

## ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN EN LA CIUDAD DE MANIZALES, COLOMBIA

Luisa Fernanda Calderón C.<sup>1</sup>, Jorge Julián Vélez U.<sup>2</sup> y Blanca Adriana Botero H.<sup>3</sup>

<sup>1 y 2</sup> Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Colombia.

<sup>3</sup> Universidad de Medellín, Colombia.

E-mail: lfcalderon@unal.edu.co, jjvelezu@unal.edu.co, babotero@udem.edu.co

### Introducción

La correcta determinación de la evapotranspiración (ET) es fundamental para diversas disciplinas, entre ellas los estudios agrícolas e hidrológicos, en los cuales la ET juega un papel esencial en el balance hídrico (Chávez et al., 2013), de gran importancia para la gestión de recursos hídricos, manejo de cuencas y para la estimación de las necesidades de agua de los cultivos, la programación del riego, la gestión de la sequía y estudios sobre el cambio climático (Raziei & Pereira, 2013); además, el monitoreo de la evapotranspiración tiene implicaciones importantes en el modelado del clima regional y global, así como en la evaluación de estrés ambiental sobre los ecosistemas naturales y agrícolas (Allen, 2000). Los resultados de los modelos climáticos indican que los cambios en la humedad disponible liberados a la atmósfera pueden tener efectos de retroalimentación importantes en la formación de nubes, que a su vez afecta en gran medida el presupuesto de radiación y campos de precipitación a escala mundial y continental (Kustas & Norman, 1996). Por último, la evapotranspiración interviene en el balance energético, asegurando que la energía solar recibida por la tierra sea devuelta a la atmósfera.

Debido a la gran cantidad de métodos disponibles, se han realizado diferentes estudios alrededor del mundo con el fin de evaluarlos y se han desarrollado guías en las cuales se recomiendan algunos, como la presentada por Doorenbos & Pruitt (1977) en el documento número 24 de la serie de riego y drenaje de la organización para la agricultura y la alimentación (FAO), la cual recomendaba los métodos de Blaney- Criddle, radiación, Penman y tanque de evaporación; sin embargo, muchos investigadores evaluaron la validez de las ecuaciones recomendadas por la FAO-24 y por las otras existentes en la literatura y mostraron sus deficiencias, llegando a ser evidente que los métodos propuestos no se comportan de la misma manera en diversas zonas del mundo, lo que muestra la necesidad de determinar un método estándar.

En esta investigación, que se realiza en la zona urbana de Manizales - Caldas, Colombia, se pretende encontrar un método de estimación de la evapotranspiración potencial (ETP) alterno al de FAO Penman-Monteith (FAO PM), que pueda ser usado cuando no se cuenta con todas las variables meteorológicas requeridas por éste y con el que se puedan obtener estimaciones muy similares que garanticen la correcta determinación de la evapotranspiración potencial según las condiciones climáticas del sitio de estudio. Para este fin, se analizaron diez métodos indirectos tanto empíricos como de base física para el cálculo de la evapotranspiración potencial utilizando diferentes indicadores estadísticos de desempeño.

Los procesos de planificación urbana y de planificación de cuencas urbanas conlleva la responsabilidad de una estimación confiable de los balances hídricos, los cuales requiere de la mejor estimación de la evapotranspiración.

### Metodología

La ciudad de Manizales se encuentra localizada sobre la cordillera de los Andes, en la región centro sur del departamento de Caldas, Colombia, con una extensión total de

52 km<sup>2</sup>, tiene una elevación media de 2150 m.s.n.m. En la Figura 1 se puede apreciar el mapa de la ciudad y la localización de las estaciones utilizadas en el estudio.



Figura 1.- Ubicación de las estaciones de estudio dentro del perímetro urbano de Manizales.

Las etapas llevadas a buen término para alcanzar el objetivo planteado en esta investigación fueron las siguientes:

Recopilación y análisis de la información espacial y temporal para la ciudad de Manizales

Análisis estadístico de la información y llenado de datos faltantes

Selección en los métodos a comparar, se seleccionan sólo nueve métodos entre más de veinte disponibles en la literatura (Calderón, 2017).

Cálculo de la evapotranspiración y criterios de comparación.

Determinación de la evapotranspiración mediante el balance hídrico utilizando una ecuación simple y un modelo hidrológico de tanques.

La investigación se realizó utilizando la información de 10 estaciones climatológicas pertenecientes a la Unidad de Gestión del Riesgo de la Alcaldía de Manizales y la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

### Resultados y discusión

Manizales presenta un clima ecuatorial de montaña, con dos períodos de máxima precipitación en el año (tipo bimodal), uno entre marzo y mayo y otro hacia los meses de septiembre a diciembre (Jaramillo, 2005). La precipitación; en el municipio se tiene un promedio anual aproximado de 2000 mm.

Las variables climáticas que se analizaron fueron la temperatura, máxima, media y mínima, la radiación solar, la humedad relativa media, la velocidad y dirección del viento. Se les realizó un análisis estadístico descriptivo que resume las principales características de las series y se aprecia comportamiento estable de las variables utilizadas. El análisis de consistencia y homogeneidad fue realizado mediante gráficas de masa simple y doble masa para cada una de las variables de las diez estaciones de estudio, mostrando un comportamiento que indica que no existen saltos ni tendencias en las series de datos, por lo cual se deduce que estas series tienen buena calidad y pueden ser usadas para realizar los cálculos requeridos.

Luego se procede a calcular la ETP mensual para todas las

estaciones empleando diez metodologías diferentes. En la Figura 2 se presentan los resultados para las estaciones Hospital y Posgrados. Resultados similares se obtuvieron para las 10 estaciones localizadas en la ciudad, en donde es evidente la alta variabilidad entre métodos, siendo los más cercanos al método de la FAO PM las ecuaciones de Priestley-Taylor, Cenicafé y Turc modificado. Los métodos de Hargreaves-Samani y Schendel tienden a sobreestimar sistemáticamente la ETP en todas las estaciones, mientras los métodos de García y López, García y López modificado y Thornthwaite subestiman la ETP en todas las estaciones.

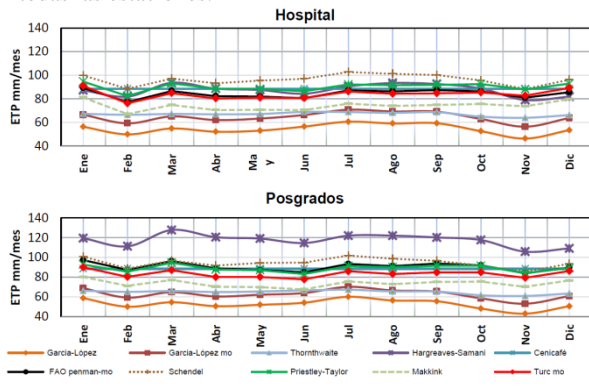


Figura 2.- ETP estimada por diferentes métodos para las estaciones Hospital y Posgrados (2008-2015).

Para el análisis anual, se presentan en la Figura 3 los resultados de las estaciones El Carmen y Enea, mostrando para cada ecuación comportamientos similares con alta variabilidad entre los métodos.

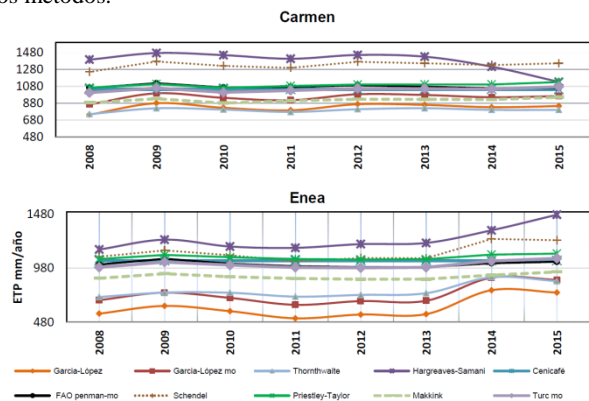


Figura 3.- ETP anual estimada por diferentes métodos para las estaciones El Carmen y Enea (2008-2015).

En cuanto a los indicadores de desempeño se realizó una comparativa entre el RMSE, MAE, y el PBIAS, en la Figura 4 se presentan los resultados para los diferentes métodos en las estaciones La Palma y Aranjuez.

Finalmente se calibró un modelo hidrológico de tanques para determinar la ET y se comparó con los diferentes métodos y los resultados se presentan en la Figura 5, también se aplica una ecuación de balance partiendo del caudal y de la lluvia para una cuenca urbana localizada dentro de la ciudad de Manizales y que sirve de referencia para comparar la ET.

## Conclusiones

Las metodologías que involucran la radiación solar son las que menos errores presentan respecto del método estándar de la FAO-PM, puesto que el componente de radiación es responsable de aproximadamente 2/3 de la evapotranspiración potencial. Los métodos basados sólo en la temperatura fueron los que peor representaron el comportamiento del método estándar, lo cual indica que las ecuaciones con esta

característica no son adecuadas para ser aplicadas en la ciudad de Manizales.

La ecuación de Cenicafé que es muy usada en esta zona (pues su formulación se realizó para las cuencas de los ríos Cauca y Magdalena) fue el cuarto mejor método después de Turc modificado, Priestley y Taylor y Makkink en estimar valores cercanos a la media de FAO Penman Monteith, teniendo en cuenta que esta metodología sólo requiere la altura de la estación. Su uso puede brindar un buen estimativo de la ETP cuando no se tengan datos climáticos para utilizar los otros métodos.

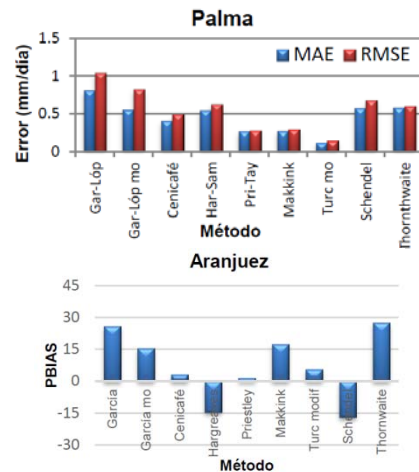


Figura 4.- Indicadores de desempeño para las estaciones La Palma (RMSE y MAE) y estación Aranjuez (PBIAS).

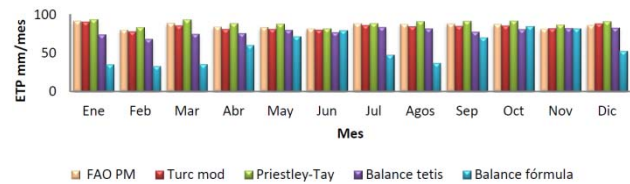


Figura 5.- Comparación de la ETP obtenida entre los diferentes métodos y la ET estimada con el balance hidrológico (2008-2015).

## Referencias bibliográficas

- Allen, R. G. (2000). Using the FAO-56 dual crop coefficient method over an irrigated region as part of an evapotranspiration intercomparison study, *Journal of Hydrology* 229(1-2):27-41 DOI10.1016/S0022-1694(99)00194-8
- Calderón, L. F. (2017). "Análisis y estimación de la evapotranspiración en Manizales". Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. 140p.
- Chavez, E., González, G., Dzul-López, E., Sánchez, I., López, A. y Chávez, J. A. (2013). Uso de estaciones climatológicas automáticas y modelos matemáticos para determinar la evapotranspiración, *Tecnología y ciencias del agua*, IV, 115-126.
- Doorenbos, J., & Pruitt, W. O. (1977). Guidelines for predicting crop water requirements. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 154
- Jaramillo, A. (2005). "Clima Andino y café en Colombia", Ed. Cenicafé, 75p.
- Kustas, W. P., & Norman, J. M. (1996). Use of remote sensing for evapotranspiration monitoring over land surfaces. *Hydrological Sciences Journal-Des Sciences Hydrologiques*, 41(4), 495-516. <http://doi.org/10.1080/02626669609491522>
- Raziei, T., & Pereira, L. S. (2013). Spatial variability analysis of reference evapotranspiration in Iran utilizing fine resolution gridded datasets. *Agricultural Water Management*, 126, 104-118. <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.05.003>