

ANÁLISIS MULTICRITERIO DE ALTERNATIVAS TÉCNICAS DE GESTIÓN DE SEDIMENTOS EN EMBALSES MEDIANTE MODELACIÓN HIDROLÓGICA DISTRIBUIDA

Manuela Otálvaro, Sergio Posada, Juan Camilo Rojas, Fabián Ramírez y Blanca A. Botero

Universidad de Medellín, Colombia.

E-mail: manuotalvarobarco@gmail.com, slpm28@gmail.com, juan-krojas@hotmail.com, framirez@udem.edu.co, babotero@udem.edu.co

Introducción

La pérdida de volumen útil de los embalses para generación de energía se ha convertido en un problema actual y urgente a resolver. En la última década, se han multiplicado las publicaciones en este tema, como lo evidencian los trabajos de Kondolf, et al. (2014), Annandale, et al. (2016), Haregeweyn et al. (2012) y Wang & Kondolf, (2014). La pérdida de volumen útil ha dejado a algunos embalses fuera de operación, tal es el caso de los embalses españoles Doña Aldonza con una pérdida de capacidad del 97,6% en 22 años de operación y Pedro Marín con una pérdida de capacidad del 94,2% en 23 años de operación (Cobo, 2008). Dados estos antecedentes internacionales, para las empresas generadoras de energía hidroeléctrica, ha comenzado a ser parte importante de su inversión en investigación, el desarrollo de estudios sobre el aporte y el transporte de sedimentos a sus embalses.

Los enfoques económicos convencionales, como la técnica del análisis costo beneficio, son limitados para la implementación de sistemas de mitigación con el fin de reducir al mínimo los impactos de la sedimentación (Prato, 1999), es por eso que la incorporación de técnicas de análisis multicriterio en la gestión de sedimentos para empresas de generación de energía, se ha convertido en una herramienta útil que permite la orientación de la gestión del sedimento hacia la sostenibilidad empresarial (Haregeweyn et al. 2012). Las técnicas de análisis multicriterio más utilizadas han sido MAVT (Multiattribute value theory), PROMETHEE (Preference Ranking Organization Methods for Enrichment Evaluations), ELECTRE (Elimination and Choice Translating algorithm) y AHP (Analytic Hierarchy Proceses), entre otras (Yatsalo, et al. 2007; Kiker et al. 2005).

La central hidroeléctrica de San Carlos, es la central de mayor capacidad instalada de Colombia con 1.240 MW. Está localizada en el departamento de Antioquia, en jurisdicción del municipio de San Carlos. Esta central, es alimentada por las aguas captadas desde el embalse de Punchiná, el cual tiene una capacidad de almacenamiento de 72 Hm³ (ISAGEN, 2017). Por ser la central de mayor capacidad instalada del país, la evaluación del aporte de sedimentos al embalse y la vida útil del mismo constituye un tema prioritario. Es por esto que se decide abordar el estudio de la incorporación de técnicas de análisis multicriterio y modelación hidrológica para la evaluación de las alternativas técnicas de gestión de sedimentos para este caso de estudio.

En este estudio se plantea el uso de la modelación hidrológica distribuida, que incorpore el análisis del aporte de sedimentos, como una herramienta para la evaluación cuantitativa de las alternativas a nivel de cuenca, incorporadas dentro del análisis multicriterio. La modelación hidrológica de este tipo se ha utilizado para el análisis de aporte de sedimentos en los trabajos de Herrero et al, (2017) y Buendía et al, (2015).

Materiales y métodos

Con el fin de priorizar las alternativas de manejo de sedimentos para la prolongación del volumen útil del embalse en estudio, se

empleó la técnica de análisis multicriterio AHP (Saaty, 1980), la cual, asume que el tomador de la decisión realiza juicios tanto objetivos como subjetivos, proporcionando un mecanismo útil para verificar la consistencia de los criterios de evaluación y alternativa, reduciendo así el sesgo en la toma de decisiones (Jaiswal, et al., 2014). Dicha técnica ha sido empleada en numerosos estudios sobre la gestión de recursos naturales y evaluación de impactos ambientales (Kiker, et al, 2005).

El método AHP planteado, consiste en generar un ranking de preferencias para las alternativas de manejo de sedimentos en la cuenca aportante al embalse Punchiná. Inicialmente se asigna un peso para cada criterio de evaluación, acorde con las comparaciones realizadas por expertos de diferentes áreas del conocimiento. Los criterios de evaluación tenidos en cuenta fueron el costo de inversión y mantenimiento, la reducción en la tasa anual de sedimentos, la aceptación social y el beneficio ambiental. A continuación, se asigna por los expertos una puntuación a cada alternativa basándose en las comparaciones de las alternativas para cada criterio considerado. Las alternativas de manejo de sedimentos evaluadas fueron: cambio de cobertura del suelo, prácticas de conservación del suelo y presas de contención (check dams). Por último, combinando los pesos de los criterios y las puntuaciones de las alternativas, es posible obtener una puntuación global para cada alternativa, estableciendo así, un ranking de preferencia entre estas (Fontana Viñuales, 2015).

Para la estimación del criterio “control de aporte de sedimentos” se ha utilizado el modelo hidrológico distribuido TETIS, el cual, es un modelo conceptual distribuido que simula eventos hidrológicos y puede ser utilizado para la simulación continua del ciclo hidrológico en una cuenca. Fue desarrollado por el Grupo de Investigación en Hidráulica e Hidrología del Departamento de Ingeniería Hidráulica de la Universidad Politécnica de Valencia, España. El modelo ha sido probado con resultados satisfactorios en diferentes escenarios climáticos en cuencas con un amplio rango de áreas y para objetivos diversos (Francés, et al, 2007; Guichard, et al, 2009; Bussi, et al, 2016). La calibración del submodelo de sedimentos se realizó utilizando los aportes de sedimentos al embalse de Punchiná calculados en diferentes estudios, a partir de las batimetrías realizadas en los últimos diez años.

Los mapas de parámetros para el modelo TETIS, se obtuvieron de información base de la topografía, los suelos, la geología y la cobertura vegetal de la cuenca. En la figura 1, se presenta la cuenca del río San Carlos, principal afluente del embalse.

Resultados

En la figura 2, se aprecia el resultado de la calibración del caudal líquido en el TETIS. Los caudales sólidos fueron calibrados de acuerdo con la tasa anual de aporte de sedimentos, reportada en estudios propios de la empresa, a partir de la comparación de diferentes batimetrías a lo largo del tiempo.

Las alternativas de control de sedimentos a nivel de cuenca cambio de cobertura y prácticas de conservación del suelo, se evaluaron mediante la modelación con el TETIS a través de la

modificación de los mapas de cobertura y de las prácticas de cultivo, las cuales pueden incorporarse en forma de parámetros en el modelo TETIS.

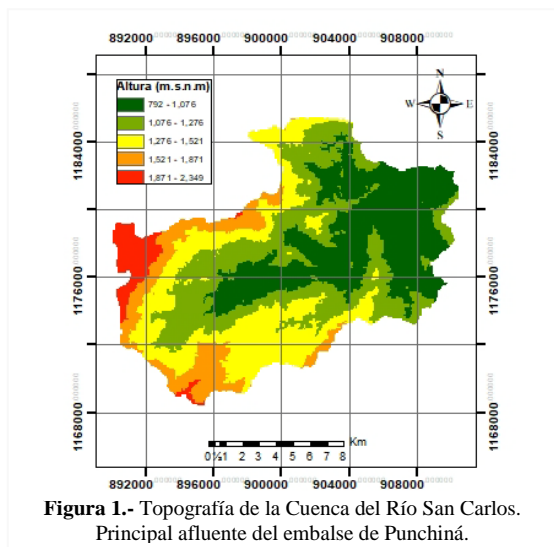


Figura 1.- Topografía de la Cuenca del Río San Carlos. Principal afluente del embalse de Puchiná.

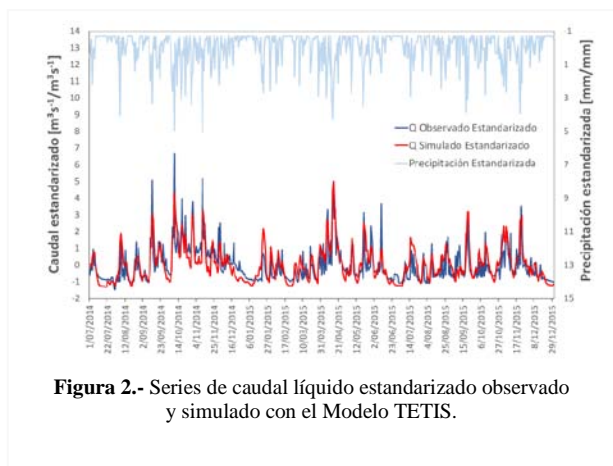


Figura 2.- Series de caudal líquido estandarizado observado y simulado con el Modelo TETIS.

El resultado de tasa de sedimentos del modelo TETIS, empleado como criterio de evaluación de las alternativas para la gestión de sedimentos en embalses, facilita la toma de decisiones, puesto que, al proporcionar valores cuantitativos, facilita a los expertos la puntuación de cada alternativa evaluada.

Conclusiones

La sedimentación en embalses es un problema apremiante en el desarrollo y la gestión de la generación de energía hidroeléctrica, el cual, exige un enfoque integrado basado en el desarrollo sostenible. A diferencia de métodos tradicionales de soporte a la decisión como el análisis costo-beneficio, el análisis multicriterio permite realizar una valoración cuantitativa y cualitativa de las alternativas de gestión de sedimentos, mediante criterios de evaluación tanto económicos como ambientales, sociales y técnicos.

La incorporación de un modelo distribuido como herramienta para la evaluación de alternativas técnicas dentro de un modelo de toma de decisiones, permite obtener valores cuantitativos que reflejan la efectividad o no de las medidas tomadas, brindando mayor información a los expertos que participan dentro del proceso de toma de decisión.

Referencias

- Annandale, G. W., Morris, G. L., & Karki, P. (2016). *Extending the Life of Reservoirs. Sustainable Sediment Management for Dams and Run-of-River Hydropower*. Washington, DC: The World Bank Group.
- Buendía, C., Bussi, G., Tuset, J., Vericat, D., Sabater, S., Palau, A., & Batalla, R. J. (2015). Effects of afforestation on runoff and sediment load in an upland Mediterranean catchment. *Science of the Total Environment*, 144-157.
- Cobo, R. (2008). Los sedimentos de los embalses españoles. *Ingeniería del agua*, 231-241.
- Fontana Viñuales, M. (2015). *Métodos de decisión multicriterio AHP y PROMETHEE aplicados a la elección de un dispositivo móvil*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Haregeweyn, N., Melesse, B., Tsunekawa, A., Tsubo, M., Meshesha, D., & Balana, B. B. (2012). Reservoir sedimentation and its mitigating strategies: a case study of Angereb reservoir (NW Ethiopia). *Journal of Soils and Sediments*, 291-305.
- Herrero, A., Buendía, C., Bussi, G., Sabater, S., Vericat, D., Palau, A., & Batalla, R. J. (2017). Modeling the sedimentary response of a large Pyrenean basin to global change. *Journal of Soils and Sediments*, 2677-2690.
- Jaiswal, R. K., Thomas, T., Galkate, R. V., Ghosh, N. C., & Singh, S. (2014). Watershed Prioritization Using Saaty's AHP Based Decision Support for Soil Conservation Measures. *Water Resour Manage*, 475-494.
- Kiker, G. A., Bridges, T. S., Varghese, A., Seager, T. P., & Linkov, I. (2005). Application of multicriteria decision analysis in environmental decision making. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 95-108.
- Kondolf, G., Gao, Y., Annandale, G., Morris, G., Jiang, E., Zhang, J., . . . Yang, C. (2014). Sustainable sediment management in reservoirs and regulated rivers: Experiences from five continents. *Earth'sFuture*, 256-280.
- Prato, T. (1999). Multiple attribute decision analysis for ecosystem management. *Ecological Economics*, 207-222.
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process (AHP)*. New York: McGraw-Hill.
- Wang, H. W., & Kondolf, G. M. (2014). Upstream sediment-control dams: Five decades of experience in the rapidly eroding dahan river basin, Taiwan. *Journal of the American Water Resources Association*, 735-747.
- Yatsalo, B., Kiker, G., Kim, S., Bridges, T., Seager, T., Gardner, K., . . . Linkov, I. (2007). Application of multicriteria decision analysis tools to two contaminated sediment case studies. *Integrated environmental assessment and management*, 223-233.