

ANÁLISIS ESPACIOTEMPORAL DE LA HIDROCLIMATOLOGÍA DEL SISTEMA CHINGAZA: ESTACIONALIDAD Y VARIABILIDAD CLIMÁTICA

G. Hernández¹, G. Corzo², G. Santos¹, C. Tami¹, K. Sánchez¹, J. Gacharná¹, G. Herrán³, D. Gutiérrez³, y F. Rubiano³

¹Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Colombia

²IHE – Delft Institute for Water Education, The Netherlands

³Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, Colombia

guillermo.hernandez@mail.escuelaing.edu.co, g.corzo@un-ihe.org, german.santos@escuelaing.edu.co, carlos.tami@mail.escuelaing.edu.co, karel.sanchez@mail.escuelaing.edu.co, juan.gacharna@escuelaing.edu.co, gherran@acueducto.com.co, dgutierrezb@acueducto.com.co, frubiano@acueducto.com.co

Introducción

El parque nacional natural Chingaza (PNNC), uno de los ecosistemas paramunos con mayor potencial hídrico en la cordillera de los andes colombianos, abastece aproximadamente el 80% de la demanda de agua de la ciudad de Bogotá (Gordillo, 2019). En términos de población, el PNNC suministra agua a cerca de 10 millones de personas, que representan el 20 % de la población colombiana, siendo un sistema de gran importancia para la región.

Los procesos hidrológicos que ocurren en el PNNC han sido objeto de numerosos estudios (Cresso et al., 2020; Cárdenas et al., 2017; Gil & Tobón et al., 2017), los cuales sirven de referencia en la planeación y gestión de los recursos hídricos del sistema Chingaza. Sin embargo, dichos procesos se han visto afectados en los últimos años por factores externos como la variabilidad climática y cambios hidrológicos en regiones contiguas (i.e. Amazonía) que aportan humedad al sistema a través de flujos de vapor de agua en la atmósfera o Ríos atmosféricos (Payne et al., 2020).

El presente estudio tiene como propósito analizar 42 años de datos hidrológicos sobre el páramo Chingaza a partir de dos enfoques: Estacionalidad y variabilidad climática. Con base en estos análisis se buscan identificar impactos sobre el sistema de suministro regulado por el embalse de Chuza en el PNNC, operado por la EAAB (Empresa de Acueducto y alcantarillado de Bogotá). Este análisis se llevó a cabo para el periodo 1980 – 2022, utilizando datos de mediciones in situ registrados por la EAAB y datos globales de ERA5 (Copernicus Climate Change Service, 2023). A partir de estos datos, se identificaron patrones estacionales para cada uno de los parámetros hidrológicos, evaluando rangos, distribución espacial, e influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). Posteriormente, se identificaron variaciones interanuales de estos parámetros, resaltando anomalías, eventos transitorios, Niño/Niña y tendencias. Finalmente, se evaluaron los efectos de estos dos enfoques (estacionalidad y variabilidad climática) sobre el sistema de suministro de Chingaza.

Esta investigación contribuye a una comprensión más profunda de la dinámica hidrológica del sistema Chingaza en el contexto de fluctuaciones climáticas

y cambios ambientales.

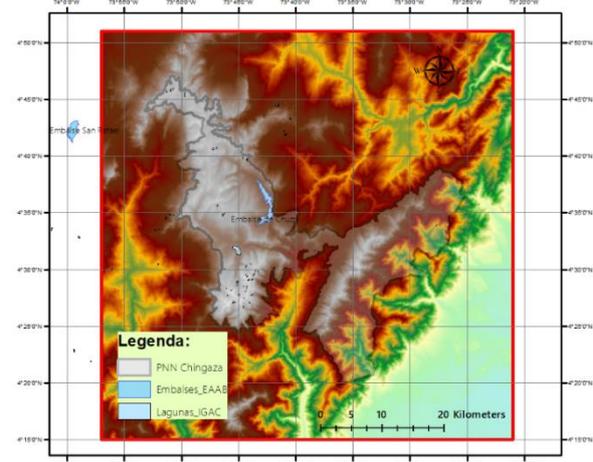


Figura 1. Delimitación de la zona de estudio en función del PNNC

Metodología

Inicialmente, se realizó la delimitación de la región de estudio (PNNC), demarcando cuencas de drenaje y corrientes aportantes al sistema Chingaza utilizando herramientas SIG. Se manejó una escala espacial para la superficie del PNNC conformada por celdas de 30 x 30 m. El modelo conceptual que describe el funcionamiento del sistema Chingaza se resume en la Figura 2.

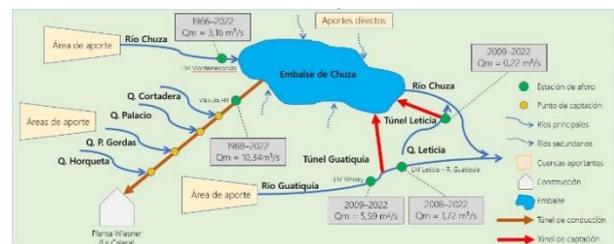


Figura 2. Modelo Conceptual Sistema Chingaza

A partir de la delimitación espacial y del periodo de análisis 1980 – 2022 (escala diaria), se obtuvieron datos de precipitación y escurrentía de las estaciones de la EAAB. Adicionalmente, se obtuvieron datos globales de precipitación, evapotranspiración y temperatura de la plataforma ERA5 Land, distribuidos en cuadrículas latitud-longitud de 0.1 x 0.1° (≈ 11 x 11 km) y a una cobertura vertical de 2 m sobre la superficie del suelo.

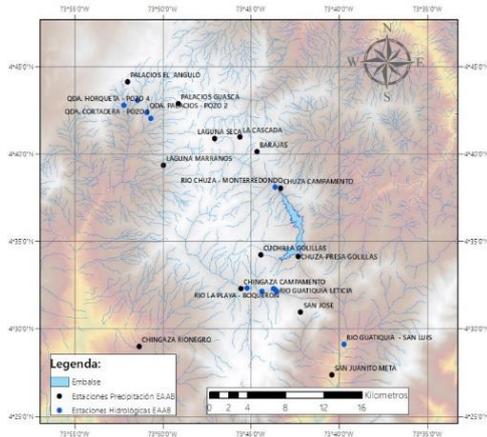


Figura 3. Red de estaciones hidrometeorológicas operadas por la EAAB en la región Chingaza

Con el fin de convertir los datos globales de ERA5 a la escala espacial del proyecto, se utilizaron técnicas de downscaling basadas en modelos de aprendizaje supervisado (Xu et al., 2020). Para este fin, los datos medidos en tierra sirven como objetivo de los datos globales, donde cada celda registra un parámetro hidrológico sobre la superficie del PNNC. Cada variable fue procesada en código Python para obtener 15707 archivos rasters de 30 x 30 m de resolución (1 raster diario, para todo el periodo de análisis).

Todos los parámetros hidrológicos obtenidos son analizados estadísticamente en código Python, de donde se obtienen los valores medios mensuales de toda la serie de tiempo para cada celda. De esta forma se categorizan por rangos y se obtienen rasters con la distribución espacial de cada variable sobre la superficie del PNNC (Estacionalidad). Estos rasters son correlacionados con datos mensuales de desplazamiento de la ZCIT, analizando la influencia de la franja de trayectoria de la ZCIT sobre los parámetros hidrológicos del PNNC. Por otra parte, a partir de todos los rasters diarios, se identificaron variaciones interanuales de cada parámetro, resaltando anomalías, eventos transitorios, Niño/Niña y tendencias.

Finalmente, se correlacionaron los datos de estacionalidad del PNNC obtenidos con los datos del sistema regulado por el embalse de Chuza. De igual manera, los datos de variaciones interanuales y anomalías. Lo anterior con el fin de identificar los efectos de la estacionalidad y variabilidad climática sobre el sistema Chingaza.

Resultados

Se valida que la ZCIT, es el principal activador de la dinámica estacional del sistema Chingaza, transportando humedad a la región en los meses de junio y julio. Los registros de precipitación medidos en tierra por las estaciones de la EAAB muestran un comportamiento de alta variabilidad espacial con valores anuales de 2301,07 mm (estación Chuza-Campamento) y de 3337,36 mm (estación Chuza – Presa Gollillas), siendo ratificado con los datos de

ERA5 aplicando downscaling. Donde se evidencia que los mayores índices de humedad se encuentran sobre la región del PNNC que colinda con el piedemonte llanero en la Orinoquía. Presentándose valores de precipitaciones hasta 50% más altos respecto a la zona donde se encuentra el sistema Chingaza (embalse de Chuza). En el análisis de tendencias y variabilidades de las condiciones hidrológicas y climáticas en la zona de estudio se evidenció un aumento en la temperatura media diaria de hasta 1°C, pero sin cambios significativos en los patrones de precipitación, evapotranspiración y escorrentía. En promedio, durante el periodo Abril–Septiembre la descarga desde el embalse es inferior a la oferta natural, periodo en el que se recarga el embalse, y surte en los periodos de sequía (enero – febrero).

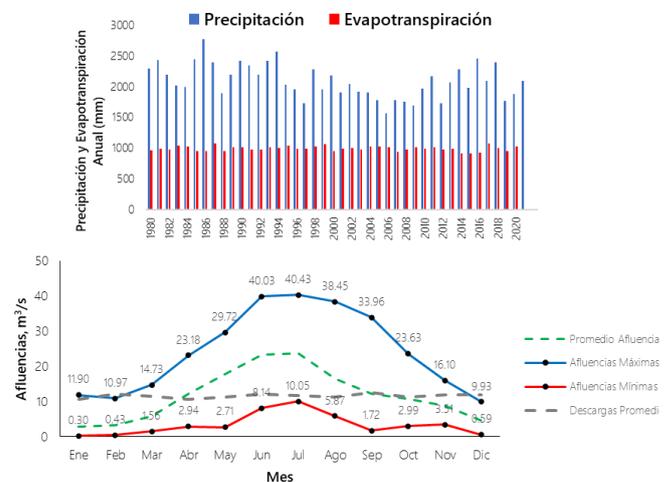


Figura 3. Afluencias al embalse de Chuza. Periodo 1980-2022

Agradecimientos

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB como parte del contrato de consultoría No. 2–02–26200–1571–2022.

Referencias

Cárdenas, M., Tobón, C., & Buytaert, W. (2017). Contribution of occult precipitation to the water balance of páramo ecosystems in the Colombian Andes. *Hydrological Process*.

Copernicus Climate Change Service. (2023). ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS).

Cresso, M, Clerici, N, & Jaramillo, F. (2020). Future Climate Change Renders Unsuitable Conditions for Paramo Ecosystems in Colombia. *Sustainability*, 12, 8373.

Gil, E., & Tobón, C. (n.d.). Hydrological modelling with TOPMODEL of Chingaza Paramo, Colombia.

Gordillo, R. (2019). Normatividad sobre el derecho al agua potable de los bogotanos a partir de la conservación de las fuentes hídricas del páramo de Chingaza. *DERECHO VERDE*, 23-36.

Payne, A.E, Demory, ME, & Leung, L.R. (2020). Responses and impacts of atmospheric rivers to climate change. *Nat Rev Earth Environ*, 143–157.

Xu, Ren, Chen, Nengcheng, Chen, Yumin, & Chen, Zeqiang. (2020). Downscaling and Projection of Multi-CMIP5 Precipitation Using Machine Learning Methods in the Upper Han River Basin. *Advances in Meteorology, Hindawi*, Volume 2020, Article ID 8680436, 17.