

# METODOLOGÍA PARA LA DESAGREGACIÓN ESPACIAL DE CAMPOS DIARIOS DE PRECIPITACIÓN CON MODELOS REGRESIVOS: APLICACIÓN EN COLOMBIA.

S. Vergara<sup>1</sup>, J. P. Rendón-Álvarez<sup>2</sup>, O. D. Álvarez-Villa<sup>1</sup> y P. A. Arias<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Escuela Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.

E-mail: santiago.vergara@udea.edu.co, odavid.alvarez@udea.edu.co, paola.arias@udea.edu.co, jprendona@gmail.com

## Introducción

La escasez de registros históricos de variables ambientales requeridos para la toma de decisiones por parte de los usuarios técnicos es una limitante para la efectiva aplicación de las geociencias en la gestión de los recursos naturales, especialmente marcada en países en desarrollo. Por esta razón, diferentes organizaciones a nivel mundial ofertan libremente productos de diferentes variables, que se obtienen del trabajo colectivo de la comunidad científica internacional con sensores remotos y modelos de circulación global. Sin embargo, estos productos ofrecen campos con una resolución espacial insuficiente para el análisis local de procesos físicos, por lo que reduce su utilidad práctica inmediata. Así, para poder utilizar este tipo de información satelital en el contexto local, es necesario aplicar un procesamiento previo a los datos para que permitan caracterizar efectivamente la distribución espacial que pretenden representar, en una escala apta para la determinación de fenómenos naturales. A este procedimiento se le conoce como desagregación (Wilby & Fowler, 2010). Bajo este enfoque conceptual, la precipitación ha sido relacionada con variables como la elevación y el Índice de Vegetación de Diferencias Normalizadas (NDVI por sus siglas en inglés), y se ha planteado la desagregación de productos de precipitación obtenidos con instrumentos de teledetección, a partir de modelos regresivos que involucran estas variables, mostrando resultados satisfactorios para diferentes regiones a escalas temporales anuales y mensuales (Fang et al., 2013; Immerzeel, et al., 2009; Xu et al., 2015).

Dentro de este contexto, este trabajo propone una metodología de desagregación estadística de los productos diarios de precipitación de la Misión para la Medición de la Lluvia Tropical (TRMM, por sus siglas en inglés), y los del proyecto “Climate Hazards Infrared Precipitation with Stations” (CHIRPS), a partir de modelos regresivos con el producto de NDVI, obtenido de “Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer” (MODIS), y un Modelo Digital de Elevación (MDE) de la “Shuttle Radar Topography Mission” (SRTM). La hipótesis central de esta investigación consiste en que existe una relación espaciotemporal invariante con la escala espacial entre la precipitación, la actividad vegetal y la topografía, y que esta puede ser aprovechada para predecir efectivamente la distribución espacial de la lluvia localmente y a escala diaria. Esta propuesta metodológica se implementa para el territorio de Colombia, buscando aportar soluciones a las necesidades de información ambiental que se pueden suplir bajo estos esquemas de desagregación.

## Metodología

La metodología se basa en encontrar relaciones empíricas entre precipitación, NDVI y elevación, a través de una regresión multivariada mediante mínimos cuadrados ordinarios. De esta forma, es posible encontrar modelos de regresión a la escala espacial de los productos de precipitación, o a escalas aún más gruesas, y luego aplicarla a la escala fina de los productos de NDVI y elevación, para predecir los campos de precipitación diaria. Se propone evaluar modelos lineales, potenciales y

exponenciales entre las variables, y seleccionar de entre ellos el que mejor represente la relación entre las variables. Como la escala temporal a la que se quiere llegar es diaria y el NDVI se encuentra disponible para intervalos de 16 días, se desarrolla una estrategia para solventar las incompatibilidades temporales entre las bases de datos. Al respecto, se propone promediar la precipitación en diferentes intervalos de tiempo, para encontrar un intervalo de agregación óptimo para promediar la precipitación de manera que la metodología represente correctamente la relación física entre la lluvia y el índice de vegetación presentado. Así, el algoritmo de desagregación evalúa, para cada campo de NDVI, los posibles números de días de agregación de la precipitación, y a su vez ejecutando para cada posible intervalo de tiempo los tres tipos de modelos bajo el esquema de optimización por mínimos cuadrados, para así encontrar los parámetros del ajuste. Luego de identificar la configuración del modelo con la función, los parámetros, el intervalo de agregación y la escala espacial que en conjunto optimicen los resultados para cada campo de NDVI disponible (cada 16 días), se puede obtener la precipitación promedio en el intervalo de tiempo a partir del modelo empírico, así como los residuales de la regresión que cuantifica la parte aleatoria del modelo. Estos residuales se obtienen a la resolución espacial gruesa por lo que se desagregan utilizando el algoritmo de interpolación de la ponderación por el inverso de la distancia. Finalmente, para distribuir la precipitación acumulada cada 16 días a la escala diaria, se propone una ponderación por un factor de contribución diario. Este factor se obtiene de la razón entre la precipitación del día de interés y la precipitación acumulada en el intervalo óptimo, a la resolución original de los campos de precipitación. De esta forma, se obtiene un campo del factor para cada día a la escala espacial óptima que puede ser reescalado a la escala del NDVI, similarmente a como se propone proceder para los residuales del modelo. Este factor cuantifica la cantidad de agua que aporta cada día sobre el promedio. Para obtener entonces el campo de precipitación desagregada para cada día, se propone ponderar el campo de precipitación acumulada desagregado, disponible a 16 días, por el campo del factor de contribución diaria reescalado.

**Tabla 1.-** Resumen de las características de las bases de datos satelitales adquiridas.

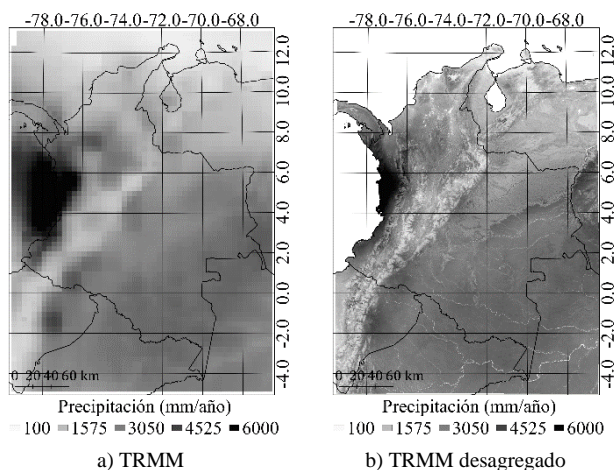
Base de Datos	Variable	Producto	Resolución Espacial
TRMM	Precipitación	3B42	0.25°
CHIRPS	Precipitación	N/A	0.05°
MODIS	NDVI	MOD13Q1	250m
STRM	Elevación	SRTM1 V3.0	1”

Para llevar a cabo este trabajo, se contó con la información de cuatro bases de datos satelitales: dos de precipitación (TRMM y CHIRPS), una de NDVI (MODIS) y una de elevación (SRTM). Las principales características de las bases de datos de información satelital adquiridas se resumen en la Tabla 1. La metodología se aplica tanto para la base de datos de la TRMM como para la CHIRPS y evalúa las potencialidades de la misma para el territorio colombiano para un periodo de 15 años, a la

luz de la comparación con estaciones en tierra. Los campos de precipitación obtenidos poseen a una resolución de 1000m, aunque la metodología permitiría llevar la resolución hasta un máximo de 250m, definido por la resolución de los campos de NDVI utilizados.

## Resultados y análisis

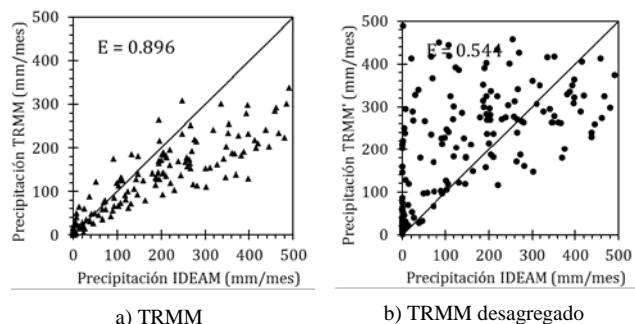
Los resultados obtenidos en términos del ajuste de los modelos regresivos y de su aplicación a diferentes escalas muestran que efectivamente existen relaciones entre la precipitación, el NDVI y la elevación del terreno en la región de estudio, y que estas variables pueden ser utilizadas como indicadores de la lluvia. Lo anterior se basa en los valores del coeficiente E que en promedio se obtienen para ambas bases de datos, del orden de 0.36, y en la baja variabilidad presentada, explicada por las desviaciones estándar obtenidas, de cerca del 30% del promedio. También, se encuentra que los intervalos de agregación óptimos presentan valores muy altos, del orden de 6 meses en promedio, periodo que comprende por lo menos una temporada de lluvias hacia atrás, de las que se presentan en el ciclo anual, bien sea para las regiones con ciclos unimodales o bimodales. Estos resultados evidencian que la vegetación responde a rachas de precipitación y no a eventos, y que su actividad está dominada en gran medida por la variabilidad intranual de la lluvia (el ciclo anual). Además, la Figura 1 muestra una comparación entre los mapas de precipitación promedio anual multianual de la base de datos de TRMM con su respectivo producto desagregado. En esta figura se evidencia la buena representación de ambas bases de datos de las características principales de la precipitación en Colombia, y ejemplifica el aporte en la descripción de la variabilidad espacial de la precipitación que se produce con la desagregación, pues se observa un aumento en la rugosidad del campo, manteniéndose la distribución de la variable a escala regional.



**Figura 1.-** Comparación entre los mapas de precipitación promedio anual multianual original y desagregada, a partir de registros de TRMM.

Para complementar los resultados descritos, se muestran los diagramas de dispersión en la Figura 2. En estos se evidencia una tendencia al aumento en la variabilidad por parte de los datos desagregados, en relación a la disminución en los valores del coeficiente de determinación, E. Sin embargo, un detalle importante es que esa variabilidad agregada reduce el sesgo que se observa en algunas estaciones. Este análisis comparativo con una estación pluviométrica particular muestra que los datos originales tienen una excelente correlación con la serie del pluviómetro, pero subestiman las magnitudes, mientras que las

desagregaciones equilibran el balance producto de su variabilidad. Este resultado tiene implicaciones dentro del contexto de la aplicación de estos productos en análisis hidrológicos.



**Figura 2.-** Diagramas de dispersión de la serie de tiempo mensual extraída de los campos desagregados de TRMM y una estación pluviométrica.

## Conclusiones

A partir de los resultados expuestos en este trabajo, se concluye que la metodología planteada para la desagregación de campos de precipitación es efectiva en aquellos casos en que se requiera realizar análisis a resoluciones temporales mensuales y anuales. Ello se sustenta en que los estadísticos estimados de los productos de precipitación secundaria desagregada a estas resoluciones, además de los ciclos medios anuales, aunque evidencian algunas desviaciones en términos de magnitud, presentan un aceptable ajuste a la información principal de precipitación medida en las estaciones pluviométricas, especialmente en lo referente a la forma y la frecuencia de la variabilidad de la precipitación a diferentes escalas.

Los autores resaltan el valor que tiene el establecimiento de un marco procedimental que permite que la metodología pueda ser implementada por usuarios de información ambiental para realizar estudios que apunten a mejorar el conocimiento de los recursos naturales, con lo que se espera contribuir al desarrollo técnico y científico de Latinoamérica. Es de destacar que, desde la revisión de literatura realizada para este trabajo, no se evidencia el desarrollo de propuestas similares en el pasado en la región, por lo que este trabajo es pionero al respecto.

## Referencias

- Fang, J., Du, J., Xu, W., Shi, P., Li, M., & Ming, X. (2013). "Spatial downscaling of TRMM precipitation data based on the orographical effect and meteorological conditions in a mountainous area". *Advances in Water Resources*, 61, 42–50. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2013.08.011>
- Immerzeel, W. W., Rutten, M. M., & Droogers, P. (2009). "Spatial downscaling of TRMM precipitation using vegetative response on the Iberian Peninsula". *Remote Sensing of Environment*, 113(2), 362–370. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.10.004>
- Wilby, R. L., & Fowler, H. J. (2010). *Regional Climate Downscaling*. In *Modelling the Impact of Climate Change on Water Resources* (pp. 34–85). <https://doi.org/10.1002/9781444324921.ch3>
- Xu, G., Xu, X., Liu, M., Sun, A. Y., & Wang, K. (2015). "Spatial downscaling of TRMM precipitation product using a combined multifractal and regression approach: Demonstration for South China". *Water (Switzerland)*, 7(6), 3083–3102. <https://doi.org/10.3390/w7063083>