

Predicción de caudales medios diarios por medio de modelos de inteligencia artificial y aprendizaje automático

Juan Esteban Taborda Soto^{1*}

¹Universidad Nacional de Colombia

Key Points:

-

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1908-6030>

Corresponding author: Juan Esteban Taborda Soto, jetabordas@unal.edu.co

Abstract

[enter your Abstract here]

1 Introducción

Los caudales de los ríos fluctúan en diferentes escalas de tiempo de comprenden horas, días, semanas, meses y años. El entendimiento de estas fluctuaciones ha sido de gran importancia para los investigadores colombianos, especialmente en los ríos aferentes al Sistema Interconectado Nacional (SIN), ya que la generación de energía eléctrica por medio de dichos caudales representa cerca del 70% de la energía producida por la Asociación Colombiana de Generadores de Energía Eléctrica (ACOLGEN), la cual tiene cerca del 70% de la capacidad instalada del país (Acolgen, 2022). Los principales hallazgos respecto a los moduladores de estas fluctuaciones tienen que ver con la oscilación meridional de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) que tiene influencia sobre la variación anual y semianual del caudal (Mejia et al., 1999) junto con la actividad del Chorro del Occidente Colombiano (CHOCÓ) (Poveda & Mesa, 2000), El Niño - Oscilación del Sur (ENSO), el cual influye sobre la variación interanual (Arias et al., 2021; Poveda et al., 2020, 2011) y, la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) y Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO) que repercuten sobre las variaciones decadales (Poveda, 2004). Bajo este conocimiento se han desarrollado diferentes modelos de pronóstico estadístico de caudal medio mensual que permitan asegurar la operación de los embalses con desempeños aceptables en estas escalas de tiempo. Algunos de los métodos utilizados en estos modelos de pronóstico consisten en la aplicación de Regresión Lineal Múltiple (Poveda et al., 2002), Redes Neuronales (Poveda et al., 2002), Modelo MARS (Poveda et al., 2002; Sanchez & Poveda, 2006), Análisis Espectral Singular (Carvajal et al., 1998; Rojo-Hernández & Carvajal-Serna, 2010), Modelo ARIMA (Sanchez & Poveda, 2006), Modelos autoregresivos (Salazar Velásquez & Mesa Sánchez, 1994) y Predicción por bandas espectrales (Poveda et al., 2002).

Por otro lado, la necesidad de contar con información de los mecanismos que intervienen en la modulación de las oscilaciones intraestacionales (con periodos entre 1-90 días) ha impulsado diversos estudios que se han enfocado principalmente en las relaciones con la Oscilación de Madden-Julian (MJO) (Arias, 2005; Poveda & Mesa, 2000; Torres-Pineda & Pabón Caicedo, 2017; Grimm, 2019), la cual es el principal modo de variabilidad intraestacional en el trópico (Madden & Julian, 1971, 1972) y en modelos de pronóstico que incluyan este mecanismo como variable predictora, los cuales se han basado principalmente en métodos de Análisis Espectral Singular y Predicción por bandas espectrales (Arias, 2005; Arenas Cárdenas & Carvajal Serna, 2010; Yepes Palacio, 2012). Recientemente, se ha encontrado que además de la MJO, otras ondas atmosféricas acopladas con la convección, en particular Ondas Kelvin, Ondas Rossby y Ondas del Este, se relacionan coherentemente con la precipitación sobre la región (Giraldo-Cardenas et al., 2022; Hoyos & Taborda, n.d.; Taborda-Soto, n.d.), y que en la dinámica los chorros de bajo nivel podrían jugar un papel importante en la variación intraestacional (Arias et al., 2021; Taborda-Soto, n.d.; Serra et al., 2010; Arias, 2005). En este sentido, en el presente trabajo se explora la predicción de caudales medios diarios del río Sogamoso utilizando estas variables como datos de entrada junto con variables tradicionales y diferentes modelos de inteligencia artificial y aprendizaje automático para determinar la ganancia de estos enfoques respecto a enfoques tradicionales de pronóstico climatológico.

El documento se divide de la siguiente manera...

2 Datos

- Precipitación sobre la cuenca del reanálisis ERA5.
- Series de advección de humedad dada por los chorros de bajo nivel con las variables sacados de las variables de vientos horizontales y humedad específica de ERA5.

- Series de las ondas acopladas con la convección sobre la cuenca (o una región más amplia) por medio del filtro espaciotemporal de la OLR de la NOAA.
- Información de caudales dada por el IDEAM y XM.

Podríamos tener también precipitación acumulada antecedente y tocaría evaluar si algún índice interanual, aunque no creo por que uno espera que eso se vea reflejado en la precipitación o en las otras variables. También se podría utilizar alguna serie de la MJO.

3 Materiales y Métodos

4 Resultados

5 Conclusiones

6 = enter section title =

7 Open Research

AGU requires an Availability Statement for the underlying data needed to understand, evaluate, and build upon the reported research at the time of peer review and publication.

Authors should include an Availability Statement for the software that has a significant impact on the research. Details and templates are in the Availability Statement section of the Data and Software for Authors Guidance: <https://www.agu.org/Publish-with-AGU/Publish/Author-Resources/Data-and-Software-for-Authors#availability>

It is important to cite individual datasets in this section and, and they must be included in your bibliography. Please use the type field in your bibtex file to specify the type of data cited. Options include [Dataset], [Software], [ComputationalNotebook], [Collection].

For physical samples, use the IGSN persistent identifier, see the International Geo Sample Numbers section: <https://www.agu.org/Publish-with-AGU/Publish/Author-Resources/Data-and-Software-for-Authors#IGSN>

Acknowledgments

This section is optional. Include any Acknowledgments here. The acknowledgments should list:

All funding sources related to this work from all authors

Any real or perceived financial conflicts of interests for any author

Other affiliations for any author

that may be perceived as having a conflict of interest with respect to the results of this paper.

It is also the appropriate place to thank colleagues and other contributors. AGU does not normally allow dedications.
Hello here is some text in Nick's file

References

- Acolgen. (2022). *Capacidad instalada en colombia*. Retrieved 2022-08-30, from <https://acolgen.org.co/>
- Arenas Cárdenas, J. S., & Carvajal Serna, L. F. (2010). Desarrollo de un modelo de predicción de caudales semanales asociado a la variabilidad intraestacional en colombia. *Escuela de Geociencias y Medio Ambiente*.
- Arias, P. A. (2005). *Diagnostico y predicción de la variabilidad intra-anual de la hidrología colombiana* (Unpublished master's thesis). Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. Facultad de Minas.
- Arias, P. A., Garreaud, R., Poveda, G., Espinoza, J. C., Molina-Carpio, J., Masiokas, M., ... van Oevelen, P. J. (2021). Hydroclimate of the andes part ii: Hydroclimate variability and sub-continental patterns. *Frontiers in Earth Science*, 8. Retrieved from <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/feart.2020.505467> doi: 10.3389/feart.2020.505467
- Carvajal, L., Salazar, J., Mesa, O., & Poveda, G. (1998, 01). Hydrological prediction in colombia using singular spectral analysis and the maximum entropy method. *Ingeniería hidráulica en México*, 13, 7-16.
- Giraldo-Cardenas, S., Arias, P. A., Vieira, S. C., & Zuluaga, M. D. (2022). Easterly waves and precipitation over northern south america and the caribbean. *International Journal of Climatology*, 42(3), 1483-1499. Retrieved from <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/joc.7315> doi: <https://doi.org/10.1002/joc.7315>
- Grimm, A. (2019, 07). Madden-julian oscillation impacts on south american summer monsoon season: precipitation anomalies, extreme events, teleconnections, and role in the mjo cycle. *Climate Dynamics*, 53. doi: 10.1007/s00382-019-04622-6
- Hoyos, C., & Taborda, J. (n.d.). *The influence of equatorially trapped waves on precipitation variability in the amazon basin and northern south america*.
- Madden, R. A., & Julian, P. R. (1971). Detection of a 40–50 day oscillation in the zonal wind in the tropical pacific. *Journal of Atmospheric Sciences*, 28(5), 702 - 708. Retrieved from https://journals.ametsoc.org/view/journals/atsc/28/5/1520-0469_1971_028_0702_doadoi_2_0_co_2.xml doi: 10.1175/1520-0469(1971)028<0702:DOADOI>2.0.CO;2
- Madden, R. A., & Julian, P. R. (1972). Description of global-scale circulation cells in the tropics with a 40–50 day period. *Journal of Atmospheric Sciences*, 29(6), 1109 - 1123. Retrieved from https://journals.ametsoc.org/view/journals/atsc/29/6/1520-0469_1972_029_1109_dogsc_2_0_co_2.xml doi: 10.1175/1520-0469(1972)029<1109:DOGSCC>2.0.CO;2
- Mejia, J., Mesa, O., Poveda, G., Velez, J., Hoyos, C., Mantilla, R., ... Botero, B. (1999, 01). Distribución espacial y ciclos anual y semianual de la precipitación en colombia. *Dyna (Medellin, Colombia)*, 127, 7-26.
- Poveda, G. (2004, 01). La hidroclimatología de colombia: Una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diurna. *Rev. Acad. Colomb. Cienc*, 28, 201-222.
- Poveda, G., Alvarez, D. M., & Rueda, O. A. (2011). Hydro-climatic variability over the andes of colombia associated with enso: a review of climatic processes and their impact on one of the earth's most important biodiversity hotspots. *Climate Dynamics*, 36(11), 2233–2249.
- Poveda, G., Espinoza, J. C., Zuluaga, M. D., Solman, S. A., Garreaud, R., & van Oevelen, P. J. (2020). High impact weather events in the andes. *Frontiers in Earth Science*, 8. Retrieved from <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/feart.2020.00162> doi: 10.3389/feart.2020.00162
- Poveda, G., & Mesa, O. (2000, 06). On the existence of llovo (the rainiest locality on earth):

- Enhanced ocean-land-atmosphere interaction by a low level jet. *Geophysical Research Letters*, 27, 1675-1678. doi: 10.1029/1999GL006091
- Poveda, G., Mesa, O., Carvajal, L., Hoyos, C., Mejia, J., Cuartas, L., & Pulgarín. (2002, 01). Predicción de caudales medios mensuales en ríos colombianos usando métodos no lineales. *Meteorología Colombiana*, 6, 101-110.
- Rojó-Hernández, J. D., & Carvajal-Serna, L. F. (2010). Predicción no lineal de caudales utilizando variables macroclimáticas y análisis espectral singular. *Tecnología y ciencias del agua*, 1(4), 59-73.
- Salazar Velásquez, J. E., & Mesa Sánchez, O. J. (1994, ene.). Aplicación de dos modelos no lineales a la simulación de series hidrológicas. *Avances en Recursos Hidráulicos*(02), 27-47. Retrieved from <https://revistas.unal.edu.co/index.php/arh/article/view/91916>
- Sanchez, J., & Poveda, G. (2006, 01). Aplicación de los métodos mars, holt-winters y arima generalizado en el pronóstico de caudales medios mensuales en ríos de antioquia. *Meteorología Colombiana*, 10, 36-46.
- Serra, Y. L., Kiladis, G. N., & Hodges, K. I. (2010). Tracking and mean structure of easterly waves over the intra-americas sea. *Journal of Climate*, 23(18), 4823 - 4840. Retrieved from <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/23/18/2010jcli3223.1.xml> doi: 10.1175/2010JCLI3223.1
- Taborda-Soto, J. E. (n.d.). *Variabilidad intraestacional de la precipitación sobre el norte de sudamérica: diagnóstico y conexiones*.
- Torres-Pineda, C., & Pabón Caicedo, J. D. (2017, 03). Variabilidad intraestacional de la precipitación en colombia y su relación con la oscilación de madden-julian. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 41, 79. doi: 10.18257/raccefyn.380
- Yepes Palacio, L. J. (2012). *Variabilidad climática intraestacional y su efecto sobre la precipitación en colombia: Diagnóstico y pronóstico* (Unpublished master's thesis). Escuela de Geociencias y Medio Ambiente.