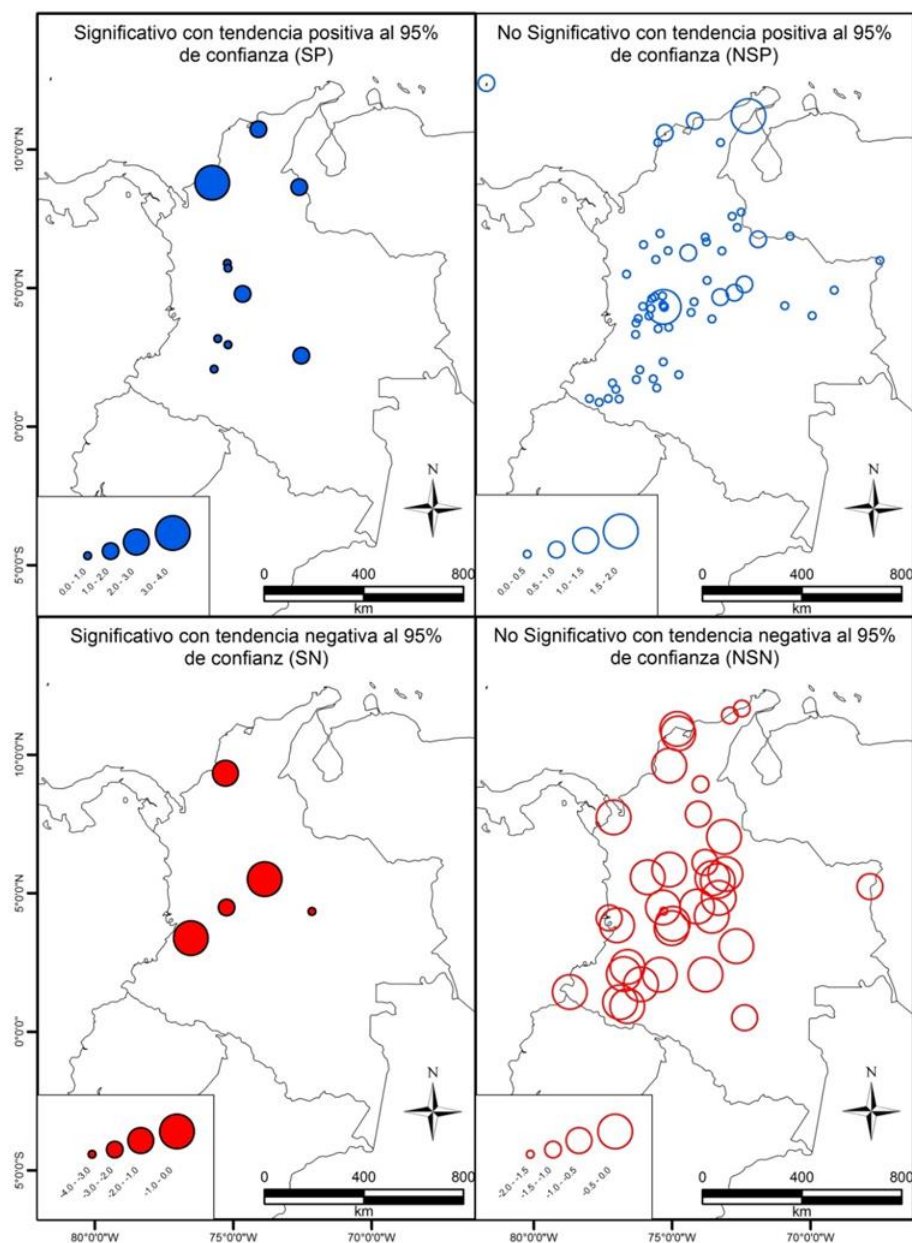


Figura 5. Espacialización de los resultados de las tendencias obtenidas con la prueba de Mann-Kendall para las series de intensidades máximas para una duración de 30 minutos

Con relación a la duración de 15 minutos (ver Figura 4), las tendencias son mayoritariamente de aumento, con 79 estaciones presentando esta tendencia, de las cuales en 25 estaciones la misma es estadísticamente significativa al 5%. Igual sucede para la duración de 30 minutos (ver Figura 5), en donde el número de estaciones con tendencia a incrementar las intensidades máximas es de 70, y las estaciones en donde las tendencias positivas son estadísticamente significativas

se reducen a solo 11. Para las duraciones de 60, 120 y 360 minutos (ver Tabla 1) existe, en general, equilibrio entre el número de estaciones con tendencia al aumento y el número de estaciones con tendencia a la disminución de las intensidades máximas. Para estas tres últimas duraciones, el porcentaje de estaciones con tendencia, bien sea positiva o negativa, estadísticamente significativa al 5% es del orden del 10%.

Tabla 1. Síntesis de resultados análisis de tendencias con Mann-Kendall de las series anuales de intensidades máximas para las duraciones indicadas

	DURACIONES									
	15 min		30 min		60 min		120 min		360 min	
SIGNIF 5%	No. estac.	%	No. estac.	% total	No. estac.	% total	No. estac.	% total	No. estac.	% total
Positivas	25	23	11	10	5	5	6	5	5	5
Negativas	4	4	5	5	7	6	7	6	6	5
No signif.										
Positivas	54	49	59	54	50	45	49	45	51	45
Negativas	25	23	35	32	48	44	46	42	43	39

Un estudio complementario al de tendencias en las series de intensidades máximas es el que se ha efectuado a través del análisis de frecuencia con la herramienta AdFUNAL. Se reportan aquí los resultados del ajuste de las series a la distribución Gumbel a través del método de los momentos por ser estos los métodos que actualmente utiliza el IDEAM para el cálculo de las curvas IDF existentes. Las curvas IDF fueron adicionalmente ajustadas para cada período de retorno a una ecuación del tipo $I=C1/(t+X_0)^{C2}$.

Los resultados ilustrados en la Figura para la estación Guamo indican que las curvas IDF existentes (SIAT- Sistema de Análisis de Tormentas del IDEAM) y actualizadas (HIDFUN) son casi idénticas para los períodos de retorno más pequeños (3 y 5 años), presentan ligeras diferencias para los períodos de retorno intermedios (10 y 25 años), con los valores de las curvas IDF actualizadas ligeramente menores que los de las curvas existentes, y para los períodos de retorno mayores (50 y 100 años), las diferencias son un poco más grandes, con las curvas IDF actualizadas también con valores más bajos que las existentes. Estas diferencias, entre las curvas IDF existentes y las actualizadas, para los períodos de retorno intermedios y mayores, pueden explicarse en parte por las diferencias en la longitud de las series consideradas (23 vs 46 años) y en parte por posibles tendencias en las series, debidas a diversas causas, entre ellas cambios de entorno de la estación, alteraciones en los procesos físicos generadores de tormentas, diferente procesamiento de los datos, etc.

La Tabla 2 presenta las diferencias porcentuales entre las curvas IDF actualizadas y las existentes, en donde resulta claro que, con excepción de la duración más

corta (15 minutos) y los períodos de retorno de 3 y 5 años, en donde se tienen incrementos en las intensidades de hasta un 2.6%, para los otros períodos de retorno y duraciones, las intensidades en esta estación tienden a disminuir, con reducciones de hasta un -15.8% para la duración de 360 minutos y el período de retorno de 100 años. Para esta estación, y tal como se discutió anteriormente en el análisis de tendencias, se ha obtenido que para la duración de 15 minutos se presenta una tendencia no significativa de aumento de las intensidades, mientras que para las demás duraciones las tendencias son de disminución de las intensidades, lo que es consistente con lo hallado aquí en la comparación de las curvas IDF existentes y actualizadas. Esto es indicativo de que la comparación de curvas IDF existentes y actualizadas y los análisis de tendencias de intensidades máximas, son complementarios.

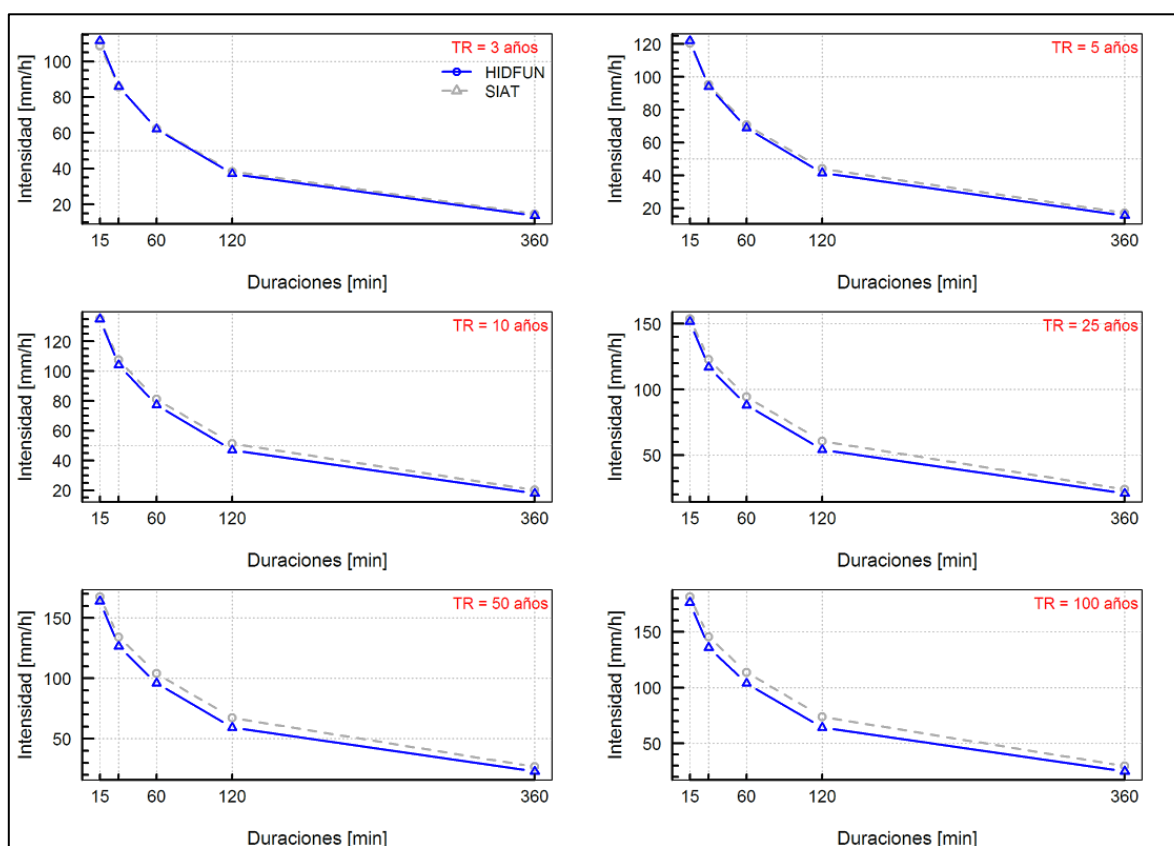


Figura 6. Resultados del ajuste mediante la distribución Gumbel y el método de los momentos de las series de intensidades máximas en la estación Guamo 2118503 para las series existentes (SIAT) período 1964-1986 y para las series actualizadas (HIDFUN) período 1988-2010, para los períodos de retorno indicados

La comparación de las curvas IDF existentes y actualizadas, para todo el conjunto de estaciones consideradas, concuerda con las conclusiones obtenidas para la estación El Guamo. En general, las intensidades máximas para duraciones de 15 y 30 minutos están mayoritariamente aumentando y las intensidades para las

duraciones más largas (60, 120 y 360 minutos) están disminuyendo. Considerando la totalidad de duraciones, períodos de retorno y estaciones, en el 27.2% de los casos las intensidades han aumentado, con un valor máximo de hasta +125% y han disminuido en el 72.8% restante de los casos, con variaciones máximas de hasta -38.6%. Con relación al período de retorno los cambios en las IDF actualizadas, en comparación con las IDF existentes, son bastante variados, sin tendencias claras.

Tabla 2. Comparación porcentual de las diferencias entre las curvas IDF actualizadas y las existentes en la estación Guamo 2118503

CURVAS ACTUALIZADAS HIDFUN (Intensidades (mm/hr))							
	2	3	5	10	25	50	100
15	102.1	111.5	121.9	135.0	151.6	163.9	176.1
30	78.7	86.0	94.0	104.1	116.9	126.4	135.9
60	56.1	62.2	68.9	77.4	88.0	96.0	103.8
120	33.1	37.1	41.5	47.0	54.0	59.2	64.3
360	12.1	13.7	15.5	17.8	20.7	22.9	25.0
CURVAS EXISTENTES SIAT (Intensidades (mm/hr))							
		3	5	10	25	50	100
15		108.6	120.4	135.1	153.7	167.5	181.2
30		85.7	95.4	107.5	122.8	134.2	145.5
60		62.4	70.7	81.1	94.3	104	113.7
120		38.3	44.1	51.3	60.4	67.2	73.9
360		14.6	17	20.1	23.9	26.8	29.7
DIFERENCIAS (%)							
15		2.6%	1.3%	0.0%	-1.4%	-2.1%	-2.8%
30		0.3%	-1.4%	-3.1%	-4.8%	-5.8%	-6.6%
60		-0.4%	-2.5%	-4.6%	-6.6%	-7.7%	-8.7%
120		-3.2%	-5.9%	-8.4%	-10.6%	-12.0%	-13.0%
360		-6.1%	-8.6%	-11.3%	-13.3%	-14.7%	-15.8%

Estas tendencias, de aumento en las intensidades para las duraciones más cortas, pueden estar asociadas a alteraciones de los procesos físicos generadores de tormentas (variabilidad y cambio climático), a cambios en el entorno de las estaciones (urbanización) y al procesamiento de la información. Para evaluar este último aspecto se han efectuado análisis de homogeneidad, tanto en medias como en varianzas, utilizando la prueba ANOVA y el test de Levene respectivamente, de las series anuales de intensidades máximas existentes y actualizadas. Los resultados para la homogeneidad de medias, que son las que mayormente explican las no homogeneidades, se muestran en la Figura 7.

Los resultados en la Figura 7 indican que las no homogeneidades ocurren para las duraciones menores y que a medida que la duración aumenta, el número de

estaciones con series existentes y actualizadas no homogéneas se reduce importantemente. Ahora bien, a fin de evaluar si existe efecto del diferente procesamiento de los datos en las tendencias calculadas para las series existentes y actualizadas, se utilizaron pruebas de detección de media con identificación del punto de cambio (RankSum y t-Student de la herramienta TREND), obteniendo en todos los casos en donde se detectaron tendencias significativas al 5%, que este coincide con el año de inicio de actualización de las series.

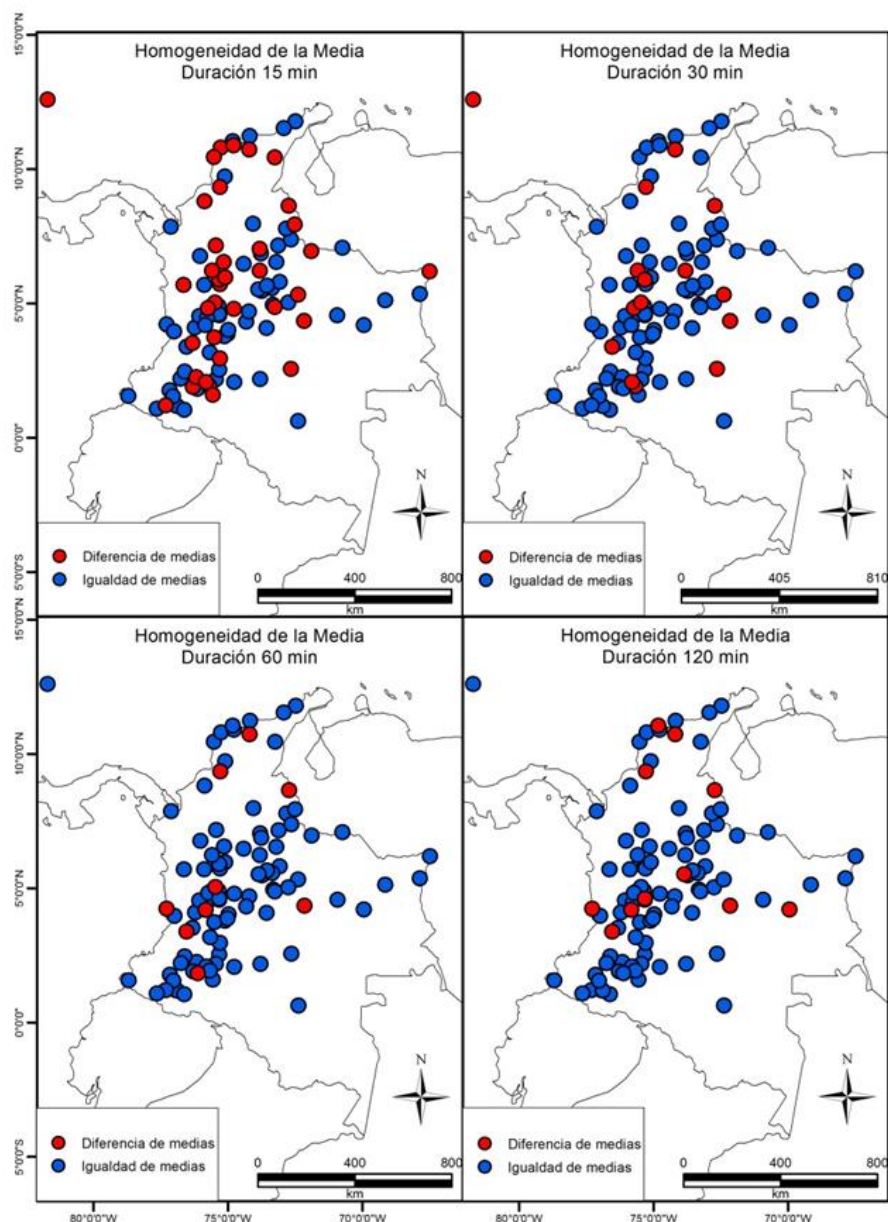


Figura 7. Análisis de homogeneidad en medias para duraciones indicadas. Resultados de la aplicación de la prueba ANOVA al 5% de nivel de significancia

Este hallazgo implica que las no homogeneidades son debidas a una combinación de los diferentes procesos de análisis y procesamiento de los datos, así como a posibles tendencias reales en las series de intensidades máximas. Resulta importante aquí aclarar que las series existentes fueron obtenidas por el IDEAM a partir de la identificación de los seis aguaceros más intensos en el registro pluviométrico, de la digitalización manual del pluviograma solo para la parte más intensa del aguacero (a diferentes intervalos de tiempo), y del cálculo de las intensidades máximas para las duraciones consideradas a partir de esta curva de masa, pero sin hacer uso de una ventana móvil para realmente capturar la intensidad máxima para una duración dada. De otra parte, en la obtención de las series anuales de intensidades máximas actualizadas con HIDFUN se han identificado un número mayor de eventos (en promedio 11), se ha digitalizado el pluviograma totalmente, lo que ha permitido corroborar el valor de la precipitación diaria del pluviógrafo con el del registro pluviométrico correspondiente, y adicionalmente se ha construido una curva de masa a intervalos de 30 segundos, a partir de la cual, y utilizando una ventana móvil, ha sido posible capturar de forma más precisa la intensidad máxima para una duración dada.

Este problema de subestimación de las intensidades, asociado con el análisis de las intensidades máximas sin utilizar una ventana móvil sobre la curva de masa, ha sido también evidenciado y reportado en otros estudios (Meier et al., 2013).

Como conclusión de este análisis podría decirse que el diferente procesamiento de las series existentes (SIAT) y actualizadas (HIDFUN) es en parte responsable de las no homogeneidades en medias y por ende tiene efectos en el cálculo de las tendencias en las series anuales de intensidades máximas. Para remover este efecto será necesario a futuro (por limitaciones de tiempo no fue efectuado dentro de este proyecto) volver a deducir las intensidades máximas de las series existentes, a partir de las curvas de masa disponibles, utilizando el método de la ventana móvil. Una vez realizado esto se podrán realmente investigar tendencias en las series de intensidades máximas, asociadas a alteraciones de los procesos físicos de generación de tormentas, entre otros.

IV. Conclusiones

Se ha desarrollado e implementado una metodología para el análisis de la información y la actualización de las curvas IDF para 110 estaciones en Colombia. Para ello, se desarrollaron dos herramientas, la primera para la digitalización semiautomática de pluviogramas, estimación de curvas de masa y cálculo de intensidades máximas para cada evento (HIDFUN) y la segunda para realizar el análisis de frecuencia y el ajuste de diversas distribuciones de probabilidad a las series de intensidades máximas anuales (AdFUNAL). Estas herramientas tienen un gran potencial de ser aplicadas en otros países del continente americano, y otras partes del mundo.

Los análisis de tendencias realizados con Mann-Kendall sobre las series anuales de intensidades máximas para las duraciones investigadas sugieren que mayoritariamente existen incrementos de las intensidades para las duraciones más cortas (15 y 30 minutos) y disminuciones para las duraciones mayores de 30 minutos. Estos resultados se complementan con los hallados en las comparaciones entre curvas IDF existentes y actualizadas en donde se ha encontrado que las intensidades para estas dos duraciones mayoritariamente también son de incremento. Esto es consistente con la literatura, que reporta que a nivel global se han encontrado incrementos en los valores extremos de la precipitación, aún en zonas en donde las tendencias de largo plazo son de disminución de la lluvia (Alexander et al., 2006. Frich et al., 2002, Groissman et al. 2005). Igualmente a nivel regional y local se ha reportado que cambios en los valores extremos son más probables de ser encontrados en eventos de corta duración (Haerter et al., 2010), tal como se ha encontrado aquí.

Finalmente, podría afirmarse que el diferente procesamiento de las series existentes y actualizadas es en parte responsable de las no homogeneidades en medias, lo cual tiene efectos en el cálculo de las tendencias en las series anuales de intensidades máximas y por ende en las curvas IDF actualizadas.

V. Agradecimientos

Los resultados aquí descritos hacen parte de un proyecto financiado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) a quien se agradece su apoyo y especialmente la colaboración del Ing. Fabio Bernal. Igualmente, se agradece al profesor Francisco Gómez del Departamento de Matemáticas de la Universidad Nacional de Colombia por sus aportes en el desarrollo de la herramienta HIDFUN.

VI. Bibliografía

Alexander, L. (2016). Global observed long term changes in temperature and precipitation extremes: A review of progress and limitations in IPCC assessment and beyond. *Weather and Climate Extremes* 11, 4-16.

Alexander, L., et al. (2006). Global observed changes in daily climatic extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*, 111, D05101

Burboa, A., y C.I. Meier. (2016). "Pluvio_Reader: An automatic software for digitizing pluviograms". 27th Latin American Hydraulic Congress, Lima, Perú, September 2016. 11 pp.

Frich, P., Alexander, L., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock. M., Klein Tank, A., Peterson, T. (2002). Observed Coherent Changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research* 19, 193-212

Groissman, P. Y., Knight, R. W., & Karl, T. R. (2011). Changes in Intense Precipitation over the Central United States. *Journal of Hydrometeorology*, 13(1), 47–66. <http://doi.org/10.1175/JHM-D-11-039.1>

Groissman, P., Knight, R., Karl, T., Hegerl, G., Razuvaev, V. (2005). Trends in intense precipitation in the climate record. *Journal of Climate* 18, 1326-1350

Haerter, J., Hagemann, S., Berg, P. (2010). Heavy Rain Intensity Distributions on varying time scales and at different temperatures. *Journal of Geophysical Research* 115, D17102

Losada, J. (2015). Análisis a través del Tiempo de las Tormentas Extremas sobre Bogotá. Tesis de Maestría en Ingeniería –Recursos Hidráulicos. Universidad Nacional de Colombia. Director Erasmo Rodríguez

Meier, C, Moraga, J., Molnar, P. (2013) Underestimation of DDF values obtained from paper pluviograms. Rainfall in Urban and Natural Systems 10th International Workshop on Precipitation in Urban Areas UR15-42

New, M., Hewitson, B., Stephenson, D. B., Tsiga, A., Kruger, A., Manhique, A., ... Lajoie, R. (2006). Evidence of trends in daily climate extremes over southern and West Africa. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111(D14), D14102. <http://doi.org/10.1029/2005JD006289>

Sen Roy, S., & Rouault, M. (2013). Spatial patterns of seasonal scale trends in extreme hourly precipitation in South Africa. *Applied Geography*, 39, 151–157

Universidad Nacional de Colombia (UNAL) – Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2016). Estudio de Actualización y Análisis Comparativo de las Curvas Intensidad, Duración y Frecuencia Disponibles en el IDEAM. Informe Final. 151 pp

Van Piggelen, H., Brandsma, T., Manders, H., Lichtenauer, J. (2011). *Automatic Curve Extraction for Digitizing Rainfall Strip Charts*. *Journal of Oceanic and Atmospheric Technology*. 28. 891-906

Wang, X. Feng, Y. (2013). RHtest User's Manual. Climate Research Division Atmospheric Science and Technology Directorate Science and Technology Branch, Environment Canada Toronto, Ontario, Canada. 28 pp

Zhang, X., Yang, F. (2004). *RClimdex Manual del Usuario*. Climate Research Branch. Environment Canada. Downsview, Ontario, Canadá