

Resumen

La variabilidad climática asociada a ENSO tiene un profundo impacto ambiental y socioeconómico en Colombia. Aunque el país dispone de más de 5000 m³ de agua por habitante, el fenómeno El Niño disminuye la precipitación y los caudales en los ríos, provocando al menos 12 sequías severas en las últimas cinco décadas. La fase fría del ENSO La Niña, genera el efecto opuesto con emergencias por inundaciones y deslizamientos de tierra que pueden afectar a más de 500.000 personas con una frecuencia de 2 a 4 años. El dimensionamiento de estructuras hidráulicas de protección frente a ambos extremos hidrológicos se apoya en la modelación estadística de Análisis de Frecuencias que permite pronosticar el comportamiento de una variable hidrológica más allá del período de registro conocido, basándose en la hipótesis de que los datos son estacionarios. Sin embargo, la variabilidad climática y los cambios inducidos por el ser humano en los recursos naturales pueden provocar tendencias y alteraciones en el comportamiento de las variables hidrológicas en el tiempo, dejando de lado el supuesto de estacionariedad. Este trabajo tiene como objetivo detectar y caracterizar la variabilidad de los eventos extremos del río Cauca por efecto de las variaciones climatológicas y antrópicas, a través de la modelación estadística no estacionaria, para mejorar nuestra comprensión sobre el riesgo de inundaciones y sequías en Colombia. El área de estudio es la cuenca alta del río Cauca conocida como Valle Alto, localizada en una región interandina de interés para la investigación por la alteración en el régimen hidrológico asociada a la operación de un embalse y a la influencia de ENSO. El caso posee datos hidrológicos distribuidos espacialmente para el período 1965-2015. Las variables de extremos anuales son los caudales diarios máximos, los caudales mensuales mínimos, la duración de las crecidas y de los estiajes de cuatro estaciones hidrométricas. Las variables explicativas son siete índices de variabilidad climática de baja frecuencia, la probabilidad de ocurrencia de las fases de ENSO y dos índices de embalse. Se evalúan seis funciones de distribución de probabilidad acumulada para series con asimetría positiva, en los modelos aditivos generalizados de localización, escala y forma (gamlss). La metodología considera: i) analizar la hipótesis de estacionariedad; ii) estudiar la correlación entre el volumen en el embalse y los caudales extremos; iii) proponer un índice para describir la influencia de la presa en el régimen hidrológico; iv) evaluar la teleconexión entre los índices climáticos y las variables hidrológicas; y v) comparar cinco modelos de frecuencias no estacionarios. Los resultados muestran que usar el volumen de almacenamiento de agua en el índice de embalse permite representar la alteración antrópica del régimen hidrológico. Además, los mejores modelos no estacionarios emplean simultáneamente covariables climáticas y antrópicas, muestran una adecuada representación de la variabilidad de las observaciones en el tiempo, una menor pérdida de información y los residuales se ajustan al criterio de normalidad. Los modelos de covariables indican que durante las fases de ENSO, los caudales estimados para una rara probabilidad de excedencia pueden ser diferentes a los obtenidos en el Análisis de Frecuencias estacionario. Se concluye que el riesgo de inundaciones en la estación hidrométrica Juanchito se debe al aumento en la precipitación y en el escurrimiento medio en áreas de la cuenca no reguladas por el embalse, y al efecto de La Niña. Por tal razón el reservorio no logra amortiguar los caudales de crecida. Sin embargo, los incrementos en los caudales mínimos anuales dependen significativamente de la presa, pero se prevé la

intensificación de la sequía hidrológica a valores no deseados, cuando ocurren simultáneamente, niveles bajos de almacenamiento en el embalse y eventos El Niño. De tal forma que las reglas actuales de operación del embalse no logran controlar el riesgo de inundaciones y sequías, esto constituye un desafío real para el manejo del agua en toda la cuenca del río Cauca. Los hallazgos, así como los métodos propuestos, son de interés para la gestión de los recursos hídricos y del riesgo hidrológico de un valle interandino que alberga a más de 4.6 millones personas.