

# Relación de eventos de lluvia con indicadores ambientales: indicador A25. Caso de estudio Manizales Caldas – Colombia

Suárez, J.<sup>a1</sup>, Romo, L.<sup>b1</sup>, y Vélez, J.<sup>a2</sup>

<sup>a</sup>Grupo de Trabajo Académico en Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, <sup>b</sup>Profesora Universidad del Valle. E-mail: <sup>a1</sup>jnsuarezh@unal.edu.co, <sup>a2</sup>jjvelezu@unal.edu.co, <sup>b1</sup>lmromom@unal.edu.co

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua,

---

## RESUMEN

Este trabajo presenta los resultados de la identificación y clasificación de los eventos de lluvia de diferente duración registrados entre los años 2002 a 2015 en una región del trópico andino colombiano. Un evento de lluvia se identifica como una precipitación continua con una duración mayor a quince (15) minutos que supera los dos (2) mm de lluvia acumulada. La clasificación de los eventos se realizó bajo los criterios de clasificación tres metodologías, entre ellas la de la Agencia Estatal de Meteorología de España. Los resultados evidenciaron características bimodales horarias y mensuales en los eventos de lluvia ocurridos en la región. Además se pudo observar que la precipitaciones más común de en el área y periodo de estudio fue la lluvia moderada, con una duración entre los 35 y los 60 minutos, al tiempo se evidenció que abril y noviembre fueron los meses con el mayor número de eventos de lluvia, mientras que enero registró la menor cantidad. Los resultados permitieron tener un mejor conocimiento sobre los patrones de lluvia y revelan la necesidad de una clasificación ajustada a las características climáticas de la región, en la que se tenga en cuenta los registros históricos de las diferentes variables meteorológicas monitoreadas a nivel de superficie y que se puedan asociar a los Indicadores que establecen umbrales para la toma de decisiones administrativas en cuanto al establecimiento de alertas para enfrentar posibles estados de riesgo de la población y que en la actualidad se establecen por la acumulación de la lluvia en un periodo de 25 días, que es el denominado Indicador lluvia antecedente 25 días -A25-. Con los resultados expuestos se llega a un mejor conocimiento de las características meteorológicas de la región y sirven de apoyo a los sistemas de alerta temprana y a los tomadores de decisiones en el tema relacionado con la prevención y atención de desastres en la región.

**Palabras clave:** evento de precipitación; indicadores ambientales; gestión del riesgo

---

## INTRODUCCIÓN

El conocimiento adecuado del clima, como una función de espacio-tiempo, y la capacidad de predecirlo son retos que las sociedades han enfrentado a lo largo de la historia y que siguen vigentes en nuestra época (Poveda et al. 2002). Numerosos estudios han puesto de manifiesto que los costos invertidos en realizar pronósticos se justifican con los beneficios obtenidos (Lynch, 2010). Los pronósticos precisos salvan vidas, mientras que las alertas tempranas mitigan las consecuencias de fenómenos meteorológicos extremos.

Con la identificación y clasificación de eventos de lluvia, para diferentes duraciones y para el sitio de estudio y la identificación de correlaciones existente con valores de indicadores ambientales como lo es el A25 -Indicador de lluvia antecedente de 25 días- que es un indicador de lluvia acumulada que se registra en los últimos 25 días y que se mide en mm. (Terlien, 1996) se puede obtener la valoración de situaciones de alerta que puedan desencadenar eventos que afecten las comunidades en un momento determinado, como por ejemplo deslizamientos de tierra o crecidas de corrientes, como la vivida

por la ciudad de Manizales entre los días 17 y 19 de octubre de 2011 donde deslizamiento de tierra afectando tanques de distribución del agua potable y la destrucción de tubería de diámetros de 28” y 30” encargadas de conducir el agua tratada.

Además, este tipo de trabajos de clasificación y análisis de eventos de lluvia como lo expone Suárez et al. (2015) y Suárez et al. (2016) y su relación con indicadores de tipo ambiental, son herramientas que pueden ser utilizadas por los tomadores de decisiones administrativas permitiendo tener un mejor conocimiento de la región mediante la identificación y comprensión de los patrones de lluvia encontrados en los diferentes sectores de la ciudad, la cual presenta una alta variabilidad en su distribución espacial. Adicionalmente, con el análisis del comportamiento de las variables meteorológicas, monitoreadas a nivel de superficie, que influyen en la ocurrencia de dichos eventos se continúa con la misión de ampliar el conocimiento sobre la dinámica climática en regiones tropicales.

## METODOLOGÍA DE TRABAJO

### Descripción de la zona de estudio

La ciudad de Manizales se encuentra localizada en el centro-oeste de Colombia, en el departamento de Caldas (Figura 1). Su ubicación espacial coincide con una de las zonas más amenazadas del país, por el elevado riesgo de ocurrencia de terremotos, erupciones volcánicas, deslizamientos de tierra, avalanchas e inundaciones (Carreño et al. 2007; Vélez U. et al. 2012).

La región presenta un clima ecuatorial de montaña, con un régimen de lluvia bimodal, característico de la zona central andina, y un promedio anual de precipitación alrededor de los 2000 mm e influenciada por la Zona de Confluencia Intertropical -ZCIT, (Cortés, 2010). Las tasas de precipitación son muy significativas, en promedio el 70% de los días del año llueve (Pachón, 2011). Esta situación y la presencia de fenómenos macroclimáticos como El Niño Oscilación del Sur (ENOS), que históricamente ha causado impactos de gran magnitud, favorecen la formación de grandes masas de nubes (Poveda, 2004). La ciudad de Manizales además se caracteriza por una topografía abrupta, por la presencia de microclimas, corrientes de agua y la influencia de las actividades antrópicas, que favorecen los deslizamientos de tierra.

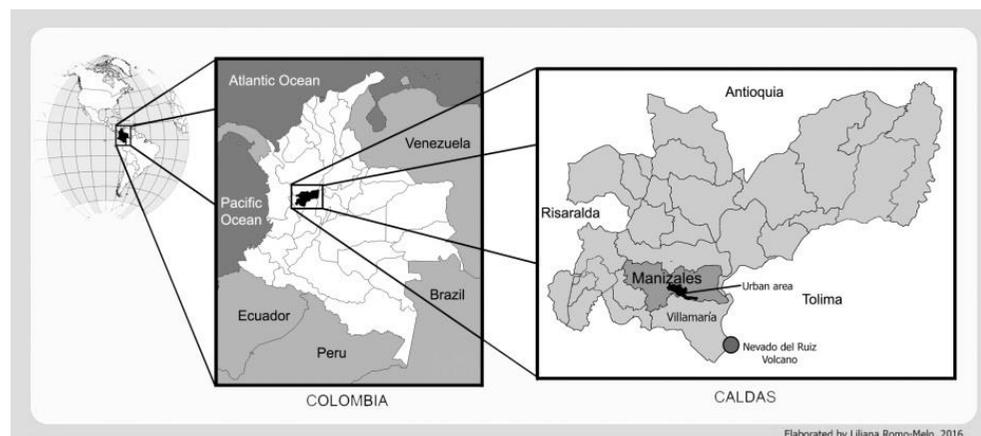


Figura 1 | Ubicación de la ciudad de Manizales, Caldas – Colombia

### Datos e información utilizada

La situación de vulnerabilidad que presenta esta región, ha fortalecido la creación y mantenimiento de una red de cuarenta y cinco (45) estaciones ubicadas estratégicamente (Figura 2) que monitorean permanente las variables hidrometeorológicas (Mejía F. et al., 2006). Las estaciones registran siete variables: temperatura del aire, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, lluvia, radiación solar y presión barométrica. Esta información es enviada de forma

inalámbrica cada cinco (5) minutos a un centro de acopio ubicado en el Instituto de Estudios Ambientales – IDEA de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales.

Los datos monitoreados por esta red, han permitido generar alertas tempranas para la prevención de desastres, particularmente aquellos relacionados con los deslizamientos de tierra en laderas y taludes de la ciudad, como son los aguaceros fuertes o extensos.

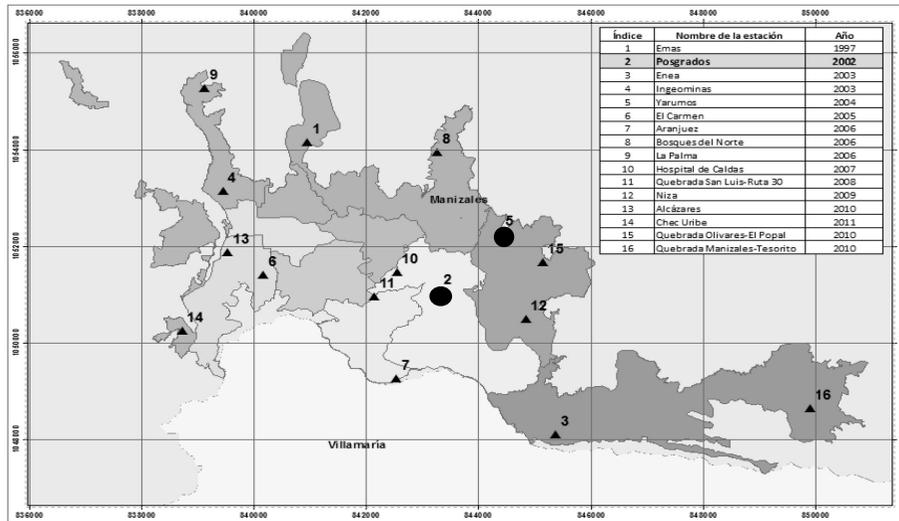


Figura 2 | Distribución de la red de estaciones hidrometeorológicas en el área urbana de Manizales.

La estación denominada “Posgrados”, identificada con el número 2 en la Figura 2, se encuentra ubicada en el centro de la ciudad ( $5^{\circ}3'21,86''$  Latitud Norte,  $75^{\circ}29'31,46''$  Longitud Oeste y 2179 m.s.n.m.). Esta estación ha registrado datos por más de doce años. Para el desarrollo de esta investigación, se investigó la información meteorológica registrada por esta estación en el periodo comprendido entre los años 2002 a 2015, pero se exponen los resultados del año 2011, año de ocurrencia de los deslizamientos que afectaron la planta de tratamiento de agua Luis Prieto de la ciudad y que dejó a sus pobladores sin el servicio de acueducto por más de 17 días. La otra estación de monitoreo meteorológico aquí relacionada, por cercanía al sitio del deslizamiento, es la estación Yarumos, identificada en la Figura 2 como la estación número 5 ( $5^{\circ}3'47,6''$  Latitud Norte,  $75^{\circ}28'52,63''$  Longitud Oeste y una altitud de 2195 m.s.n.m.)

Los registros de todas las estaciones se encuentran almacenados en la bodega de datos del Centro de Datos e Indicadores Ambientales de Caldas - CDIAC (<http://cdiac.manizales.unal.edu.co/>) junto con otra información de tipo ambiental.

## Metodología aplicada

Para la identificación y caracterización de los eventos de lluvia registrados por la estación meteorológica en el periodo de estudio se realizaron los siguientes procesos:

### 1. Pre-procesamiento de datos.

Como primera medida, los registros meteorológicos fueron evaluados para detectar y corregir los datos erróneos, atípicos o fuera de rango. La depuración de los registros se realizó con un sistema de filtros previamente diseñado para cada variable meteorológica (Duque, 2008). Adicionalmente, debido a que algunos registros no son transmitidos con la misma frecuencia de muestreo, los datos fueron estandarizados a una frecuencia de cinco (5) minutos para ser trabajados de forma automática por el algoritmo.

## 2. Identificación de los eventos de lluvia

Una vez depuradas, las series de tiempo fueron analizadas para identificar y seleccionar los eventos de lluvia históricos registrados. Para realizar este proceso se desarrolló un algoritmo que detecta los eventos de lluvia e identifica de forma automática la clase a la que corresponde cada evento según su duración. Un evento de lluvia se definió como una precipitación continua con una duración mayor a quince (15) minutos que supera los dos (2) mm de lluvia acumulada.

## 3. Métodos de clasificación y caracterización de los eventos de lluvia implementados

Para la clasificación de los eventos de lluvia, se implementaron tres metodologías. La primera corresponde a una clasificación basada en el valor de la intensidad de lluvia, desarrollada por Linsley (1977). Una segunda clasificación, en términos del parámetro  $\beta$  propuesto por Rice y Holmberg (1973) y adaptada por Llasat y Puigcerver (1985, 1997). La tercera clasificación se basa en índice n de la precipitación intensa, método propuesto por Monjo (2009).

El primer método de clasificación, basado en el valor de la intensidad de lluvia (Linsley, 1977), establece como criterio de categorización el valor de la intensidad de los eventos de lluvia. Este método clasifica los eventos en tres clases: lluvias ligeras, lluvias moderadas y lluvias fuertes (Tabla 1). Este método ha sido adoptado por países como Estados Unidos y Colombia

**Tabla 1** | Clasificación de la lluvia según su intensidad. (Linsley, 1977).

Clasificación	Intensidad	Observación
Ligera	Para tasas de caída hasta 2,5 mm/h,	Las gotas se pueden identificar fácilmente unas de otras. Cuando existe una superficie expuesta seca, ésta tarda más de dos minutos en mojarse completamente.
Moderada	Para tasas desde 2,5 hasta 7,6 mm/h	No se pueden identificar gotas individuales, se forman charcos con gran rapidez. Las salpicaduras de la precipitación se observan hasta cierta altura del suelo.
Fuerte	Por encima de 7,5mm/h	La visibilidad es escasa y las gotas que salpican sobre la superficie se levantan varios centímetros.

El segundo método de clasificación se basa en el cálculo del parámetro  $\beta$ , presentado por Rice y Holmberg (1973) y adaptado por Llasat y Puigcerver (1985, 1997). Estos autores basaron su trabajo en el estudio de la intensidad de la lluvia en el noreste de España. La clasificación de los eventos se basa en la intensidad media horaria, y establece cinco umbrales de intensidad promedio por hora: lluvia débil, moderada, fuerte, muy fuerte y torrencial (Tabla 2). Este método es utilizado por la Agencia Estatal de Meteorología – AEMET.

**Tabla 2** | Clasificación de la lluvia según la intensidad media en una hora- AEMET.

Intensidad	Acumulación en una hora
Débil	Entre 0,1 y 2 mm
Moderado	Entre 2,1 y 15 mm
Fuerte	Entre 15,1 y 30 mm
Muy fuerte	Entre 30,1 y 60 mm
Torrencial	Más de 60 mm

Los umbrales de intensidades establecidos requieren del cálculo del parámetro  $\beta$ . Este parámetro depende de la distribución mensual y anual de la precipitación convectiva que permite determinar su representatividad en los diferentes periodos.

Sin embargo, Llasat (2001) aclara que los umbrales varían considerablemente de un país a otro y no es viable considerar una clasificación global sobre la base de los diferentes umbrales. Llasat propone un nuevo parámetro como  $\beta^*L, \Delta T$ , que considera el estudio de eventos con un tiempo de ocurrencia determinado y cuyo punto de partida es un valor medio del umbral de la intensidad dentro de un intervalo de tiempo dado. El parámetro  $\beta^*L, \Delta T$  es de carácter meteorológico en lugar de climático a diferencia del parámetro  $\beta$  y se calcula como (Ecuación (1)):

$$\beta_{L,\Delta T}^* = \frac{\sum_{i=1}^N I(t_i, t_i + \Delta T)(I - L)}{\sum_{i=1}^N I(t_i, t_i + \Delta T)} \quad (1)$$

Donde,  $L$  es el umbral medio de la intensidad dado en mm/h,  $\Delta T$  es el intervalo de tiempo de acumulación de la precipitación en minutos,  $N$  es el número total de pasos de integración  $\Delta T$  en que se subdivide el episodio (para el presente estudio 5 minutos),  $I(t_i, t_i + \Delta t)$  es la precipitación medida entre  $t_i$  y  $t_i + \Delta t$  dividido por  $\Delta t$ , es decir, la intensidad media en el citado intervalo expresado en mm/min o mm/h según sea el caso.

El tercer método de clasificación implementado en este estudio, se basa en el cálculo del índice  $n$  de la precipitación intensa, método propuesto por Monjo (2009). Este autor define cinco tipos de precipitación en función de la variabilidad de la intensidad. El índice  $n$  describe el comportamiento de la precipitación en función del tiempo a lo largo del evento y permite su clasificación según un tipo de curva que caracteriza la intensidad de los eventos. Esta metodología clasifica el evento según la regularidad de la precipitación respecto al tiempo. Consiste en ordenar de mayor a menor la Intensidad Media Máxima -IMM- para diferentes intervalos de tiempo. Para tiempos pequeños, la IMM siempre será mayor o igual que para tiempos mayores. Por lo tanto, el cociente entre dos intensidades medias máximas,  $I_1 / I_2$ , será igual al cociente entre las duraciones cambiadas,  $t_2 / t_1$ , pero elevando a un número  $n$ , evaluado entre 0 y 1, según la siguiente Ecuación (2):

$$\frac{I_1}{I_2} = \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^n \quad (2)$$

Esa relación entre intensidad y duración se conoce como curva de Intensidad Media Máxima (IMM) y se caracteriza por el número o parámetro adimensional  $n$  (Monjo, 2009). La ventaja de este método es que permite clasificaciones válidas para cualquier lugar, lo que también permite llegar a la construcción de una clasificación independientemente de si llueve mucho, o poco (Tabla 3), es decir, el índice  $n$  no depende ni de la intensidad ni de la duración de la precipitación.

**Tabla 3** | Clasificación de la lluvia de acuerdo a la regularidad de la intensidad

<b>n</b>	<b>Tipo de curva</b>	<b>Intensidad</b>	<b>Distribución temporal</b>
0,00 – 0,20	Muy suave	Prácticamente constante	Muy regular
0,20 – 0,40	Suave	Débilmente variable	Regular
0,40 – 0,60	Normal	Variable	Irregular
0,60 – 0,80	Pronunciada	Moderadamente variable	Muy irregular
0,80 – 1,00	Muy pronunciada	Fuertemente variable	Casi instantánea

La precipitación total asociada a la IMM es una curva complementaria, y viene dada por:

$$P(t) = P_0 \left( \frac{t}{t_0} \right)^{1-n} \quad (3)$$

Esta función (Ecuación (3)) representa la precipitación máxima acumulada, en milímetros, en un tiempo  $t$ , que se espera sabiendo que en un tiempo  $t_0$  ha caído como máximo una precipitación  $P_0$  y la lluvia es del tipo  $n$ .

#### 4. Indicador lluvia antecedente 25 días –A25

Al tener caracterizados los eventos de lluvia aislados con su respectiva magnitud en un periodo determinado (en este caso particular cada 25 días) se puede obtener el acumulado de dichas magnitudes y así correlaciona esta característica de la lluvia con otros parámetros determinantes en el área de estudio como pueden ser el uso del suelo, la geología, entre otros, para así, según lo expuesto en (Terlien, 1996) obtener la valoración para posibles situaciones de alerta que pudiesen llegar a desencadenar eventos que afecten las comunidades en un momento determinado, como por ejemplo los deslizamientos de tierra o crecidas de corrientes. A partir de este estudio de Terlien se establecieron tres criterios, que aparecen en la Tabla 4, para establecer los niveles de alerta:

**Tabla 4** | Niveles de alerta establecidos en la ciudad de Manizales según el valor del indicador de lluvia acumulada en 25 días.

Nivel de alerta	Rango de análisis del indicador lluvia antecedente 25 días
Amarilla	$200 \text{ mm} \leq \text{indicador lluvia ant. 25 días} < 300 \text{ mm}$
Naranja	$300 \text{ mm} \leq \text{indicador lluvia ant. 25 días} < 400 \text{ mm}$
Rojo	Indicador lluvia antecedente 25 día $\geq 400 \text{ mm}$

#### 5. Descripción del algoritmo desarrollado

Paso 1: Carga de datos. Se establece la ruta del archivo .csv que contiene los datos meteorológicos y se los organiza en forma matricial. En este paso se definen los parámetros de trabajo como: ancho de evento, frecuencia de muestreo, ancho de la ventana de análisis previa al evento (en minutos).

Paso 2: Función “eventos\_lluvia”: Esta función identifica los eventos de la lluvia que se encuentran en la matriz de datos meteorológicos creada en el paso anterior. Adicionalmente clasifica los eventos según su duración en minutos.

Paso 3: Función “matriz\_MPMM”: Esta función genera la matriz de magnitudes de precipitación media máxima MPMM a partir de la matriz de eventos generada en el paso anterior.

Paso 4: Función “IMM”: Esta función calcula la intensidad media máxima de cada evento en mm/hora a partir de la matriz MPMM.

Paso 5: Función “index\_n”: Esta función calcula el índice de regularidad de la intensidad de la precipitación ( $n$ ).

Paso 6: Los eventos son clasificados en los rangos establecidos en la tabla 3 a partir del índice  $n$  calculado en el paso anterior. Los resultados se exportan en a un fichero denominado “Clasificación de la Lluvia.xls”.

Paso 7: Función “parámetro”. Esta función calcula la intensidad media en una hora y el parámetro  $\beta^*$  para cada evento y los clasifica según la tabla 2 de la AEMET.

Paso 8: Función “Linsley”. Esta función clasifica los eventos en función de la intensidad con los umbrales mostrados en la tabla 1.

Paso 9: Funciones “ventanas\_evento” y “ventana\_sin\_evento”. Estas funciones extraen las ventanas de tiempo previas al evento (de 1 a 12 horas), con los datos de otras variables meteorológicas como temperatura, radiación solar, humedad relativa, velocidad del viento y presión atmosférica.

Paso 10: Funciones “AX” donde se obtiene el valor del Indicador Antecedente por acumulación de lluvia para diferentes periodos de tiempo.

Paso 11: Se aplicaron medidas estadísticas entre las variables meteorológicas de las ventanas temporales previas a cada evento con el fin de establecer patrones de comportamiento atmosférico que influyen o desencadenan los eventos de lluvia.

Con lo anterior se obtuvo para cada una de las estaciones información como la que se relaciona a continuación:

### Clasificación de los eventos de lluvia según su magnitud

Para el año 2011 en la estación Posgrados se registraron 246 eventos de lluvia mientras que para la estación Yarumos se tuvieron 297 eventos, que bajo los criterios de clasificación estudiados se enseñan de la tabla 5 a la Tabla 7:

**Tabla 5** | Clasificación de los eventos de lluvia de su intensidad según clasificación Linsley, Kohler y Paulhus

Clasificación	Acumulación en una hora	N° eventos ocurridos en el año 2011	
		Estación Posgrados	Estación Yarumos
Ligera	Menores a 2,5 mm	24	24
Moderada	Entre 2,5 hasta y 7,6 mm	137	162
Fuerte	Mayor de 7,5mm	85	111
Total eventos		246	297

**Tabla 6** | Clasificación de los eventos de lluvia de su intensidad según clasificación AEMET.

Intensidad	Acumulación en una hora	N° eventos ocurridos en el año 2011	
		Estación Posgrados	Estación Yarumos
Débil	Entre 0,1 y 2 mm	12	9
Moderado	Entre 2,1 y 15 mm	209	261
Fuerte	Entre 15,1 y 30 mm	22	25
Muy fuerte	Entre 30,1 y 60 mm	3	2
Torrencial	Más de 60 mm	0	0
Total eventos		246	297

**Tabla 7** | Clasificación de los eventos de lluvia de su intensidad según clasificación Monjo.

n	Tipo de curva	Intensidad	N° eventos ocurridos en el año 2011	
			Estación Posgrados	Estación Yarumos
0,00 – 0,20	Muy suave	Prácticamente constante	19	22
0,20 – 0,40	Suave	Débilmente variable	127	153
0,40 – 0,60	Normal	Variable	86	108
0,60 – 0,80	Pronunciada	Moderadamente variable	11	12
0,80 – 1,00	Muy pronunciada	Fuertemente variable	3	2
Total eventos			246	297

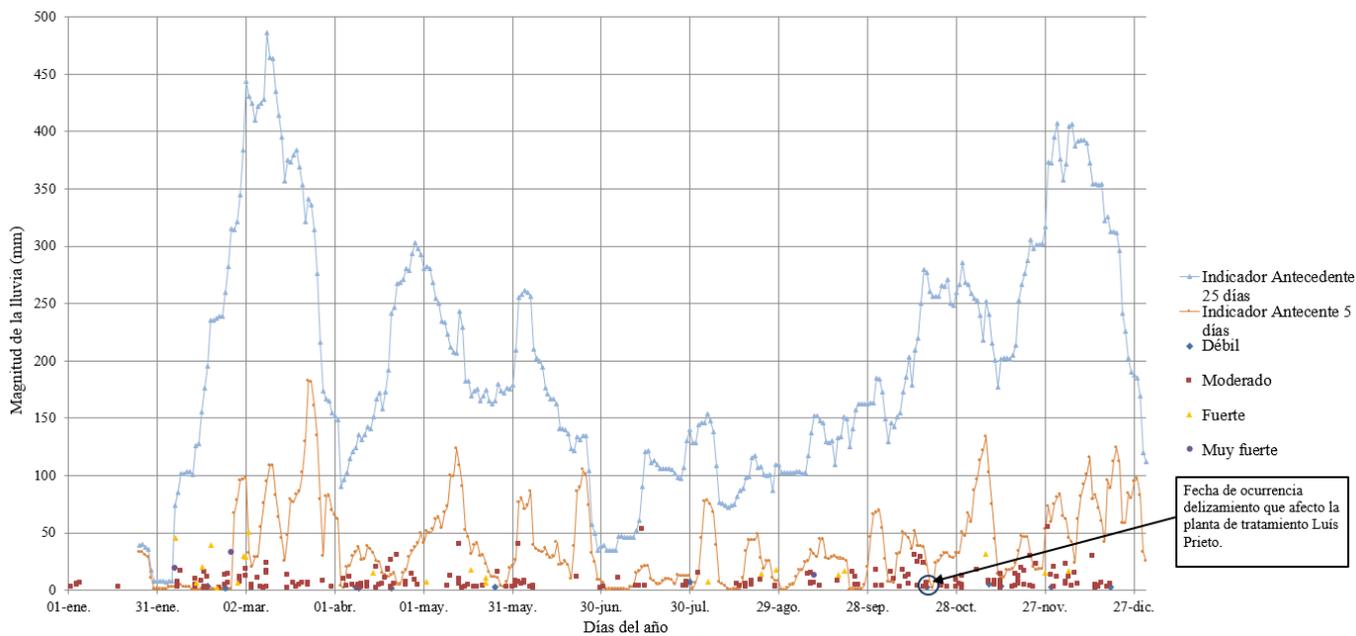
### Caracterización del indicador lluvia antecedente 25 días -A25-

El cálculo del indicador lluvia antecedente 25 días para el año 2011 para ambas estaciones de monitoreo presentó el siguiente comportamiento (Tabla 8):

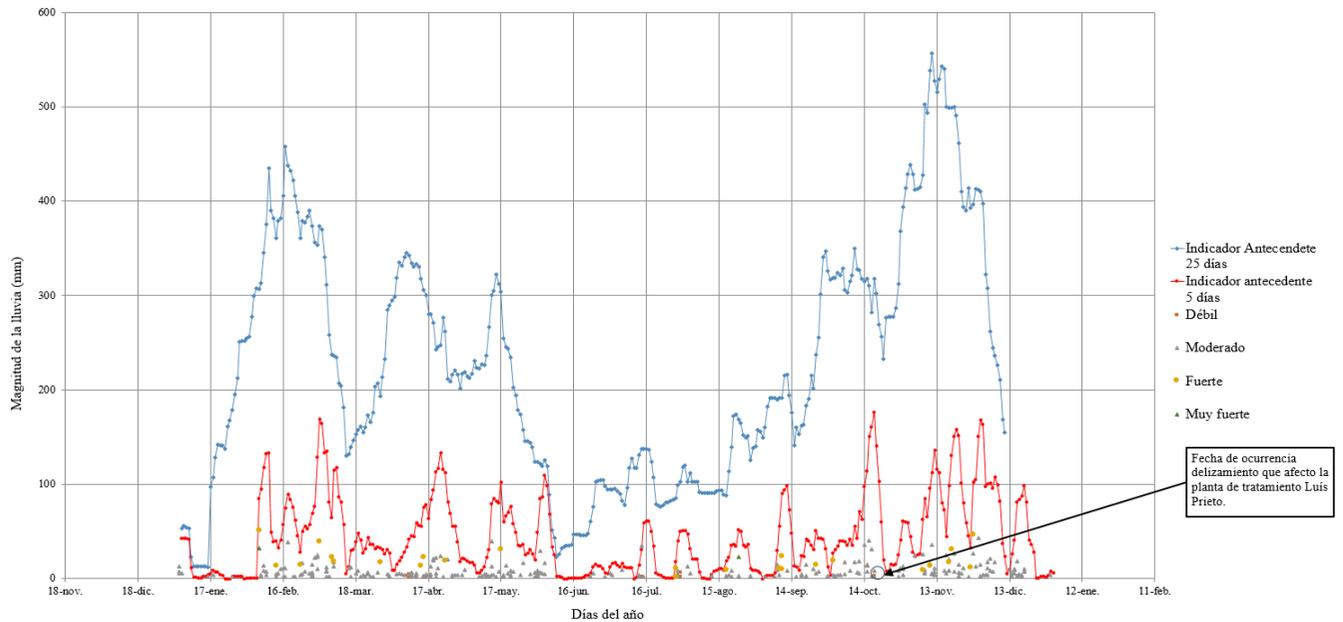
**Tabla 8** | Indicadores obtenidos para la estación posgrado y Yarumos a partir del Indicador Lluvia antecedente 25 días.

Indicadores	Estación Posgrados	Estación Yarumos
Indicador lluvia ant. 25 días máximo en el año	486,16 mm	801,19 mm
Máximo número de días continuos sin lluvia	19	19
Máximo número de días continuos con lluvia	9	15
Mes más lluvioso	Noviembre (376,38 mm; 32 eventos de lluvia)	Noviembre (530, 6 mm; 36 eventos de lluvia)
Mes con menos lluvias	Enero (22,72 mm)	Enero (39, 88 mm)

En la Figura 3 y en la Figura 4 se puede apreciar de forma gráfica la relación existente entre los eventos de lluvia y el indicador lluvia antecedente 25 días, pero también se ha incorporado el indicador lluvia antecedente para 5 días.



**Figura 3** | Eventos de lluvia - según clasificación AEMET - e Indicadores lluvia antecedente 25 y 5 días. Año 2011, Estación Posgrados.



**Figura 4** | Eventos de lluvia - según clasificación AEMET - e Indicadores lluvia antecedente 25 y 5 días. Año 2011, Estación Yarumos.

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos muestran que, según el índice  $n$ , la precipitación más común en la ciudad de Manizales es normal y suave, con una duración entre los 35 a 60 minutos y un índice  $n$  que varía entre 0,2 y 0,6. En efecto, el 51% de los eventos de acuerdo con este índice tiene una intensidad variable y débilmente variable y una distribución temporal regular. Sin embargo, según las clasificaciones de Linsley (1977) y de la AEMET la precipitación más común es la lluvia moderada.

También se puede observar que las lluvias débiles o ligeras tienden a durar más de 50 minutos, a diferencia de las lluvias con intensidades más altas, las cuales presentan duraciones más cortas.

Siguiendo la metodología de clasificación de la AEMET no se detectó ningún evento de lluvia torrencial en Manizales durante el periodo de estudio. No obstante, se presentaron algunos eventos con un índice  $n$  superior a 0,95, clasificados como muy agudos. No obstante, estos mismos eventos son clasificados como eventos de lluvias fuertes según la clasificación Linsley. Este resultado sugiere la necesidad de diseñar un indicador para la clasificación de los eventos de lluvia ajustado a las características de la región.

También es claro que los meses con el mayor número de eventos de lluvia son los meses de abril, octubre y noviembre y los meses con la menor cantidad de eventos son meses de enero y julio.

En cuanto a los resultados del cálculo del Indicador de lluvia antecedente 25 días, permite corroborar la alta variabilidad que se registra en periodos comunes entre las estaciones teniendo diferencia entre las lluvias acumuladas de hasta un 70%.

Este tipo de indicadores permiten establecer los respectivos niveles de alerta para cada sector según sus particularidades.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los datos históricos de las estaciones meteorológicas de la ciudad de Manizales se utilizan para identificar eventos pluviométricos de diferente duración, lo que permite la clasificación y el análisis espacio - temporal de las precipitaciones y su

alta variabilidad a lo largo y ancho del área de estudio. Lo anterior permite evidenciar la necesidad de tener una sectorización de la ciudad de Manizales en cuanto a los parámetros establecidos en el establecimiento de los umbrales de alerta.

Lo anterior se puede realizar con la aplicación de indicadores como el de lluvia antecedente siguiendo todo su protocolo de cálculo y que lleve a la determinación de umbrales, y no solo con su relación con los eventos de lluvia si no con otros parámetros determinantes como son los usos del suelo, geología, mapas de vulnerabilidad, otros, que lleven a reconocer los patrones que se generan ante la ocurrencia de fenómenos como los deslaves de los suelos y no solo de deslizamientos que es el fin actual del indicador lluvia antecedente 25 días.

Es importante aclarar que solo se relaciona el resultado de dos de las estaciones de monitoreo ubicadas dentro del perímetro urbano de la ciudad de Manizales y específicamente para el año 2011.

---

## REFERENCIAS

- Carreño, M., Cardona, O., Barbat, A. 2007. A disaster risk management performance index. *Natural Hazards*, 41(1), pp.1–20. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s11069-006-9008-y> [Accessed December 8, 2013].
- Cortés, A. 2010. Análisis de la variabilidad espacial y temporal de la precipitación en una ciudad de media montaña andina, caso de estudio: Manizales, Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Manizales, Colombia.
- Duque, N.D, Orozco, M. 2008. Minería de Datos para el análisis de datos meteorológicos. *Tendencias en Ingeniería de Software e Inteligencia Artificial*, Vol 4, Capítulo 14, ppp. 105 – 114, ISBN 978-958-44-8153-5.
- Ioannidis K.; Karagrorgiou A.; Lekkas D. 2015. Analysis and Modelling of Rainfall Events. 14th International conference on Environmental Science and Technology – cest 2015. 3 – 5 september 2015, Rhodes, Greece.
- Lynch, P. 2010. Predicción del tiempo y del clima : crónica de una revolución. , 59(2), 75-78.
- Llasat, M.C. 2001. *International Journal of Climatology*, 21, 1385-1400. An objective classification of rainfall events on the basis of their convective features. Application to rainfall intensity in the north-east of Spain.
- Monjo, R. (2009). Análisis de la intensidad de precipitación: Método de la intensidad contigua.
- Pachón, J. 2011. Distribución de la lluvia en Manizales. Instituto de Estudios Ambientales IDEA, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, 93.
- Poveda, G. 2004. La hidroclimatología de Colombia. Una síntesis desde la década Interdecenal hasta la escala diurna. *Rev. Acad. Colomb.Ciencia* 28 (107), 201-222.
- Suárez, J., Romo, L., Vélez, J. y Chang, P. 2015. Classification and space - time analysis of precipitation events in Manizales, Caldas - Colombia. American Geophysical union - AGU. Fall meeting 2015.
- Suárez, J., Romo, L., Vélez, J. y Chang, P. 2016. Analysis of rainfall events weather forecasting purposes in Manizales, Caldas, Colombia. European Geosciences Union – General Assembly 2016.
- Terlien, M. 1996. Modelling spatial and temporal variations in rainfall-triggered landslides. ITC. Publication number 32.