

# MODELIZACIÓN DE UN EVENTO DE LLUVIA TORRENCIAL PARA UNA CIUDAD DE MEDIA MONTAÑA ANDINA CON EL MODELO WRF.

Joan Nathalie Suárez Hincapié, Sergio Andrés Gutiérrez Zárate y Jorge Julián Vélez Upegui

Grupo de Trabajo Académico en Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Colombia.  
E-mail: jnsuarezh@unal.edu.co; sagutierrez@unal.edu.co; jjvelezu@unal.edu.co

## Resumen

Este trabajo contiene los resultados de la modelización de un evento de lluvia torrencial presentado en la ciudad de Manizales en el año 2011 entre los días 17 y 19 de octubre que causó gran afectación a la población por dañar la estructura de conducción de su principal planta de potabilización. La herramienta utilizada para la modelización fue el modelo mesoescalar Weather Research and Forecasting Model WRF.

Gracias a su programación, el modelo WRF es ampliamente configurable, lo que posibilitó la búsqueda de una disposición de sus parámetros que se ajustarán a las condiciones reales y así verificar la capacidad que tiene este de simular eventos como el descrito. En este aspecto se consiguieron medidas de correlación cercanas al 40% en series de datos para variables como la lluvia y estadísticos básicos como la desviación y la varianza, con diferencias entre el 10% y el 20% de los datos simulados con respecto a los obtenidos en superficie.

A través del proceso de simulación se ha observado y determinado la estrecha relación de variables como la presión atmosférica, la humedad relativa, la temperatura, entre otras con la precipitación. Además, se han obtenido los elementos para realizar un seguimiento espacial y temporal de dichas variables lo que permite determinar las condiciones previas y posteriores al evento estudiado, sirviendo esto como insumo de trabajos posteriores encaminados a la predicción.

**Palabras Claves:** Modelización numérica, Eventos de lluvia, Estaciones de monitoreo meteorológico, Pronóstico.

## Introducción

Los importantes avances en las predicciones meteorológicas durante el último medio siglo han reportado grandes beneficios para la humanidad. Los pronósticos precisos salvan muchas vidas, mientras que las alertas tempranas -cuando están disponibles- mitigan las peores consecuencias de los fenómenos meteorológicos extremos. Las predicciones detalladas y precisas poseen un elevado valor económico, y existen numerosos estudios que ponen de manifiesto que los beneficios de las predicciones pesan mucho más que los costos derivados de las mismas (Lynch, 2010).

En el año 2011, la Ciudad de Manizales, Caldas- Colombia experimentó precipitaciones promedio muy por encima de los records históricos. Esto sobresaturó los terrenos de la escarpada zona andina donde está localizada la ciudad, provocando un número considerable de deslizamientos de tierra en la zona.

Estos deslizamientos afectaron las líneas de conducción de la planta de potabilización Luis Prieto que sirven a la ciudad lo cual dejó sin servicio de agua a los habitantes de la ciudad por aproximadamente 20 días (Botero, 2012). Fue así, que entre el día 17 y 19 de octubre de 2011 esta serie de deslizamientos encontraron como detonante definitivo un movimiento de tierra de aproximadamente 190000 m<sup>3</sup> los cuales impactaron contra uno de los tanques de distribución de la planta de tratamiento haciendo que se suspendiera el servicio de agua potable, hecho que se conjugó con una avalancha, producida por la crecida de dos corrientes hídricas de la zona, que arrasó las tuberías de 30" y 28" que conducen el agua tratada hacia la ciudad de Manizales.

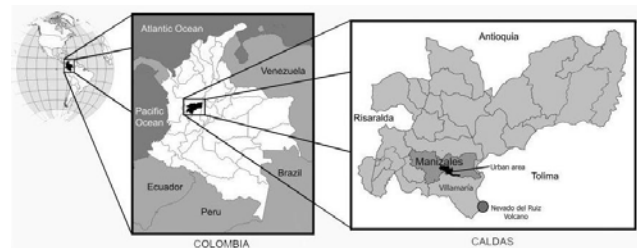
## Área de estudio

Desde hace muchos años se ha utilizado la expresión "cielo roto", para referirse al encapotado y precipitado "cielo" de Manizales, que cambia abruptamente de tonalidades y densidades y riega con intempestiva fuerza sus laderas (Figura 1). Esta expresión cualitativa tan común enmarca esta ciudad, como un entorno bastante lluvioso (Pachón, 2011).



**Figura 1.-** Parque de Bolívar de la ciudad de Manizales en un día lluvioso. Recuperado de Frontera Informativa, 2013.

La ciudad de Manizales, es una ciudad de media montaña en la región central de los andes colombianos (Figura 2). Esta región presenta en promedio una acumulación de 2000 mm de lluvia por año y su clima está fuertemente influenciado por la zona de confluencia intertropical ZCIT, al respecto Vélez et al. 2012 comentan: La ciudad de Manizales (Colombia), como otras regiones en diferentes latitudes, se encuentra expuesta a múltiples riesgos y especialmente a deslizamientos en épocas lluviosas, las cuales normalmente, en nuestro caso, son dos al año debido a la influencia de la Zona de Confluencia Intertropical ZCIT.



**Figura 2.-** localización de la ciudad de Manizales, Caldas -Colombia.

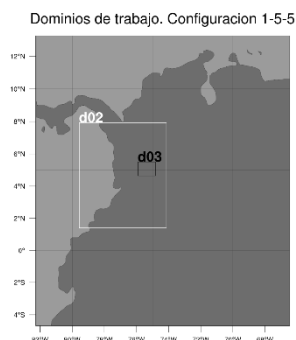
Cabe mencionar que la ciudad está construida en su totalidad sobre terrenos de fuertes pendientes entre un 25 a un 45% en promedio, que aunado a la dinámica de la precipitación, se convierten en los principales factores de riesgo asociados a fenómenos de deslizamientos, flujos de lodos, inundaciones, entre otros. Debido a esto, se han generado numerosos esfuerzos para comprender la dinámica de la lluvia, con diversos enfoques como el hidrológico, el climático, el ambiental, etc.

## Metodología de trabajo

Este trabajo desarrolla un proceso de modelación numérica de la precipitación a través de un modelo de investigación y pronóstico del clima como es el modelo WRF (Weather

Research and Forecasting Model), centrado en dicho evento de lluvia torrencial ocurrido en el mes de octubre de 2011. El evento ha sido escogido, por estar asociado a una de las situaciones de emergencia más difíciles que ha tenido que sortear la población de la ciudad, como es la avería de las instalaciones de la principal planta de tratamiento de agua potable, planta llamada Luís Prieto Gómez, y afectando así a una población de aproximadamente 450 000 habitantes.

La simulación con el modelo WRF, se realizó a través de una técnica de Downscaling, que involucró el manejo de los datos del modelo de circulación global CFS (Climate Forecast System) a una resolución de celda en el plano horizontal de 25 x 25 km y llevarlo a través de anidamientos sucesivos primero a una resolución de celda de 5 x 5 km y finalmente a una resolución de 1 x 1 km, para lograr el suficiente acercamiento que permitiera observar los cambios que se dan en una ciudad con topografía compleja como lo es Manizales.



**Figura 3.-** Configuración de los dominios de trabajo para el modelo WRF.

También se logró una configuración adecuada que tuviera presente los diferentes procesos que intervienen en el clima, así pues, se habla de procesos específicos simulados como: las condiciones para la formación de las nubes, el comportamiento de las gotas de agua, los procesos de infiltración en el suelo, los procesos de mezcla y turbulencia de la atmósfera, entre otros.

Es así, que se realizó un proceso de calibración consistente en encontrar una configuración adecuada para las condiciones del clima en la región de estudio, esto a través de simulaciones de prueba para luego ser comparados los resultados con los valores obtenidos por una serie de estaciones en tierra.

Con este proceso desarrollado, se pasó a la simulación del evento en estudio y así realizar un análisis a través de la generación de series temporales de diferentes variables meteorológicas previamente escogidas. Esto consistió en el cálculo de diferentes medidas estadísticas buscando las correlaciones entre las variables tanto observadas como simuladas. También se buscó la construcción de mapas temáticos, para observar la evolución tanto espacial como temporal del evento, que se convirtieron en una herramienta para la toma de decisiones posteriores.

## Resultados obtenidos

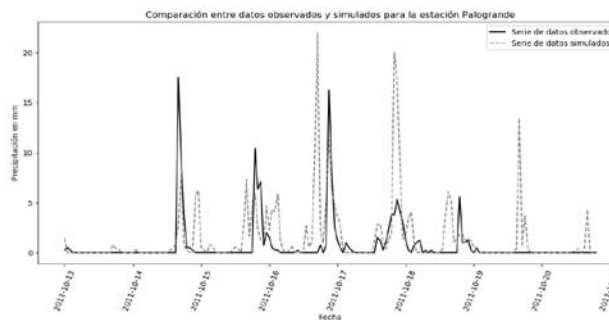
Se ha logrado una resolución espacial de los resultados de la simulación de celdas 1x1 km e intervalos de tiempo en la entrega de datos de 1 hora, con un análisis espacial de la información a través de mapas y un seguimiento estadístico de la precipitación.

También se ha notado que el modelo numérico, todavía se encuentra algo lejos de lograr ajustes óptimos en las series de datos, pero esto se explica por el comportamiento caótico propio de los fenómenos atmosféricos y para la precipitación se ha encontrado una marcada tendencia a la sobreestimación en la cantidad total acumulada.

**Tabla 1.-** Comparación estadística de datos recogidos en tierra y datos simulados por el modelo WRF.

Medida Estadística	Serie de datos	
	Observados	Simulados
Correlación con el observado	N/A	0.38
Desviación Estándar	2.29	3.22
Varianza	5.26	10.37
Media	0.72	1.47
Sumatoria	135.14	275.86
RMSE con respecto al observado	N/A	3.25

También se han obtenido series de tiempo para variables relacionadas con la lluvia como son: la temperatura, la humedad relativa, la presión atmosférica, la radiación solar, la velocidad y dirección del viento entre otras.



**Figura 4.-** Comparación gráfica de series de datos de precipitación observadas y simuladas.

Adicionalmente se han realizado mapas con sucesión temporal, para rastrear el comportamiento de las variables tanto en el espacio como en el tiempo. Estos mapas han reflejado, que el evento de lluvia se generó en el nor-orientado de la ciudad y se fue desplazando hacia el sur, además que ocurrió en tres oleadas de diferente intensidad, lo que conllevó a una carga intensa de agua sobre las masas de suelo que no tuvieron oportunidad de drenarla originando así los desplazamientos de este, que originaron la emergencia ya citada.

## Bibliografía

- Botero, J.** (2012). Recuperado de <http://www.jbingenieria.com/>
- Frontera Informativa** (2013). Reporte de lluvias en Manizales y recomendaciones ante alerta amarilla de dengue en Caldas. Retrieved November 21, 2016, recuperado de <https://fronterainformativa.wordpress.com/2013/03/20/reporte-de-lluvias-en-manizales-y-recomendaciones-ante-alerta-amarilla-de-dengue-en-caldas/>
- Pachón, J.** (2011). Distribución de la lluvia en Manizales. Boletín ambiental. Instituto de Estudios Ambientales IDEA. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, 93, 11.
- Lynch, P.** (2010). Predicción del tiempo y del clima: crónica de una revolución. , 59(2), 75-78.
- Vélez, J.J., Duque, N., Mejía, F., and Orozco, M.** (2012). Red de monitoreo Climático para dar apoyo a la prevención y atención de desastres en Manizales, Colombia. III – Congreso de Meteorología Tropical, mayo 14-18, La Habana, Cuba.