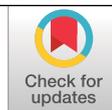


DISTRIBUCIÓN Y TENDENCIAS DE LAS LLUVIAS HORARIAS EN LA REGIÓN CAFETERA DEL NORESTE DE SUR AMÉRICA

Carolina Ramírez Carabalí *, Ninibeth Gibelli Sarmiento Herrera *, Juan Carlos García López *

Ramírez-Carabalí, C., Sarmiento-Herrera, N., & García-López, J. C. (2024). Distribución y tendencias de las lluvias horarias en la región cafetera del Noreste de Sur América. *Revista Cenicafé*, 75(1), e75103. <https://doi.org/10.38141/10778/75103>



Se analizaron los datos de lluvias horarias, de estaciones meteorológicas de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, ubicadas en la región cafetera del Noreste de Sur América, para determinar el número promedio de horas de lluvia en un año, la ocurrencia de lluvias en el día y las tendencias en la cantidad de lluvia horaria máxima entre 1980 y 2019. Se utilizaron pruebas de tendencia: Mann Kendall (MK) y análisis de tendencias innovadoras (ITA). En promedio anual, son 919 horas las que aportan lluvias. Las lluvias máximas en 1 hora se encuentran principalmente en las categorías moderada fuerte y fuerte (20 a 60 mm h⁻¹), y la tendencia es en mayor proporción creciente sin significancia estadística. Con base en ITA, las lluvias máximas en 1 hora están aumentando en las estaciones Pueblo Bello (Cesar), Francisco Romero (Norte de Santander), La Catalina (Risaralda), Julio Fernández (Valle del Cauca) y Jorge Villamil (Huila); y disminuyendo en Granja Tibacuy (Cundinamarca) y Albán (Valle del Cauca). No se encontró un patrón espacial para las tendencias, pero sí se identificó que el número de eventos de lluvia de diferentes intensidades aumentó en la mayoría de estaciones, resaltando Pueblo Bello, Santágueda (Caldas) y Manuel Mejía (Cauca) en las que la tendencia en todas sus categorías de lluvia fue creciente, contrastante con Julio Fernández, donde fue decreciente. Con estos resultados se caracteriza y actualiza el estudio de distribución de la lluvia horaria en la región en mención y se identifican las tendencias de la lluvia máxima horaria y del número de eventos de lluvia.

Palabras clave: Lluvia horaria, ciclo diurno, análisis de tendencias innovadoras, Mann Kendall, café, Cenicafé, Colombia.

DISTRIBUTION AND TRENDS OF HOURLY RAINFALL IN THE COFFEE-GROWING REGION OF NORTHEAST SOUTH AMERICA

Hourly precipitation data from meteorological stations of the National Federation of Coffee Growers of Colombia, located in coffee-producing regions of northeastern South America, were analyzed to determine trends in annual average precipitation hours, daytime precipitation, and maximum hourly precipitation between 1980 and 2019. Trend tests used include the Mann-Kendall (MK) test and Innovative Trend Analysis (ITA). On an annual average, there are 919 hours of rainfall. Maximum rainfall within one hour is mainly in the moderate to strong and strong categories (20 to 60 mm/h), with the trend predominantly increasing without statistical significance. Based on ITA, maximum hourly rainfall is increasing at the stations Pueblo Bello (Cesar), Francisco Romero (Norte de Santander), La Catalina (Risaralda), Julio Fernández (Valle del Cauca), and Jorge Villamil (Huila); and decreasing at Granja Tibacuy (Cundinamarca) and Albán (Valle del Cauca). Although no spatial pattern of these trends was found, it was noted that the number of rainfall events of different intensities has increased in most stations: in Pueblo Bello, Santágueda (Caldas) and Manuel Mejía (Cauca) an increasing trend was observed in all precipitation categories, while in Julio Fernández it was a decreasing trend. These results characterize and update the study of hourly rainfall distribution in the mentioned region and identify trends in maximum hourly rainfall and the number of rainfall events.

Keywords: Hourly rainfall, diurnal cycle, innovative trend analysis, Mann-Kendall, coffee, Cenicafé, Colombia.

Investigador Científico I, Asistente de Investigación e Investigador Científico II, respectivamente. Disciplina de Agroclimatología, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0001-8300-2623>, <https://orcid.org/0000-0002-7912-5708>, <https://orcid.org/0000-0003-4861-9649>



En el Noreste de Sur América, específicamente en Colombia, el cultivo de café se ha establecido principalmente sobre las montañas de la cordillera de los Andes, por lo que las lluvias, a menudo producidas por eventos convectivos que se ven afectados por interacciones complejas entre la dinámica de mesoescala, los procesos microfísicos de las nubes y el forzamiento de la superficie subyacente (Wu et al., 2019), mantienen condiciones de humedad prolongada en el ambiente y los suelos, aumentando las condiciones propicias para el desarrollo de enfermedades asociadas a alta humedad y el riesgo de erosión, dificultando el acceso a las fincas cafeteras y la comercialización de los productos, arriesgando el sustento y la vida de las familias caficultoras.

En los últimos 22 años, son recordados varios acontecimientos desastrosos a causa de las lluvias intensas ocurridas generalmente bajo la fase fría del fenómeno El Niño Oscilación del Sur (ENOS), uno de ellos, en el municipio de Gramalote (Norte de Santander) en el año 2010, donde toda una comunidad, incluyendo la cafetera, tuvo que ser evacuada debido a deslizamientos de tierra y un proceso de remoción de masa, acompañado por un temblor, que destruyó totalmente el municipio; y otro en Mocoa (Putumayo), donde llovió durante tres horas un promedio del 40% lo que normalmente llueve en un mes, sumado con la acumulación de 600 mm de lluvia en 38 días (García-Delgado et al., 2019), lo que causó desbordamiento de ríos y quebradas, resultando afectadas viviendas y predios, vías terciarias y cultivos. La situación ocurrida entre agosto de 2020 y enero de 2023 no fue inesperada, debido a que desde 1950 se han presentado 17 eventos La Niña, aunque solo cinco con continuidad en tres años (Huang et al., 2017), por lo que es posible que las lluvias horarias extremas se hayan intensificado bajo este evento.

El sexto informe de evaluación de Cambio Climático proporciona una evidencia sobre el aumento observado en la frecuencia y la cantidad de fuertes lluvias ($>50 \text{ mm día}^{-1}$) en muchas zonas del mundo (Masson-Delmotte et al., 2021; Seneviratne et al., 2021). Particularmente en la región tropical, los datos y la literatura son limitados, por lo que no hay un tipo de cambio observado.

Resulta trascendental conocer la información de las lluvias horarias, dado que determinan la disposición de la lluvia que llega al suelo y lo que escurre (Trenberth et al., 2003) y, son insumo para preparar las estrategias en la gestión del riesgo e identificar su impacto sociocultural y económico en los territorios. En Colombia, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) clasifica la intensidad de la lluvia en una hora en cinco categorías que comprenden, desde lluvias ligeras ($0,1$ a $10,0 \text{ mm h}^{-1}$) hasta lluvias torrenciales ($> 60 \text{ mm h}^{-1}$) (IDEAM, s. f.).

Conocer la variabilidad espacial y temporal de los eventos de lluvia, es fundamental en la gestión del desarrollo urbano y rural, la infraestructura pública, la agricultura y la salud humana (Beguiría & Lorente, 2002; Hatfield et al., 2011; Zwiers et al., 2013). Debido a su alto impacto en la sociedad, se han llevado a cabo investigaciones para caracterizar las lluvias horarias en algunas ciudades y regiones colombianas, intentando captar los principales procesos dinámicos de la atmósfera y su relación con la topografía (Bedoya-Soto et al., 2019; Gómez Blanco, 2010; Poveda et al., 2005; Suárez-Cobian, 1959; Trojer, 1958, 1959) y, detectar tendencias en las lluvias diarias y anuales en el territorio colombiano, utilizando procedimientos como la prueba de Mann Kendall (MK) y la pendiente de Sen (Ávila et al., 2019; Cerón et al., 2022; Mesa

et al., 2021; Morales-Acuña et al., 2021), el análisis empírico de funciones ortogonales de tendencias (TEOF) (Cerón et al., 2022), la transformada de wavelet discreta (DWT) (Correa Ortiz et al., 2021) y la prueba de Mann Whitney Wilcoxon (MWW) (Giraldo-Osorio et al., 2022), encontrando que hay una respuesta diferente en los eventos de lluvia en el territorio colombiano y dependiendo de la prueba utilizada, pueden encontrarse patrones de tendencia espacialmente coherentes. En general, son mayores los resultados con tendencias no significativas.

En la mayoría de estudios se evidencia un uso generalizado de las pruebas no paramétricas, especialmente la prueba MK, ya que son más apropiadas para detectar tendencias en datos de series temporales hidrometeorológicas; sin embargo, para su validez, requieren independencia de la serie de tiempo y la normalidad de la distribución (Kendall, 1948; Mann, 1945). Una de las pruebas que está siendo utilizada por investigadores de diversos países (Alifujiang et al., 2020; Nisansala et al., 2020; Seenu & Jayakumar, 2021; H. Wu & Qian, 2017) y que fue catalogada por el Journal of Hydrologic Engineering como la mejor nota técnica en el 2014, es el Análisis de Tendencias Innovadoras (ITA) (Şen, 2012), que permite identificar visualmente la tendencia de la lluvia de acuerdo a la clasificación categórica. Hasta la fecha, no hay un estudio que analice las tendencias en las lluvias horarias en la región cafetera colombiana y no se ha publicado algún estudio que aplique la prueba ITA en datos hidrometeorológicos en Colombia.

La producción del café en Colombia depende de la disponibilidad de agua proveniente de las lluvias, por lo tanto, la revisión de las tendencias de las lluvias máximas horarias y del número de eventos de lluvia es necesaria para evaluar los posibles

cambios en las expresiones fenológicas asociadas a floraciones, crecimiento y rendimiento del cultivo del café. En los últimos tres años, entre agosto de 2020 y enero de 2023, la mayor parte de las regiones cafeteras colombianas estuvieron influenciadas por condiciones de alta pluviosidad, en la que el número de eventos y la cantidad de lluvia se incrementó y fue parte de las causas de la disminución de la producción nacional en 2021 y 2022 (Federación Nacional de Cafeteros, s. f.).

Por la anterior razón, este estudio tuvo dos objetivos. El primero fue determinar la cantidad de horas que contribuyen a la lluvia anual y la distribución de la lluvia horaria junto con la tendencia en la frecuencia en las distintas categorías de lluvia, y el segundo analizar la tendencia de la lluvia máxima para duraciones de 1, 2, 4, 6, 12 y 24 horas, de 59 estaciones ubicadas en la región cafetera colombiana, utilizando las pruebas de tendencias MK e ITA.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó la información de lluvia horaria correspondiente a 59 estaciones meteorológicas convencionales de la Red Climática Cafetera de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, que tienen registros pluviográficos con 40 años en promedio, pero contando con estaciones de mínimo 12 hasta 69 años de información. Las estaciones tienen un rango altitudinal desde 775 m hasta 2.120 m, y latitudinal que va desde 01°37'N hasta 10°48' N, abarcando las regiones cafeteras Norte (7 a 10°LN), Centro (3 a 7° LN) y Sur (1 a 3° LN) de Colombia (Figura 1).

Se construyeron tres series, la primera consistió en la información de lluvia horaria desde el inicio hasta el final de la serie, la segunda en las lluvias máximas de 1, 2, 4,

6, 12 y 24 horas de duración para cada año desde 1980 hasta 2019, y la tercera en la cantidad de eventos por año, desde 1980 hasta 2019, de acuerdo a la clasificación de lluvia horaria sugerida por el Ideam: lluvias ligeras (L) (0,1 a 10,0 mm h⁻¹), ligeras moderadas (LM) (10,1 a 20,0 mm h⁻¹), moderadas fuertes (MF) (20,1 a 40,0 mm h⁻¹), fuertes (F) (40,1 a 60,0 mm h⁻¹) y torrenciales (T) (> 60,0 mm h⁻¹) (IDEAM, s. f.).

Control de calidad

Los registros pluviográficos se contrastaron con los registros pluviométricos, dado que operan en paralelo los instrumentos pluviógrafo con pluviómetro. Se validó que la diferencia entre las lecturas de los dos equipos no superara el 10%. Se aplicaron pruebas de coherencia interna y pruebas de coherencia espacial para la detección y limpieza de datos erróneos y la validación de valores extremos.

Para cada estación se evaluó el porcentaje de datos faltantes por cada año de la serie. Se seleccionaron los años de las series que tuvieran registros horarios completos (8.760 horas). De las 59 estaciones del estudio, en 40 se descartaron dos años con información faltante, mientras que en el resto solo se descartó un año.

Número de horas con lluvia y distribución de la lluvia horaria

La serie de lluvia horaria se analizó para contar y promediar el número de horas de lluvia dentro de cada categoría y para cada región cafetera.

Para cada jornada del ciclo diurno (mañana 7 - 12 horas, tarde 13 - 18 horas, noche 19 - 24 horas y madrugada 1 - 6 horas) se identificó la ocurrencia de lluvia y se convirtió en porcentaje como se presenta en la Ecuación <1>:

$$\begin{aligned} \text{Si } R_{h,m,y} &\geq 0,1 \text{ mm} \rightarrow OR_{h,m,y} = 1 \\ \text{Si } R_{h,m,y} &< 0,1 \text{ mm} \rightarrow OR_{h,m,y} = 0 \\ OD_h (\%) &= \frac{\sum_{y=1}^{n_y} \sum_{m=1}^{12} \sum_{d=1}^{n_d} OR_{h,d,m,y}}{n_{h,d,m,y}} \times 100 <1> \end{aligned}$$

Donde $R_{h,m,y}$ es la lluvia (mm h⁻¹) de una específica hora del día (h=1, 2, ..., 24) de un mes (m=1 a 12) y año (y= 1, ..., n_y); OD_h (%) es la ocurrencia de lluvia.

Además, se determinó la jornada con mayor ocurrencia de lluvias ≥ 20 (mm h⁻¹) en cada estación, dato que abarca desde lluvias moderadas fuertes hasta torrenciales (Ecuación <2>).

$$\begin{aligned} \text{Si } R_{h,m,y} &\geq 20 \text{ mm} \rightarrow ORft_{h,m,y} = 1 \\ \text{Si } R_{h,m,y} &< 20 \text{ mm} \rightarrow ORft_{h,m,y} = 0 \\ ODft_h (\%) &= \frac{\sum_{y=1}^{n_y} \sum_{m=1}^{12} \sum_{d=1}^{n_d} ORft_{h,d,m,y}}{n_{h,d,m,y}} \times 100 <2> \end{aligned}$$

Detección de tendencias

Cantidad de lluvia máxima horaria y Cantidad de eventos de lluvia en 1,0 hora

Prueba Mann Kendall. Se aplicó la prueba Mann Kendall (Kendall, 1948; Mann, 1945) por medio del paquete “Kendall” (McLeod, 2022), a 28 estaciones con series de tiempo desde 1980 hasta 2019, de lluvia máxima horaria (1, 2, 4, 6, 12 y 24 horas de duración) y de cantidad de eventos de lluvia horaria clasificada de acuerdo al Ideam, para cada una de las estaciones, con el fin de evaluar estadísticamente la existencia de una tendencia monotonica ascendente o descendente, lo que significa que la variable evaluada aumenta o disminuye en el tiempo. Para este análisis se asumió un nivel de significancia de 0,05. Se obtuvo el

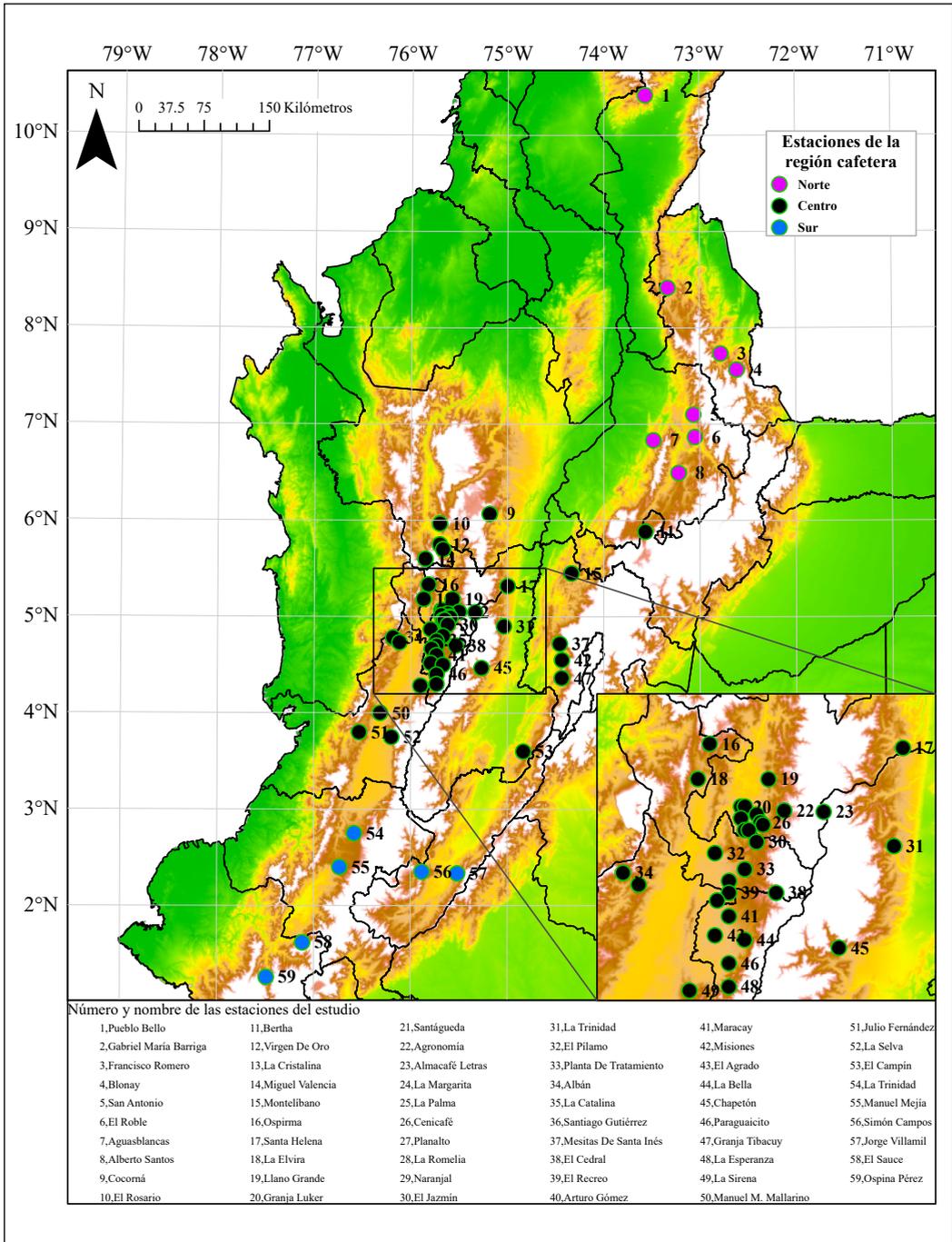


Figura 1. Estaciones meteorológicas del estudio.

estadístico Z (distribución normal estándar inversa de los datos) y U (Cuantil $1 - \alpha/2$), necesarios para la aceptación o rechazo de la hipótesis nula. La hipótesis nula en la prueba de tendencia de Mann-Kendall es que no hay tendencia en los datos. La hipótesis nula se rechazó cuando $|Z| > U$.

Análisis de tendencias Innovadoras (ITA) e índice de tendencia parcial (PTM). Para complementar el análisis de tendencias, se incluyó la metodología de Şen (2012), con el fin de determinar para 28 estaciones, en las series de datos (1980 – 2019), las tendencias de lluvia máxima en precipitaciones de duración de 1,0 hora y de cantidad de eventos de lluvia horaria clasificada de acuerdo al Ideam. Este análisis solo se realizó para precipitaciones máximas de duración de 1,0 hora, dados los peligros que ocasionan, como inundaciones repentinas y deslizamientos de tierra que afectan a las poblaciones, daños a cultivos e infraestructura.

La serie de cada estación se dividió en dos mitades iguales, generando dos subseries: de 1980 – 1999 la primera mitad de la serie y de 2000 – 2019 la segunda mitad de la serie. Cada subserie se ordenó en forma ascendente y se graficó en el eje x la primera mitad y en el eje y la segunda mitad.

El gráfico permitió clasificar la lluvia máxima en 1,0 hora (ligera, ligera moderada, moderada fuerte, fuerte y torrencial). Se dibujaron tres líneas, una línea recta de 45° y dos líneas de error de $\pm 10\%$. Si la mayoría de los puntos de la serie se ubicaba sobre la línea de 45° o dentro de $\pm 10\%$, indicaba que no hay tendencia en la serie; pero si la dispersión de puntos estaba por encima o por debajo de la línea $\pm 10\%$ significaba una tendencia creciente o decreciente significativa (Figura 2).

Para cada estación se calculó el porcentaje de eventos para cada categoría, teniendo en

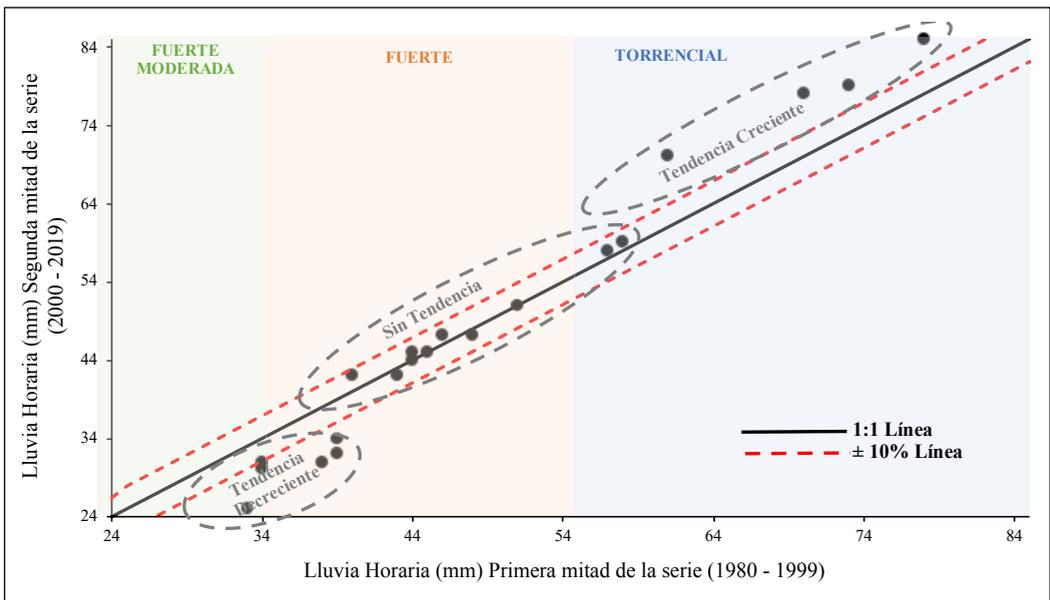


Figura 2. Ejemplo del método gráfico del análisis de tendencias innovadoras (ITA).

cuenta toda la serie, y se identificó el porcentaje de eventos de cada categoría que exhibieron tendencia concreta con respecto a la primera mitad de la serie.

Adicionalmente, se calculó la tendencia general, aplicando el índice de tendencia parcial (PTM) establecido por Wu y Qian (2017), de acuerdo con la Ecuación <3>

$$PTM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n PTM_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{10(y_i - x_i)}{\bar{x}} \quad <3>$$

Donde, *PTM* es el índice de tendencia general en la serie y *n* es el número de registros de una subserie, *x* que en nuestro caso fue de 20; *x_i* y *y_i* son los valores de la primera y segunda subserie; \bar{x} es el promedio de *x_i*, es decir, de la primera mitad de la serie; 10 es un coeficiente para que el índice PTM alcance una escala similar a la prueba MK. Si el índice da como resultado un valor positivo (negativo) indica una tendencia creciente (decreciente). Teniendo como referencia la metodología de Wu y Qian (2017) para probar los niveles de significancia, se identificaron los intervalos de confianza, calculados mediante el método de arranque no paramétrico (Efron & Tibshirani, 1994), utilizando la librería *nptest* (Helwig, 2023) de R, con 9.999 repeticiones y un nivel de significancia del 0,05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Número de horas de lluvia que contribuyen a las lluvias de la región cafetera colombiana

Se caracterizó la lluvia horaria promedio anual en las diferentes zonas de la región cafetera colombiana (Figura 3). En años no bisiestos se clasificaron 8.760 horas anuales y en años bisiestos 8.784 horas. El promedio de horas secas (0 mm) en la región cafetera

es de 7.841, pero la región Norte cafetera se caracteriza por presentar más horas con esta condición en comparación con las regiones Central y Sur. Las lluvias ligeras de 0,1 a 10,0 mm, corresponden al 58% de la lluvia total anual, con un promedio de 884 horas anuales, destacándose las regiones Central y Sur por presentar un mayor número de horas bajo esta condición, en contraste con la región Norte. La cantidad de horas con lluvias Ligeras Moderadas de 10,1 a 20,0 mm, son en promedio 28,20% de la cantidad de lluvia anual, sin embargo, el promedio de horas en la región Central es de 35, aunque su límite superior llega hasta 47 horas. Con respecto a las lluvias Moderadas Fuertes, concernientes al 14% de la lluvia anual, se presentan en promedio diez horas al año, donde se resalta la región cafetera Central por presentar un mayor promedio que las regiones Norte y Sur. Finalmente, las lluvias Fuertes y Torrenciales son menos frecuentes al año con respecto al resto de categorías, y ambas aportan el 4% de la cantidad de lluvia anual. Anualmente, en la región Cafetera pueden presentarse en promedio dos eventos fuertes y un evento torrencial. La región Norte ha presentado hasta nueve eventos fuertes y tres torrenciales en un año, por lo que supera en promedio al resto de las regiones en estas categorías de lluvia.

Los resultados brindan una actualización del total de horas de lluvia en el año en la región cafetera, que fue previamente determinado por Suárez (1974), durante 1961 – 1970. En comparación, en promedio en la región Norte, específicamente para las estaciones Pueblo Bello (Cesar), Francisco Romero y Blonay (Norte de Santander), hay una diferencia de 187, 298 y 319 horas más en promedio con lluvia. En la región Central, hay un aumento hasta del 42% con respecto a lo reportado por Suárez.

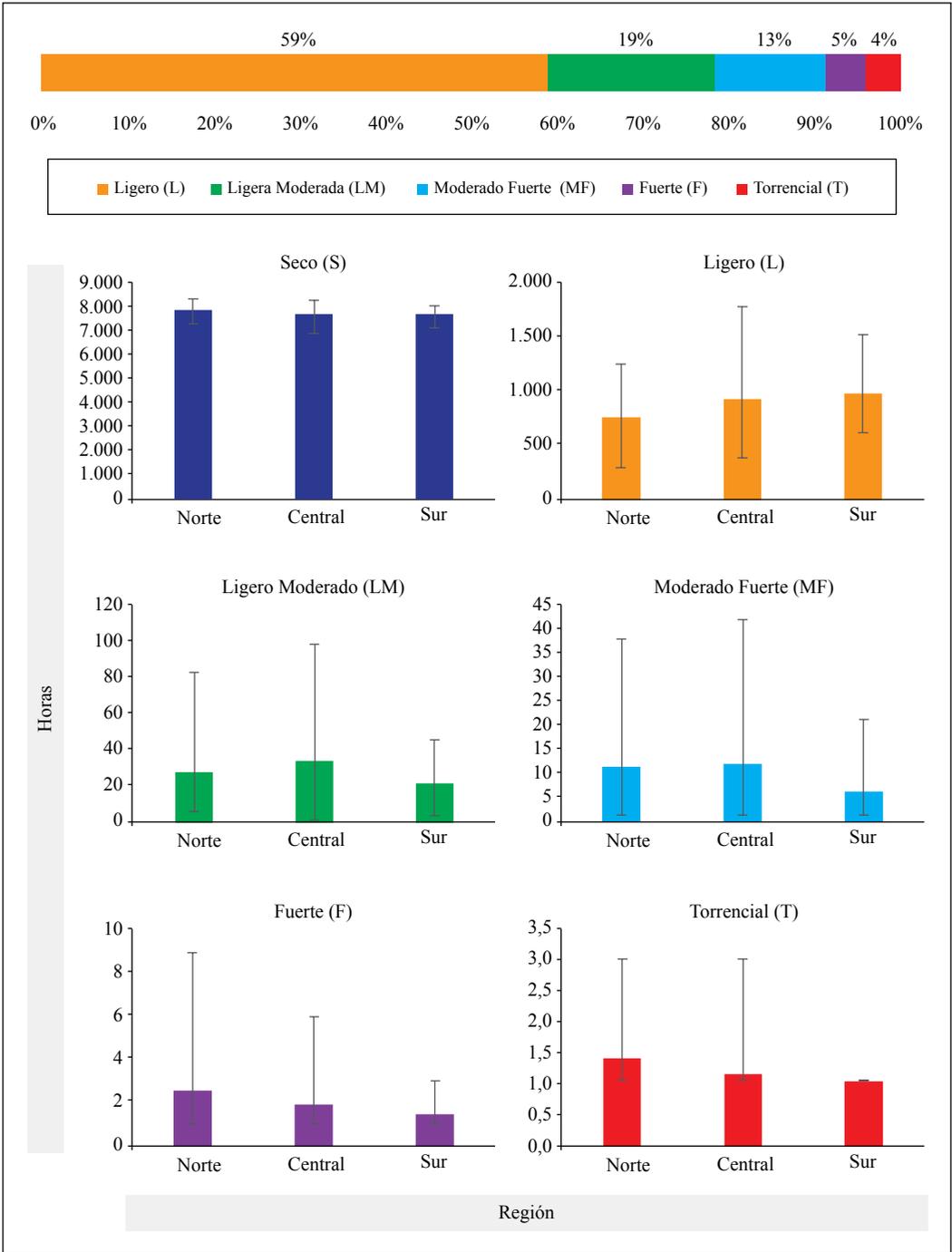


Figura 3. Cantidad de horas promedio anuales en las regiones cafeteras colombianas. Las barras representan el mínimo y máximo valor presentado en la serie analizada.

Distribución de la lluvia horaria

El porcentaje de ocurrencia de lluvia y la jornada con mayor ocurrencia de lluvias mayores a 20 mm h⁻¹, se presentan en la Tabla 1.

Región Cafetera Norte. En las estaciones de la región Norte, ubicadas sobre la Sierra Nevada de Santa Marta y la cordillera Oriental, entre 6,5° LN y 11,0° LN ocurren lluvias con mayor frecuencia en las noches. Específicamente en Pueblo Bello (Cesar), Blonay (Norte de Santander) y San Antonio (Santander) la ocurrencia de lluvias es mayor en horas de la tarde, sin embargo, en San Antonio las lluvias mayores a 20 mm h⁻¹ se presentan en la madrugada. En Gabriel María Barriga (Norte de Santander), El Roble y Aguasblancas (Santander), la proporción de ocurrencia de lluvias es similar o mayor en la madrugada. En Francisco Romero (Norte de Santander), particularmente una de las estaciones con los mayores registros de lluvia a nivel horario y diario (Jaramillo, 2005, 2018; Jaramillo & Kogson, 1994; Suárez, 1947, 1975), y en Alberto Santos (Santander), hay una mayor ocurrencia de las lluvias en la noche, en la que también se presentan con mayor frecuencia las lluvias mayores a 20 mm h⁻¹.

Región Cafetera Central. Para las estaciones ubicadas sobre la cordillera Oriental – vertiente Occidental, no hay un patrón claro generalizado de la ocurrencia de las lluvias. Por ejemplo, en Bertha (Boyacá) y Montelíbano (Cundinamarca), la mayor ocurrencia de las lluvias es en la noche, al igual que las lluvias mayores a 20 mm h⁻¹. En Mesitas de Santa Inés, Misiones y Granja Tibacuy (Cundinamarca) se presentan las lluvias con más frecuencia en la tarde y madrugada.

En el costado Oriental de la cordillera Central se analizaron seis estaciones, las cuales por su ubicación en diferentes latitudes

presentan diferencias en el ciclo diurno de la lluvia, sin embargo, predominan las lluvias en la madrugada. En Cocorná (Antioquia) y Santa Helena (Caldas), localizadas en un rango altitudinal similar, las lluvias mayores a 20 mm h⁻¹ ocurren con mayor frecuencia en horas de la noche. Almacafé Letras (Caldas) es especial, por la altitud en la que se encuentra, la mayor frecuencia de lluvias es en la tarde, pero la mayor ocurrencia de lluvias mayores a 20 mm h⁻¹ ha sido en las noches.

Analizando las estaciones de la vertiente Occidental de la cordillera Central, a partir de los 3,0° de LN hasta los 4,8° LN, hay una mayor ocurrencia de lluvias en la tarde y en la madrugada, y las lluvias mayores a 20 mm h⁻¹ se presentan principalmente en la tarde. En el Cedral (Risaralda) y La Selva (Valle del Cauca), quizás por su ubicación altitudinal, por encima de 1.800 m, la mayor ocurrencia de lluvia es en la tarde. A partir de los 4,8° de LN hasta los 5,9° de LN, las lluvias son más frecuentes en horas de la noche y madrugada, principalmente en altitudes entre 1.000 y 1.700 m. En la estación Agronomía (Caldas), con altitud superior, la ocurrencia de lluvia es en la tarde. En general, se observa que estaciones por encima de los 1.800 m presentan una mayor ocurrencia de las lluvias en horas de la tarde. Delgado et al. (2020) encontraron el mismo comportamiento para estaciones ubicadas en Manizales (Caldas), con altitud superior a 1.915 m. Por su parte, Poveda et al. (2005) en su estudio, señalaron que si bien la topografía juega un papel importante en la determinación de los ciclos diurnos, no hay evidencia de una relación entre el momento de la lluvia máxima diurna con la elevación y la vertiente de las cordilleras, a excepción de algunas estaciones dentro de los valles de los ríos Magdalena y Cauca.

En las estaciones ubicadas sobre la vertiente Oriental de la cordillera Occidental,

se evidencia una mayor ocurrencia de las lluvias en las horas de la noche y madrugada, aunque en mayor proporción en esta última. En las estaciones Miguel Valencia (Antioquia), Santiago Gutiérrez, Manuel M. Mallarino y Julio Fernández (Valle del Cauca), es diferente, la lluvia ocurre casi en igual proporción en la tarde y madrugada. Con base en los resultados de este estudio, la ubicación latitudinal sí tiene un efecto sobre el momento en el que se presentan las lluvias mayores a 20 mm h⁻¹, en horas de la tarde en las latitudes menores a 5,3° LN y en las noches en las latitudes mayores a esta. Esto no quiere decir que la distribución de la lluvia horaria y el máximo en el que se presentan las lluvias >20 mm h⁻¹ solo pueda ser explicado por su ubicación geográfica y altitudinal, sino que resulta de una combinación de condiciones ambientales locales y de gran escala, como lo han señalado Bedoya-Soto et al. (2019), Mapes, Warner, & Xu (2003), Mapes et al. (2003), Poveda et al. (2005), Suárez-Cobian (1959) y Trojer (1958).

La bimodalidad del ciclo diurno promedio fue encontrada en 18 estaciones de la región Central cafetera, principalmente en las ubicadas en la cuenca del río Cauca. Trojer (1958, 1959) encontró el mismo comportamiento del ciclo diurno para algunas estaciones de este estudio, atribuyéndolo a la doble circulación local por efecto de olas de aire frío, muy destacadas en las zonas húmedas montañosas donde predomina durante el año la inestabilidad de las masas de aire. Particularmente las estaciones Mesitas de Santa Inés (Cundinamarca), El Cedral (Risaralda) y Julio Fernández (Valle del Cauca), sin relación en altitud y ubicación, son las que han presentado lluvias mayores a 20 mm h⁻¹ en horas de la tarde.

Región Cafetera Sur. Las estaciones ubicadas por debajo de los 3° LN, en la cordillera Central – vertiente Occidental, muestran una

mayor ocurrencia de las lluvias en la tarde, con excepción de la estación Ospina Pérez (Nariño), donde se presentan en la noche. Coincide el momento en que ocurren las lluvias mayores a 20 mm h⁻¹ con la mayor ocurrencia de lluvias.

En el caso de las estaciones ubicadas en las laderas del valle del río Magdalena, Jorge Villamil (Huila) en la cordillera Oriental – vertiente Occidental, se observó que presenta sus lluvias con más frecuencia en la tarde, mientras que en Simón Campos (Huila) se presentan en la madrugada.

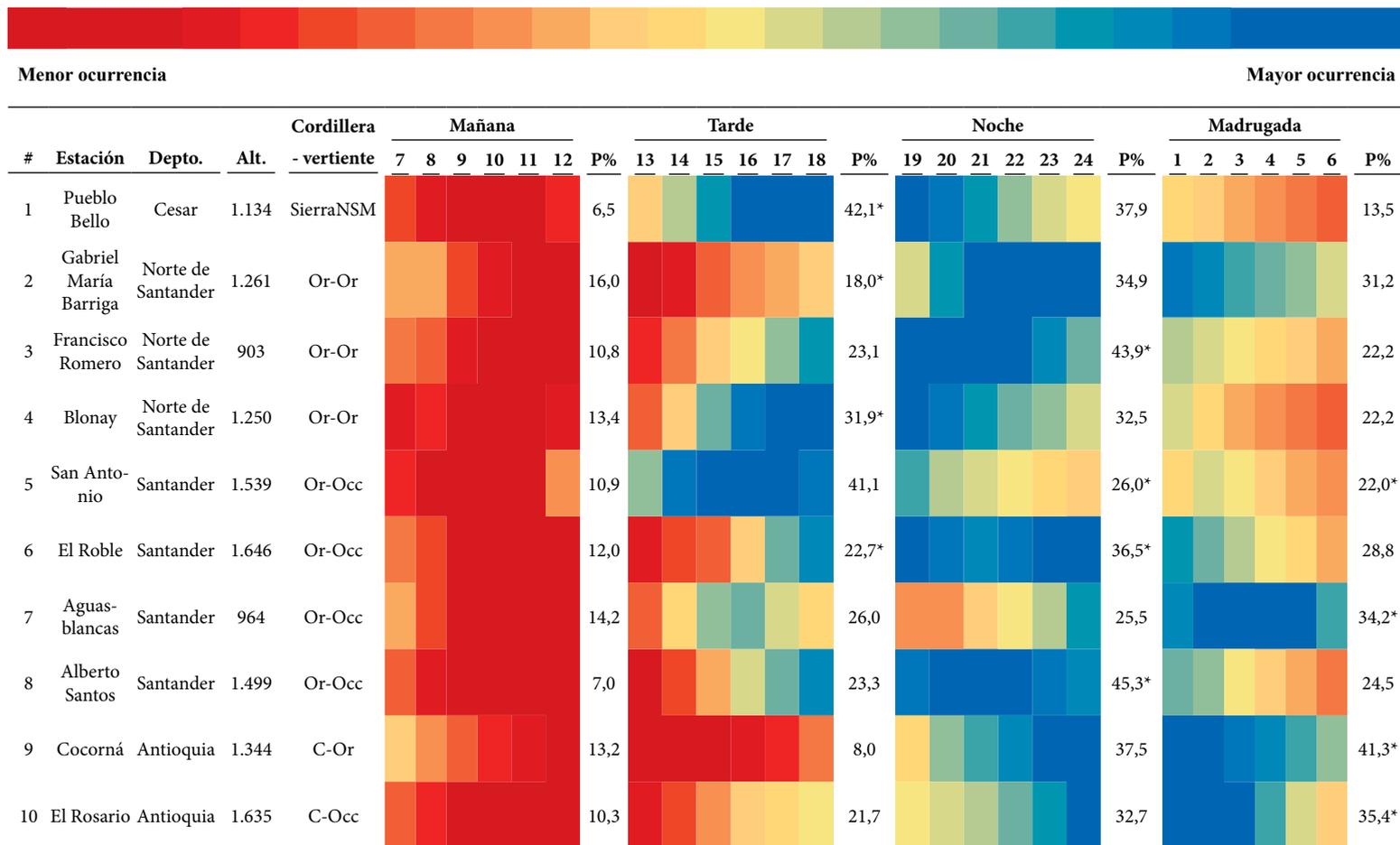
El clima de esta región está determinado principalmente por la influencia de las circulaciones intertropicales (vientos del Sur), que llega al gran macizo colombiano y hace que se presenten áreas con condiciones muy específicas (Suárez, 1974).

Se revisaron en conjunto las regiones cafeteras y se observó que tres estaciones ubicadas sobre la cordillera Central – vertiente Oriental (Chapetón y La Trinidad en Tolima, y Simón Campos en Huila), por debajo de los 5° LN, también presentan una ocurrencia significativa de lluvias en el horario de la mañana.

Considerando el comportamiento descrito para las regiones cafeteras, puede concluirse que es menor la ocurrencia de la lluvia en el horario de la mañana, principalmente en Pueblo Bello ubicada sobre la Sierra Nevada de Santa Marta y en las estaciones Alberto Santos y Bertha, ubicadas sobre la Oriental–vertiente Occidental.

En general, la predominancia de las lluvias mayores a 20 mm h⁻¹ en la mayoría de estaciones de la región cafetera es en la tarde, atribuido a un mayor contraste térmico en ese horario (Trojer, 1959).

Tabla 1. Distribución de la lluvia horaria en la región cafetera colombiana y jornada con mayor ocurrencia de lluvias >20 mm h⁻¹. La jornada con mayor ocurrencia de lluvia >20 mm h⁻¹ está representada por un asterisco (*) al lado del porcentaje de ocurrencia.



Continúa...

...continuación.

#	Estación	Depto.	Alt.	Cordillera - vertiente	Mañana						P%	Tarde						P%	Noche						P%	Madrugada						P%
					7	8	9	10	11	12		13	14	15	16	17	18		19	20	21	22	23	24		1	2	3	4	5	6	
11	Bertha	Boyacá	1.677	Or-Occ	[Red]						5,3	[Orange, Green, Blue]						35,0	[Blue, Teal]						42,0*	[Yellow, Orange, Red]						17,7
12	Virgen De Oro	Antioquia	1.656	Occ-Or	[Orange, Red]						11,7	[Red, Orange]						9,8	[Orange, Green, Teal, Blue]						35,4	[Blue, Teal, Green]						43,1*
13	La Cristalina	Antioquia	775	Occ-Or	[Yellow, Orange, Red]						10,0	[Orange, Red, Blue, Green]						7,6	[Orange, Green, Teal, Blue]						36,3	[Blue, Teal, Green]						46,1*
14	Miguel Valencia	Antioquia	1.621	Occ-Or	[Orange, Red]						11,8	[Orange, Green, Blue, Yellow]						28,8	[Orange, Yellow, Green, Teal, Blue]						27,3	[Blue, Teal, Green, Yellow]						32,0
15	Montelíbano	Cundinamarca	1.365	Or-Occ	[Red]						9,8	[Red, Orange, Yellow, Teal, Blue]						24,3	[Blue, Teal]						36,6*	[Teal, Green, Orange]						29,3
16	Ospirma	Risaralda	1.661	Occ-Or	[Green, Orange, Red]						15,8	[Orange, Yellow, Green, Yellow, Orange, Red]						21,5	[Orange, Orange, Yellow, Green, Teal]						24,2	[Blue, Teal, Green]						38,5*
17	Santa Helena	Caldas	1.395	C-Or	[Green, Yellow, Orange, Red]						20,8	[Red, Orange, Red]						5,4	[Orange, Orange, Yellow, Green, Teal, Blue]						27,2	[Blue, Teal, Green]						46,6*
18	Llano Grande	Caldas	1.414	C-Occ	[Orange, Red]						14,0	[Orange, Yellow, Yellow, Orange]						19,7	[Yellow, Yellow, Green, Teal, Blue]						27,5	[Blue, Teal, Green]						38,9*
19	La Elvira	Risaralda	1.540	Occ-Or	[Green, Orange, Red]						18,2	[Red, Orange, Yellow, Orange, Red]						19,1	[Orange, Orange, Yellow, Green, Teal]						23,1	[Teal, Blue, Teal, Green]						39,6*
20	Santágueda	Caldas	1.026	C-Occ	[Green, Yellow, Orange, Red]						14,1	[Red, Orange, Orange, Orange]						13,0	[Yellow, Yellow, Green, Teal, Teal]						27,2	[Blue, Teal, Green]						45,8*
21	Granja Luker	Caldas	1.031	C-Occ	[Green, Yellow, Orange, Red]						14,3	[Red, Orange, Orange, Orange]						12,6	[Orange, Yellow, Yellow, Green, Teal]						26,5	[Blue, Teal, Green]						46,6*
22	Agronomía	Caldas	2.088	C-Occ	[Orange, Red]						12,2	[Green, Blue, Blue, Blue, Teal, Green]						37,0*	[Yellow, Orange, Orange, Yellow, Yellow]						23,0	[Green, Green, Green, Yellow, Orange]						27,8
23	Almacafé Letras	Caldas	3.684	C-Or	[Red]						14,6	[Teal, Blue, Blue, Blue, Teal, Green]						34,6*	[Yellow, Yellow, Yellow, Green, Green, Green]						27,4	[Green, Yellow, Orange, Orange, Red]						23,4

Continúa...

...continuación.

#	Estación	Depto.	Alt.	Cordillera - vertiente	Mañana						Tarde						Noche						Madrugada								
					7	8	9	10	11	12	P%	13	14	15	16	17	18	P%	19	20	21	22	23	24	P%	1	2	3	4	5	6
24	La Margarita	Caldas	1.436	C-Occ							12,0						20,1							27,4							40,4*
25	La Palma	Caldas	1.165	C-Occ							15,5						17,1							24,7							42,7*
26	Cenicafé	Caldas	1.310	C-Occ							14,2						22,6							23,8							39,4*
27	Planalto	Caldas	1.413	C-Occ							14,0						22,7							24,3							39,0*
28	La Romelia	Caldas	1.335	C-Occ							14,4						21,3							23,4							40,9*
29	Naranjal	Caldas	1.381	C-Occ							14,2						21,7							23,6							40,6*
30	El Jazmín	Risaralda	1.635	C-Occ							14,2						31,4							21,3							33,1
31	La Trinidad	Tolima	1.456	C-Or							24,0						11,7							21,0							43,3*
32	El Pilamo	Risaralda	1.113	C-Occ							15,3						20,2							26,8							37,7*
33	Planta De Tratamiento	Risaralda	1.487	C-Occ							13,8						35,3*							23,2							27,7
34	Albán	Valle del Cauca	1.510	Occ-Occ							16,7						28,5*							26,3							28,4
35	La Catalina	Risaralda	1.321	C-Occ							13,8						28,4							26,4*							31,4
36	Santiago Gutiérrez	Valle del Cauca	1.530	Occ-Or							17,8						27,0*							26,2							28,9

Continúa...

...continuación.

#	Estación	Depto.	Alt.	Cordillera - vertiente	Mañana						Tarde						Noche						Madrugada																	
					7	8	9	10	11	12	P%	13	14	15	16	17	18	P%	19	20	21	22	23	24	P%	1	2	3	4	5	6	P%								
37	Mesitas De Santa Inés	Cundina- marca	1.340	Or-Occ																																				
38	El Recreo	Valle del Cauca	1.421	C-Occ																																				
39	El Cedral	Risaralda	2.120	C-Occ																																				
40	Arturo Gómez	Valle del Cauca	1.259	C-Occ																																				
41	Maracay	Quindío	1.402	C-Occ																																				
42	Misiones	Cundina- marca	1.540	Or-Occ																																				
43	El Agrado	Quindío	1.275	C-Occ																																				
44	La Bella	Quindío	1.449	C-Occ																																				
45	Chapetón	Tolima	1.353	C-Or																																				
46	Paraguai- cito	Quindío	1.203	C-Occ																																				
47	Granja Tibacuy	Cundina- marca	1.538	Or-Occ																																				
48	La Espe- ranza	Quindío	1.667	C-Occ																																				

Continúa...

...continuación.

#	Estación	Depto.	Alt.	Cordillera	Mañana							Tarde						Noche						Madrugada								
					- vertiente	7	8	9	10	11	12	P%	13	14	15	16	17	18	P%	19	20	21	22	23	24	P%	1	2	3	4	5	6
49	La Sirena	Valle del Cauca	1.519	C-Occ								16,2						28,9*							25,2							29,7
50	Manuel M. Mallarino	Valle del Cauca	1.331	Occ-Or								17,9						24,8*							25,6							31,7
51	Julio Fernández	Valle del Cauca	1.381	Occ-Or								19,3						25,1*							22,2							33,4
52	La Selva	Valle del Cauca	1.805	C-Occ								16,4						37,3*							22,2							24,2
53	El Campín	Tolima	1.219	Or-Occ								25,9						24,8							16,6							32,7*
54	La Trinidad	Cauca	1.671	C-Occ								11,1						38,1*							27,5							23,3
55	Manuel Mejía	Cauca	1.735	C-Occ								10,9						32,9*							29,8							26,3
56	Simón Campos	Huila	1.754	C-Or								27,1						22,2							18,3							32,4*
57	Jorge Villamil	Huila	1.420	Or-Occ								24,6						32,6*							18,1							24,7
58	El Sauce	Nariño	1.609	C-Occ								11,0						34,9*							28,3							25,9
59	Ospina Pérez	Nariño	1.603	C-Occ								10,7						26,9							31,8*							30,5

*Jornada del ciclo diurno con mayor ocurrencia de lluvias mayores a 20 mm h⁻¹. C: Central, Occ: Occidental, Or: Oriental, SNSM: Sierra Nevada de Santa Marta.

Trojer fue pionero en interpretar la distribución de la lluvia horaria de la región cafetera colombiana. En este trabajo, utilizando una mayor cantidad de datos horarios de lluvia y más estaciones, se posibilitó un mejor entendimiento de la distribución horaria, que como lo reitera Trojer en varios de sus trabajos, está claramente influenciada por las circulaciones locales y la ubicación topográfica. Por efecto de la circulación diurna local, la estación El Cedral presenta una mayor frecuencia de las lluvias en horas de la tarde. Al contrario, sería una circulación nocturna, que se desarrolla cuando el aire frío de la montaña fluye hacia el valle donde asciende, produciendo las lluvias predominantes en la noche, como se evidencia en la estación Santa Helena. También hay sitios donde actúan ambas circulaciones (diurna y nocturna), reflejado claramente en El Jazmín (Risaralda), El Agrado, La Bella (Quindío) y La Sirena (Valle del Cauca), donde la distribución horaria tiene dos máximos. En algunos casos, la ubicación latitudinal, altitudinal y de cordillera y vertiente explican la influencia de las circulaciones locales sobre la distribución horaria de la lluvia, el cual también está relacionado con la topografía, los vientos y la nubosidad (Trojer, 1959).

Tendencia en la lluvia máxima

Los resultados de la prueba Mann Kendall para 28 estaciones analizadas (Figura 4 y Tabla 2), revelan que existe mayor proporción de estaciones con tendencias crecientes en las lluvias máximas en todas las duraciones analizadas, sin embargo, en pocas estaciones fue significativa. Un mayor número de estaciones tienen tendencias crecientes significativas para la duración de 12 horas, en las que se destacan Naranjal (Caldas), La Catalina (Risaralda), Paraguaicito y La Bella (Quindío), ubicadas sobre la vertiente Occidental de la cordillera Central.

Analizando los resultados basados en las regiones cafeteras de Colombia, se observa que en la región Norte (7° N a 11°N), en las estaciones Pueblo Bello (Cesar) y Francisco Romero (Norte de Santander) se presentaron tendencias crecientes no significativas en todas las duraciones, mientras que en la estación Blonay, ubicada también en Norte de Santander, la tendencia es decreciente en la lluvia máxima horaria en todas las duraciones.

Tabla 2. Tendencias de la lluvia máxima en 1, 2, 4, 6, 12 y 24 horas por la prueba Mann Kendall.

Estaciones Analizadas		28											
		1 hora		2 horas		4 horas		6 horas		12 horas		24 horas	
Tendencia Creciente	No Significativa	13	46%	14	50%	17	61%	15	54%	12	43%	18	64%
	Significativa	1	4%	2	7%	1	4%	2	7%	4	14%	2	7%
Tendencia Decreciente	No Significativa	13	46%	12	43%	10	36%	10	36%	11	39%	8	29%
	Significativa	1	4%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Sin Tendencia		0	0%	0	0%	0	0%	1	4%	1	4%	0	0%

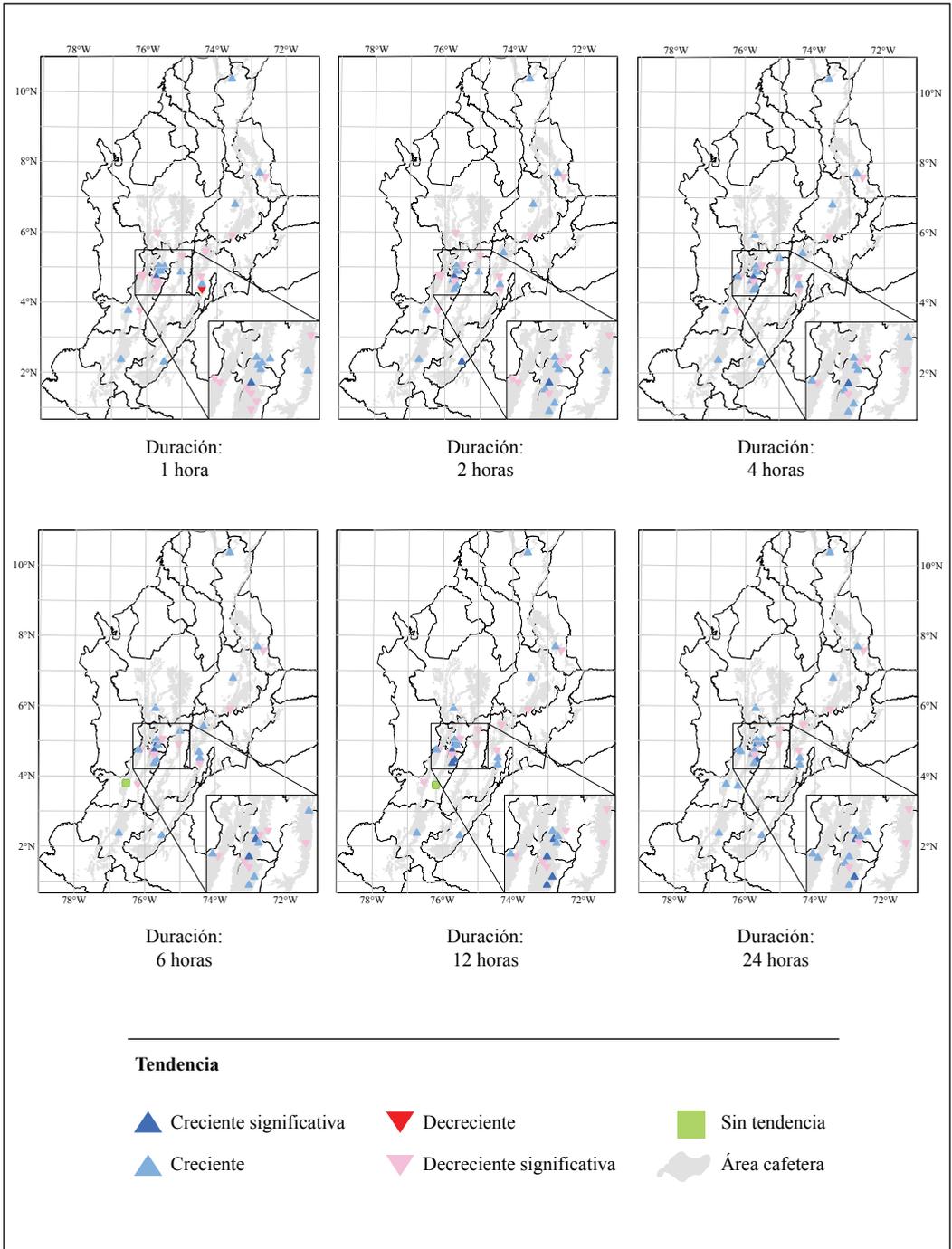


Figura 4. Tendencias reportadas en la prueba Mann Kendall para lluvias con duraciones de 1, 2, 4, 6, 12 y 24 horas.

En la región cafetera Central (3°N a 7°N) sobresalen las estaciones Naranjal (Caldas), La Catalina (Risaralda), La Bella y Paraguaicito (Quindío) por presentar tendencia creciente significativa en al menos una de las duraciones de lluvias máximas. La estación Granja Tibacuy (Cundinamarca) fue la única que presentó tendencia decreciente significativa en las lluvias máximas en una hora. En términos generales, para esta región se identificaron tres estaciones con tendencias crecientes en lluvia en todas las duraciones, y dos estaciones con tendencias decrecientes en todas las duraciones, a pesar de no ser significativas, indican que sus intensidades a nivel horario están aumentando o disminuyendo, respectivamente. Particularmente, las estaciones La Selva y Julio Fernández, ubicadas en el departamento de Valle del Cauca, en la franja entre 3,75°N y 3,8°N, no presentaron tendencia en una de las duraciones de lluvia máxima; ambas presentaron comportamiento contrario entre ellas en las lluvias máximas en 1, 2 y 4 horas, y similar en la lluvia máxima en 24 horas. De acuerdo con los resultados, no se logra identificar una asociación geográfica por ubicación en cordillera ni vertiente en la región central.

El estudio de Correa Ortiz et al. (2021), identifica una tendencia creciente significativa en la lluvia mensual entre los años 1972 y 2010, en una estación ubicada en Marquetalia (Caldas), sin embargo, para una estación ubicada en ese municipio no se evidencia tendencia en la lluvia máxima en 1 hora, aunque sí se advierte una tendencia creciente significativa en la cantidad de eventos Moderados Fuertes (MF) y Fuertes (F).

En la región cafetera Sur, que va desde 1°N hasta 3°N, las estaciones Jorge Villamil en el Huila y Manuel Mejía en el Cauca, presentaron tendencias crecientes en las lluvias máximas para todas las duraciones evaluadas, aunque

solo fue significativa para Jorge Villamil en lluvias máximas en dos horas.

Hallazgos similares fueron reportados por Mayorga, Hurtado, & Benavides (2011), mostrando una tendencia creciente significativa para lluvias fuertes entre 1971 y 2010, en la mayoría de estaciones ubicadas en la región Andina. Así mismo, este resultado concuerda con la tendencia positiva en la intensidad de la lluvia a nivel global encontrada por Giorgi et al. (2011), aunque fue insignificante para América del Sur para el siglo XXI.

Suárez (1975) resaltó que las regiones donde se presentaron los valores más altos en 24 horas, también presentaron las mayores cifras en una hora, a pesar de esto, la tendencia en lluvias máximas en 1 hora y 24 horas se mantiene en las regiones Norte y Sur, mientras que en la Central hay cambio en la tendencia para algunas estaciones.

Los resultados del estudio de Carmona y Poveda (2014), que analizaron la tendencia de la lluvia mensual en Colombia, exhiben un patrón mixto de tendencias crecientes y decrecientes para series entre 25 y 40 años de registros, similar a los resultados obtenidos para lluvias máximas en una hora. De forma semejante ocurre con las tendencias encontradas en series con más de 50 años de registros y los resultados de lluvia máxima en 24 horas, en las que un mayor porcentaje de estaciones presenta tendencias crecientes.

ITA Lluvia Máxima en una hora

Los resultados de ITA para la lluvia máxima en una hora se presentan en la Tabla 3, en la cual para cada estación se expone el valor del índice PTM, el porcentaje de eventos para cada categoría (LM, MF, F y T) en la serie de lluvia máxima en una hora, desde 1980 -2019, y el porcentaje de eventos de cada

categoría que exhibió una tendencia concreta con respecto al total de eventos de la primera mitad de la serie, junto con el símbolo que indica tendencia creciente (↑) o decreciente (↓).

El índice PTM (Tabla 3) indica que siete estaciones presentan tendencia significativa en la lluvia máxima en una hora, en cinco fue creciente y en dos fue decreciente. Los resultados son coincidentes con respecto a la tendencia mostrada por la metodología MK, sin embargo, en esta sólo fue significativa en dos estaciones; por lo que ITA valora con mejor precisión la tendencia de acuerdo a la categoría de la lluvia en una hora.

En la Tabla 3 puede identificarse que una mayor cantidad de estaciones tiene sus lluvias máximas en una hora en las categorías moderada fuerte y fuerte, y en pocas estaciones se presentan lluvias máximas dentro de la categoría torrencial, salvo por las estaciones Francisco Romero (Norte de Santander) y Santa Helena (Caldas). Esto es consistente con los resultados presentados por Suárez (1975), en el que reportó a Francisco Romero como la estación con las mayores lluvias máximas en una hora, y el 70% de las estaciones con lluvias máximas en una hora entre 35 y 45 mm.

La Figura 5 ilustra los gráficos de los resultados del ITA durante 1980 a 2020, para las estaciones que presentaron tendencia significativa. La estación Pueblo Bello (Figura 5a) exhibe una tendencia de aumento en las intensidades de lluvia MF y T, en la que el 30% de eventos de la primera mitad de la serie se encuentra por encima de la línea +10%. Las lluvias fuertes exhiben aumento, ya que todos los eventos se encuentran por encima de la línea 1:1, pero solo el 35% de eventos muestra una tendencia creciente significativa.

En la estación Francisco Romero (Figura 5b) las lluvias máximas horarias se concentran

en los rangos F y T. En los últimos 20 años ha aumentado la cantidad (mm h^{-1}) de las lluvias máximas horarias.

En la estación Granja Tibacuy (Figura 5c) la mayoría de los eventos se encuentran por debajo de la línea -10%, indicando una disminución en los rangos de lluvia MF y F. En los últimos 20 años la mayor cantidad de lluvias máximas horarias estuvo por debajo de 40 mm h^{-1} , similar a lo encontrado por Suárez (1975), mientras que en la primera mitad de la serie hubo lluvias por encima de ese valor.

En La Catalina (Figura 5d) la mayoría de eventos se encuentran por encima de la línea +10% en las categorías de lluvia MF y F, lo que sugiere un aumento significativo en la cantidad de lluvia horaria, conduciendo a un cambio hacia categorías más intensas o mayor lluvia en los últimos 20 años.

En Albán (Figura 5e) se presentó una tendencia decreciente significativa, principalmente en la categoría MF. En Julio Fernández (Figura 5f) cerca de la mitad de eventos se encuentran entre las líneas 1:1 y +10%, sin que pueda determinarse una tendencia en cambio.

En Jorge Villamil (Figura 5g) la tendencia general es creciente, y específicamente los eventos de lluvia MF sugieren un aumento en la cantidad de lluvia y en categoría, situando en igual proporción en la segunda mitad de la serie, las lluvias moderadas fuertes y fuertes.

Estaciones como El Rosario, Cenicafé, La Selva y Arturo Gómez no presentaron tendencia general significativa en el índice PTM, sin embargo, en las categorías F y T se manifiesta una disminución significativa de las lluvias máximas horarias. Para el resto no se identificó un cambio significativo.

Tabla 3. Tendencia de la lluvia máxima en una hora según el índice PTM, porcentaje de eventos de acuerdo a la categoría de lluvia máxima en una hora desde 1980–2019 y porcentaje de eventos de la primera mitad de la serie que presenta tendencia por encima o por debajo de la línea $\pm 10\%$. (LM: ligero moderada; MF: moderado fuerte; F: fuerte; T: torrencial).

Estación	Departamento	Región	PTM General	Porcentaje (%) de eventos de cada categoría en la serie 1980 - 2019				*Porcentaje de eventos de la primera mitad de la serie, que presenta tendencia por encima (↑) o debajo (↓) de la línea $\pm 10\%$							
				LM	MF	F	T	LM	MF	F	T				
Pueblo Bello	Cesar	Norte	1,18 *	0	8	73	20		↑	15%	↑	35%	↑	15%	
Blonay	Norte de Santander	Norte	-0,62	5	61	24	11				↓	21%			
Francisco Romero	Norte de Santander	Norte	1,28 *	0	0	45	55				↑	25%	↑	15%	
Aguasblancas	Santander	Norte	0,00	0	28	48	25								
Bertha	Boyacá	Norte	-0,03	0	63	32	5		↑	16%					
El Rosario	Antioquia	Centro	-0,54	0	23	68	10		↑	20%			↓	20%	
Granja Tibacuy	Cundinamarca	Centro	-1,76 *	5	78	18	0	↓	5%	↓	62%	↓	24%		
Misiones	Cundinamarca	Centro	0,86	3	58	35	5	↑	5%	↑	19%	↑	10%		
Mesitas De Santa Inés	Cundinamarca	Centro	-0,70	0	42	53	5			↓	16%	↓	5%		
Montelíbano	Cundinamarca	Centro	-0,43	0	20	68	13			↓	5%	↓	5%	↓	20%
Naranjal	Caldas	Centro	0,85	0	15	68	18			↑	5%	↑	15%	↑	5%
Santa Helena	Caldas	Centro	-0,11	0	0	29	71							↓	5%
Cenicafé	Caldas	Centro	-0,40	0	23	48	30			↓	5%	↑	10%	↓	15%

Continúa...

...continuación.

Estación	Departamento	Región	PTM General	Porcentaje (%) de eventos de cada categoría en la serie 1980 - 2019				*Porcentaje de eventos de la primera mitad de la serie, que presenta tendencia por encima (↑) o debajo (↓) de la línea ±10%					
				LM	MF	F	T	LM	MF	F	T		
Santágueda	Caldas	Centro	0,52	0	45	53	3	↑	10%	↑	15%		
Agronomía	Caldas	Centro	0,91	3	66	29	3	↑	21%	↑	11%		
La Trinidad	Tolima	Centro	0,64	0	10	80	10			↑	10%	↑	5%
La Catalina	Risaralda	Centro	1,46 *	0	33	55	13			↑	35%		
El Jazmín	Risaralda	Centro	0,19	0	23	68	10	↑	10%				
Paraguacito	Quindío	Centro	-0,49	0	18	83	0				↓	10%	
La Bella	Quindío	Centro	-0,49	0	30	55	15	↑	5%	↓	5%	↓	5%
Maracay	Quindío	Centro	-0,22	0	24	58	18	↓	5%				
La Selva	Valle del Cauca	Centro	-0,33	0	58	40	3	↑	10%	↓	25%	↓	5%
Santiago Gutiérrez	Valle del Cauca	Centro	0,65	5	70	25	0	↓↑	20%	↑	20%		
Albán	Valle del Cauca	Centro	-1,06 *	11	79	8	3	↓	84%	↑	5%		
Julio Fernández	Valle del Cauca	Centro	0,95 *	5	78	18	0	↑	10%	↑	35%		
Arturo Gómez	Valle del Cauca	Centro	-0,63	0	53	43	5	↑	10%	↓	20%	↓	10%
Jorge Villamil	Huila	Sur	1,99 *	8	70	20	3	↑	80%				
Manuel Mejía	Cauca	Sur	-0,12	0	40	55	5	↓	5%	↓	5%	↓	10%

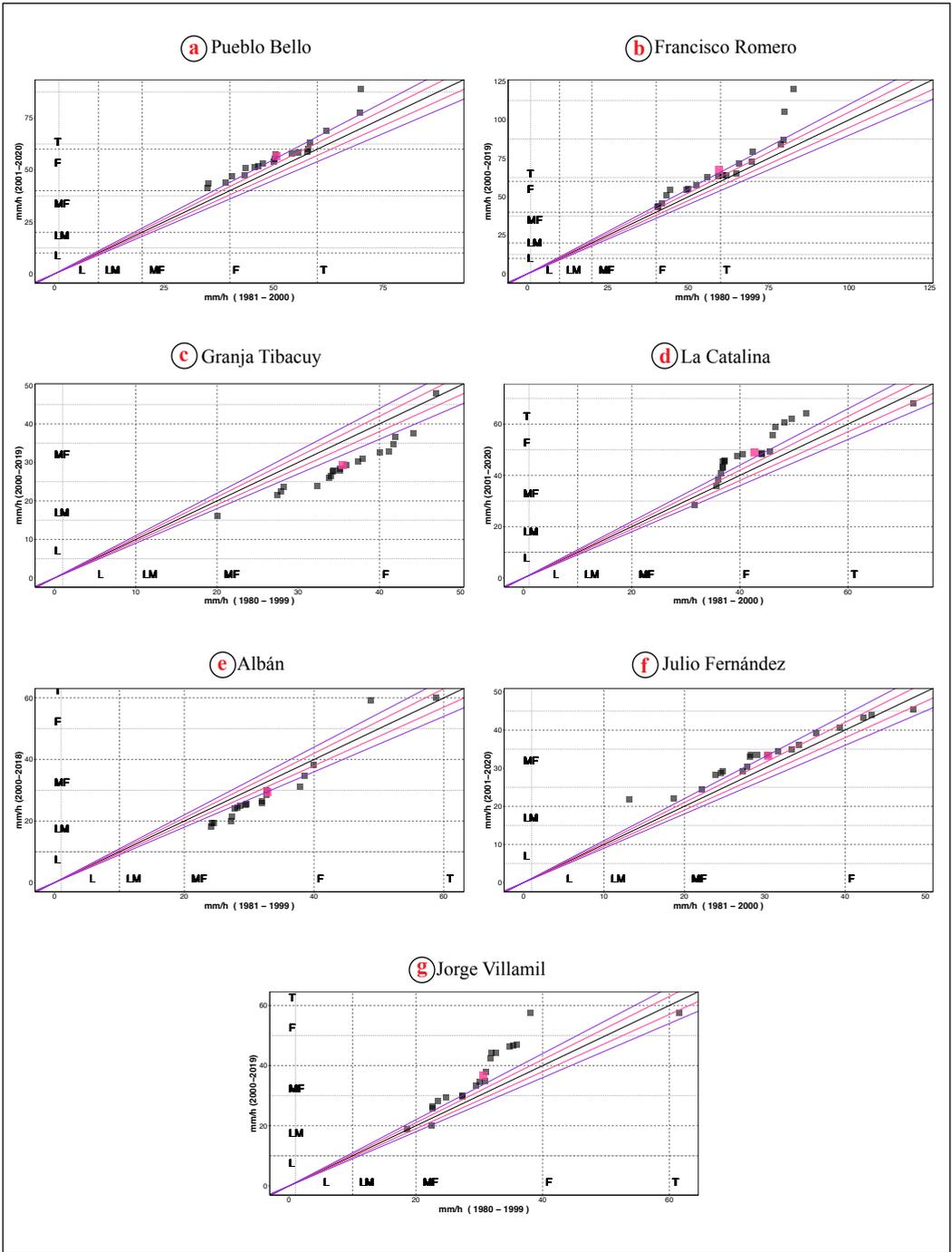


Figura 5. Gráficos del ITA para la lluvia máxima en 1 hora. La línea diagonal continua negra es la línea 1:1, las líneas discontinuas son las líneas de $\pm 10\%$.

Distintivamente, la región cafetera Norte es la que presenta los mayores valores de lluvia máxima en una hora, seguida por la región cafetera Central y Sur, corroborando el estudio de Suárez (1975).

Resultados ITA cantidad de eventos de lluvia horaria

El índice de tendencia parcial PTM y la tendencia reflejada en el gráfico ITA para cada una de las categorías de lluvia horaria (Tabla 4), revela una tendencia específica para la mayoría de estaciones, en las categorías de lluvia LM, MF y F. En las estaciones Pueblo Bello, Misiones, Santágueda y Manuel Mejía, se detectó una tendencia creciente en la cantidad de eventos en todas sus categorías de lluvia. En Blonay, Granja Tibacuy, Santa Helena, Paraguaicito, Julio Fernández y Arturo Gómez, se presenta una tendencia decreciente en alguna categoría de lluvia. Es particular que, en tres de ellas, ocurra un incremento en la cantidad de eventos de otra categoría de lluvia.

Marín (2017), Ocampo et al. (2020) y Ocampo (2018), encontraron que la intensidad y frecuencia de los eventos extremos de lluvia, han mostrado tendencias positivas en la mayoría de las estaciones de la zona Sur de Caldas, especialmente en las estaciones Naranjal y Santágueda, donde se confirma con este estudio, que están aumentando los eventos en todas las categorías de lluvia.

Otras estaciones como Francisco Romero, Aguasblancas, Bertha, El Rosario, Mesitas de Santa Inés, Agronomía, La Catalina, La Bella y La Selva, muestran una tendencia creciente significativa en alguna de sus categorías de lluvia. El resto de estaciones no experimenta una tendencia en la cantidad de eventos de lluvia. Coincide la tendencia encontrada en la lluvia máxima horaria, con la cantidad de eventos de lluvia horaria.

En estudios que analizaron las tendencias en lluvias extremas en otros países de la región tropical, como Brasil, Etiopía, Kenia, Tanzania, India y Malasia Peninsular, Silva Dias et al. (2013) afirmaron que los índices climáticos como la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO, por sus siglas en inglés) y la Oscilación del Atlántico Norte (NAO, por sus siglas en inglés) juegan un papel importante en la explicación de la tendencia en aumento y la variabilidad observada de las cantidades y frecuencias de las lluvias diarias extremas en Brasil. En algunas estaciones de Etiopía, Kenia y Tanzania los extremos de lluvia no mostraron un cambio significativo (Gebrechorkos et al., 2019). Sin embargo, en Malasia Peninsular los eventos de lluvias extremas por hora mostraron una tendencia creciente entre los años 1975 y 2010 (Syafrina et al., 2015). El estudio realizado por Sa'adi et al. (2019) también detectó tendencias crecientes en las lluvias máximas de una y tres horas en Sarawak (Malasia), sin embargo, no fueron significativas. En la mayor parte de la India peninsular, el número de horas de lluvia mostró una tendencia creciente, mientras que en el resto de la India se observó una disminución (Deshpande et al., 2012). Los hallazgos de estos estudios, evidencian que las tendencias no son generalizadas en las regiones, por lo que no hay un patrón espacial definido; además, la proporción de tendencias crecientes es mayor o igual que las tendencias decrecientes, y muy pocas estaciones presentan significancia estadística.

Puede concluirse que en la región cafetera colombiana, el promedio de horas secas (0 mm) en el año es de 7.841, las lluvias ligeras (0,1 a 10 mm), corresponden al 58% de la lluvia total anual, con un promedio de 884 horas anuales, las lluvias Ligeras Moderadas (10,1 a 20 mm) son en promedio 28 (20% de la cantidad de lluvia anual), las lluvias

Tabla 4. Tendencia del número de eventos de lluvia para cada categoría (L=Ligera, LM=Ligera Moderada, MF=Moderada Fuerte, F=Fuerte, T=Torrencial) según el índice PTM y el análisis gráfico.

Estación	Departamento	L (0,1 a 10 mm h ⁻¹)		LM (10,1 a 20 mm h ⁻¹)		MF (20,1 a 40 mm h ⁻¹)		F (40,1 a 60 mm h ⁻¹)		T (>60 mm h ⁻¹)	
		PTM	Tendencia	PTM	Tendencia	PTM	Tendencia	PTM	Tendencia	PTM	Tendencia
Pueblo Bello	Cesar	2,5	↑	2,2	↑	1,7	↑	2,5	↑		
Blonay	Norte de Santander	0,0		-1,2	↓	0,5		1,3			
Francisco Romero	Norte de Santander									2,5	↑
Aguasblancas	Santander	0,6		1,6	↑	2,8	↑	3,3	↑		
Bertha	Boyacá	0,8		0,2		1,2	↑	1,7	↑		
El Rosario	Antioquia	1,3	↑	1,9	↑	2,5	↑	-0,6			
Granja Tibacuy	Cundinamarca	1,0	↑	0,1		-1,9	↓				
Misiones	Cundinamarca	2,4	↑	1,0		1,3	↑				
Mesitas De Santa Inés	Cundinamarca	0,7		1,9	↑	-0,1		2,8	↑		
Montelibano	Cundinamarca	0,8		0,5		0,3		-0,5			
Naranjal	Caldas	0,6		1,3	↑	1,8	↑	2,1	↑		
Santa Helena	Caldas	0,8		0,6		1,1	↑	3,8	↑	-1,8	↓
Cenicafé	Caldas	0,4		0,6		0,6		-0,7			
Santágueda	Caldas	1,9	↑	2,5	↑	4,5	↑	1,9	↑		

Continúa...

...continuación.

Estación	Departamento	L (0,1 a 10 mm h ⁻¹)		LM (10,1 a 20 mm h ⁻¹)		MF (20,1 a 40 mm h ⁻¹)		F (40,1 a 60 mm h ⁻¹)		T (>60 mm h ⁻¹)	
		PTM	Tendencia	PTM	Tendencia	PTM	Tendencia	PTM	Tendencia	PTM	Tendencia
Agromonía	Caldas	-0,3		-0,7		1,6	↑				
La Trinidad	Tolima	0,4		0,3		-0,3					
La Catalina	Risaralda	1,8	↑	0,9		1,6	↑	5,9	↑		
El Jazmín	Risaralda	0,9		0,4		0,7		1,0			
Paraguaicito	Quindío	0,3		0,5		2,4	↑	-3,5	↓		
La Bella	Quindío	0,4		0,7		0,8		1,7	↑		
Maracay	Quindío	-0,1		-0,3		-0,3		0,4			
La Selva	Valle del Cauca	0,4		1,3	↑	-0,9					
Santiago Gutiérrez	Valle del Cauca	-0,6		-0,6		-0,9					
Albán	Valle del Cauca	0,8		0,4		1,0					
Julio Fernández	Valle del Cauca	-0,1		-1,4	↓	-1,4	↓				
Arturo Gómez	Valle del Cauca	0,8		2,2	↑	3,8	↑	-2,5	↓		
Jorge Villamil	Huila	0,6		0,1		0,6					
Manuel Mejía	Cauca	2,0	↑	1,9	↑	3,2	↑	1,9	↑		

Moderadas Fuertes, concernientes al 14% de la lluvia anual, son en promedio 10 horas al año, y las lluvias Fuertes y Torrenciales son menos frecuentes en el año con respecto al resto de categorías y aportan ambas el 4% de la cantidad de lluvia anual.

En la región cafetera Norte, en la mayoría de estaciones, las lluvias ocurren con mayor frecuencia en las noches, mientras que en la región cafetera Sur hay una mayor ocurrencia de las lluvias en la tarde.

En la región cafetera Central para las estaciones ubicadas sobre la cordillera Oriental – vertiente Occidental, no hay un patrón claro generalizado de la ocurrencia de las lluvias. En la misma región, para las estaciones de la vertiente Occidental de la cordillera Central, a partir de los 3° de LN hasta los 4,8° LN, hay una mayor ocurrencia de lluvias en la tarde y madrugada. A partir de los 4,8° de LN hasta los 5,9° de LN, las lluvias son más frecuentes en horas de la noche y madrugada, así como en las estaciones ubicadas sobre la vertiente Oriental de la cordillera Occidental.

La lluvia máxima en una hora está aumentando en las estaciones Pueblo Bello, Francisco Romero, La Catalina, Julio Fernández y Jorge Villamil, y disminuyendo en las estaciones Granja Tibacuy y Albán. Estos resultados serán la base para afrontar una gestión adecuada de las lluvias máximas en las áreas cafeteras donde se encuentran ubicadas estas estaciones, para asegurar que las estructuras (terrazas, acequias de ladera, zanjas de desviación, drenajes) tengan una capacidad que les permita desalojar las máximas cantidades de agua que pueden llegar a ellas durante el tiempo de vida que previamente se les ha calculado (Suárez, 1947); esto implica una actualización de las curvas intensidad–duración–frecuencia.

La gran diversidad de las condiciones topográficas de los Andes colombianos y los cambios en la radiación incidente (Jaramillo, 2005) y, el clima tropical húmedo de Colombia (Mesa et al., 2021), hacen parte de los factores que influyen en la alta variabilidad espacio temporal de la lluvia. Al identificar la tendencia en lluvias máximas entre 1980 y 2019, no se presentó significancia estadística y, las condiciones altamente contrastantes asociadas a la orografía y topografía, no permitieron encontrar un patrón regional.

El número de eventos de lluvia de diferentes intensidades está aumentando significativamente en la mayoría de estaciones de la región cafetera. Especialmente en las categorías Moderada Fuerte y Fuerte. Se destacan Pueblo Bello, Santágueda y Manuel Mejía por presentar aumento significativo en los eventos de todas sus categorías de lluvia.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los auxiliares de la disciplina de Agroclimatología de Cenicafé, a la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia por patrocinar la realización de la investigación ACL102010. Al profesor de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales, Jorge Julián Vélez Upegui Ph.D., por la asesoría brindada en la formulación del estudio. Esta investigación fue financiada por Recursos propios Cenicafé, proyecto número ACL102010.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización: CRC y JCGL, Curación de datos: CRC, Redacción borrador-original: CRC y NGS, Metodología: CRC y JCGL, Validación: CRC, JCGL y NGS, Redacción - revisión y edición: CRC, JCGL y NGS. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Alifujiang, Y., Abuduwaili, J., Maihemuti, B., Emin, B., & Groll, M. (2020). Innovative Trend Analysis of Precipitation in the Lake Issyk-Kul Basin, Kyrgyzstan. *Atmosphere*, 11(4), 332. <https://doi.org/10.3390/atmos11040332>
- Ávila, Á., Guerrero, F., Escobar, Y., & Justino, F. (2019). Recent Precipitation Trends and Floods in the Colombian Andes. *Water*, 11(2), 379. <https://doi.org/10.3390/w11020379>
- Bedoya-Soto, J. M., Aristizábal, E., Carmona, A. M., & Poveda, G. (2019). Seasonal Shift of the Diurnal Cycle of Rainfall Over Medellín's Valley, Central Andes of Colombia (1998–2005). *Frontiers in Earth Science*, 7, 92. <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00092>
- Beguera, S., & Lorente, A. (2002). *Landslide hazard mapping by multivariate statistics: Comparison of methods and case study in the Spanish Pyrenees* [Preprint]. CSIC. <http://dspace.library.uu.nl/handle/1874/23543>
- Carmona, A. M., & Poveda, G. (2014). Detection of long-term trends in monthly hydro-climatic series of Colombia through Empirical Mode Decomposition. *Climatic Change*, 123(2), 301–313. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-1046-3>
- Cerón, W. L., Andreoli, R. V., Kayano, M. T., Canchala, T., Ocampo-Marulanda, C., Avila-Diaz, A., & Antunes, J. (2022). Trend Pattern of Heavy and Intense Rainfall Events in Colombia from 1981–2018: A Trend-EOF Approach. *Atmosphere*, 13(2), 156. <https://doi.org/10.3390/atmos13020156>
- Correa Ortiz, L. C., Ocampo López, O. L., & Alba Castro, M. F. (2021). Análisis de tendencia de temperatura y precipitación para el departamento de Caldas (Colombia), mediante wavelets. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 31(1), 37–52. <https://doi.org/10.18359/rcin.4900>
- Delgado, V., Zambrano, J., & Lez, J. V. (2020). *The knowledge of the spatial-temporal rainfall patterns as a tool for storm-design. Case study: Manizales, Colombia* [Preprint]. Authorea. <https://doi.org/10.22541/au.158921470.04015184>
- Deshpande, N. R., Kulkarni, A., & Krishna Kumar, K. (2012). Characteristic features of hourly rainfall in India. *International Journal of Climatology*, 32(11), 1730–1744. <https://doi.org/10.1002/joc.2375>
- Efron, B., & Tibshirani, R. J. (1994). *An Introduction to the Bootstrap*. Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9780429246593>
- Federación Nacional de Cafeteros. (s. f.). Estadísticas Cafeteras. *Federación Nacional de Cafeteros*. Recuperado 31 de enero de 2023, de <https://federaciondecafeteros.org/wp/estadisticas-cafeteras/>
- García-Delgado, H., Machuca, S., & Medina, E. (2019). Dynamic and geomorphic characterizations of the Mocoa debris flow (March 31, 2017, Putumayo Department, southern Colombia). *Landslides*, 16(3), 597–609. <https://doi.org/10.1007/s10346-018-01121-3>
- Gebrechorkos, S. H., Hülsmann, S., & Bernhofer, C. (2019). Changes in temperature and precipitation extremes in Ethiopia, Kenya, and Tanzania. *International Journal of Climatology*, 39(1), 18–30. <https://doi.org/10.1002/joc.5777>
- Giorgi, F., Im, E.-S., Coppola, E., Diffenbaugh, N. S., Gao, X. J., Mariotti, L., & Shi, Y. (2011). Higher Hydroclimatic Intensity with Global Warming. *Journal of Climate*, 24(20), 5309–5324. <https://doi.org/10.1175/2011JCLI3979.1>
- Giraldo-Osorio, J., Trujillo-Osorio, D., & Baez-Villanueva, O. (2022). Analysis of ENSO-Driven Variability, and Long-Term Changes, of Extreme Precipitation Indices in Colombia, Using the Satellite Rainfall Estimates CHIRPS. *Water*, 14(11), 1733. <https://doi.org/10.3390/w14111733>
- Gómez Blanco, J. A. (2010). *Análisis de las precipitaciones horarias y decadales en Colombia*. IDEAM.
- Hatfield, J. L., Boote, K. J., Kimball, B. A., Ziska, L. H., Izaurralde, R. C., Ort, D., Thomson, A. M., & Wolfe, D. (2011). Climate Impacts on Agriculture: Implications for Crop Production. *Agronomy Journal*, 103(2), 351–370. <https://doi.org/10.2134/agronj2010.0303>
- Helwig, N. E. (2023). *nptest: Nonparametric Bootstrap and Permutation Tests* (1.1) [Software]. <https://cran.r-project.org/web/packages/nptest/index.html>
- Huang, B., Thorne, P. W., Banzon, V. F., Boyer, T., Chepurin, G., Lawrimore, J. H., Menne, M. J., Smith, T. M., Vose, R. S., & Zhang, H.-M. (2017). Extended Reconstructed Sea Surface Temperature, Version 5 (ERSSTv5):

- Upgrades, Validations, and Intercomparisons. *Journal of Climate*, 30(20), 8179–8205. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0836.1>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (s/f). *Boletín Semanal para el Sector Agrícola*. Recuperado el 5 de mayo de 2024, de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/boletin-semanal-de-seguimiento-y-pronostico>
- Jaramillo, A. (2005). Lluvias máximas en 24 horas para la región Andina de Colombia. *Revista Cenicafé*, 56(4), 250–268.
- Jaramillo, A. (2018). *El clima de la caficultura en Colombia*. Cenicafé. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0031>
- Jaramillo, A., & Kogson, F. (1994). Características de las lluvias máximas en la zona cafetera colombiana. *Revista Cenicafé*, 45(1), 25–34. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/1131/>
- Kendall, M. G. (1948). *Rank correlation methods*. Griffin.
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica*, 13(3), 245–259. <https://doi.org/10.2307/1907187>
- Mapes, B. E., Warner, T. T., & Xu, M. (2003). Diurnal Patterns of Rainfall in Northwestern South America. Part III: Diurnal Gravity Waves and Nocturnal Convection Offshore. *Monthly Weather Review*, 131(5), 830–844. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2003\)131<0830:DPORIN>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2003)131<0830:DPORIN>2.0.CO;2)
- Mapes, B. E., Warner, T. T., Xu, M., & Negri, A. J. (2003). Diurnal Patterns of Rainfall in Northwestern South America. Part I: Observations and Context. *Monthly Weather Review*, 131(5), 799–812. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2003\)131<0799:DPORIN>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2003)131<0799:DPORIN>2.0.CO;2)
- Marín Salazar, J. P. (2017). *Dinámica de los eventos hidroclimáticos extremos en la cuenca del río Chinchiná por efecto de variabilidad climática* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/61995>
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M. I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J. B. R., Maycock, T. K., Waterfield, T., Yelekçi, Ö., Yu, R., & Zhou, B. (Eds.). (2021). Summary for policymakers. En *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 3–32). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.001>
- Mayorga, R., Hurtado, G., & Benavides, H. (2011). *Evidencias de cambio climático en Colombia con base en información estadística* (Nota Técnica IDEAM–METEO/001–2011). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Evidencias+de+Cambio+Clim%C3%A1tico+en+Colombia+con+base+en+informaci%C3%B3n+estad%C3%ADstica.pdf/1170efb4-65f7-4a12-8903-b3614351423f>
- McLeod, A. I. (2022). *Kendall: Kendall Rank Correlation and Mann-Kendall Trend Test (2.2.1)* [Software]. <https://cran.r-project.org/web/packages/Kendall/index.html>
- Mesa, O., Urrea, V., & Ochoa, A. (2021). Trends of Hydroclimatic Intensity in Colombia. *Climate*, 9(7), 120. <https://doi.org/10.3390/cli9070120>
- Morales-Acuña, E., Linero-Cueto, J. R., & Canales, F. A. (2021). Assessment of Precipitation Variability and Trends Based on Satellite Estimations for a Heterogeneous Colombian Region. *Hydrology*, 8(3), 128. <https://doi.org/10.3390/hydrology8030128>
- Nisansala, W. D. S., Abeysingha, N. S., Islam, A., & Bandara, A. M. K. R. (2020). Recent rainfall trend over Sri Lanka (1987–2017). *International Journal of Climatology*, 40(7), 3417–3435. <https://doi.org/10.1002/joc.6405>
- Ocampo, O. L. (2018). *Modelación hidrológica y agronómica de los efectos del cambio y la variabilidad climática en la producción cafetera de Caldas* [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/63694>
- Ocampo, O. L., Vélez Upegui, J. J., Marín Salazar, J. P., & Forero Hernández, A. T. (2020). Análisis de tendencias climáticas con RClindex en el departamento de Caldas, Colombia. *Scientia et Technica*, 25(4), 595–603. <https://doi.org/10.22517/23447214.22771>
- Poveda, G., Mesa, O. J., Salazar, L. F., Arias, P. A., Moreno, H. A., Vieira, S. C., Agudelo, P. A., Toro, V. G., & Alvarez, J. F. (2005). The Diurnal Cycle of Precipitation in the Tropical Andes of Colombia. *Monthly Weather Review*, 133(1), 228–240. <https://doi.org/10.1175/MWR-2853.1>
- Sa’adi, Z., Shahid, S., Ismail, T., Chung, E.-S., & Wang, X.-J. (2019). Trends analysis of rainfall and rainfall extremes in Sarawak, Malaysia using modified Mann–Kendall

- test. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 131(3), 263–277. <https://doi.org/10.1007/s00703-017-0564-3>
- Seenu, P. Z., & Jayakumar, K. V. (2021). Comparative study of innovative trend analysis technique with Mann-Kendall tests for extreme rainfall. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(7), 536. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06906-w>
- Şen, Z. (2012). Innovative Trend Analysis Methodology. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(9), 1042–1046. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000556](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000556)
- Seneviratne, S. I., Zhang, X., Adnan, M., Badi, W., Dereczynski, C., Di Luca, A., Ghosh, S., Iskandar, I., Kossin, J., Lewis, S., Otto, F., Pinto, I., Satoh, M., Vicente-Serrano, S. M., Wehner, M., & Zhou, B. (2021). Weather and climate extreme events in a changing climate. En V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, Ö. Yelekçi, R. Yu, & B. Zhou (Eds.), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1513-1766). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.001>
- Silva Dias, M. A. F., Dias, J., Carvalho, L. M. V., Freitas, E. D., & Silva Dias, P. L. (2013). Changes in extreme daily rainfall for São Paulo, Brazil. *Climatic Change*, 116(3), 705–722. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0504-7>
- Suárez-Cobian, P. (1959). El periodo diurno en las lluvias en los Andes ecuatoriales. *Revista Académica Colombiana de Ciencias*, 10, 327-335.
- Suárez, F. (1947). Característica de las lluvias en una zona cafetera de Colombia y uso de los datos pluviográficos en el cálculo de obras de defensa de suelos. *Boletín Técnico Cenicafé*, 1(3), 1–38. <http://hdl.handle.net/10778/667>
- Suárez, F. (1975). Precipitaciones máximas de la zona caferera colombiana. *Revista Cenicafé*, 26(4), 172–186.
- Suárez, J. V. (1974). Régimen de las lluvias de la zona cafetera colombiana. *Avances Técnicos Cenicafé*, 34, 1-4. <https://doi.org/10.38141/10779/0034>
- Syafrina, A. H., Zalina, M. D., & Juneng, L. (2015). Historical trend of hourly extreme rainfall in Peninsular Malaysia. *Theoretical and Applied Climatology*, 120(1), 259–285. <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1145-8>
- Trenberth, K. E., Dai, A., Rasmussen, R. M., & Parsons, D. B. (2003). The Changing Character of Precipitation. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 84(9), 1205–1218. <https://doi.org/10.1175/BAMS-84-9-1205>
- Trojer, H. (1958). Meteorología y climatología de la vertiente del Pacífico colombiano. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 10(40), 199–219. <https://doi.org/10.18257/raccefyfyn.583>
- Trojer, H. (1959). Fundamentos para una zonificación meteorológica y climatológica del trópico y especialmente de Colombia. *Revista Cenicafé*, 10(8), 289–373. <http://hdl.handle.net/10778/719>
- Wu, H., & Qian, H. (2017). Innovative trend analysis of annual and seasonal rainfall and extreme values in Shaanxi, China, since the 1950s. *International Journal of Climatology*, 37(5), 2582–2592. <https://doi.org/10.1002/joc.4866>
- Wu, M., Luo, Y., Chen, F., & Wong, W. K. (2019). Observed Link of Extreme Hourly Precipitation Changes to Urbanization over Coastal South China. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 58(8), 1799–1819. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-18-0284.1>
- Zwiers, F. W., Alexander, L. V., Hegerl, G. C., Knutson, T. R., Kossin, J. P., Naveau, P., Nicholls, N., Schär, C., Seneviratne, S. I., & Zhang, X. (2013). Climate Extremes: Challenges in Estimating and Understanding Recent Changes in the Frequency and Intensity of Extreme Climate and Weather Events. En G. R. Asrar & J. W. Hurrell (Eds.), *Climate Science for Serving Society: Research, Modeling and Prediction Priorities* (pp. 339-389). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6692-1_13