

Sedimentación reciente e histórica en embalses de Colombia

Recent and historical sedimentation in reservoirs of Colombia

(Recepción 26/01/2021;

Aceptación 19/04/2021)

Ríos D. ¹¹Facultad de Ingeniería

Universidad Cooperativa de Colombia Seccional Medellín

Teléfono: 3168715698

Email: juan.riosar@campusucc.edu.co

Resumen. En este trabajo de investigación se analizan los datos hidrosedimentológicos disponibles en 10 embalses tropicales con el fin de evaluar la intensidad de los procesos de sedimentación y la efectividad de las estrategias de manejo implementadas. Todos los embalses analizados se encuentran en latitudes tropicales donde la precipitación supera los 1500 mm / año. Los principales hallazgos están relacionados a las estrategias de gestión, de las cuales se recomienda el uso de reforestación de la cuenca y no aperturas de compuertas de fondo dado que las concentraciones de sedimento en suspensión resultantes son excesivas.

Palabras clave. Sedimentación de embalses; latitudes tropicales; modelos de erosión; remoción de sedimentos.

Abstract. In this research work the hydrosedimentological data available in 10 tropical reservoirs are analyzed in order to evaluate the intensity of the sedimentation processes and the effectiveness of the management strategies implemented. All reservoirs analyzed are in tropical latitudes where the rainfall exceeds 1500 mm / year. The main findings are related to the management strategies, of which the use of reforestation of the basin is recommended and not opening of bottom gates, given that the resulting suspended sediment concentrations are excessive.

Keywords. Reservoir sedimentation; tropical latitudes; erosion models; sediment flushing.

1. Introducción

Históricamente, las civilizaciones han buscado aprovechar el recurso hídrico de los ríos para abastecimiento, navegación o uso hidroeléctrico, por ello los procesos de erosión, transporte y sedimentación han sido investigados por ingenieros y geólogos en diversos ambientes y geografías durante muchos años (Yang, 2006). Particularmente, en latitudes tropicales los ríos transportan grandes cantidades de sedimento debido a la erosión laminar de las laderas de la cuenca hidrográfica y la erosión de la red de drenaje, por lo que los embalses pierden volumen útil más rápido que en otras latitudes. Por ejemplo, Batalla (2003) reporta una tasa promedio anual de pérdida de capacidad de 0.2 % para los embalses del río Ebro y Palau (2002) reporta para los embalses españoles en general una tasa de alrededor del 0.5 %, mientras que en áreas tropicales este valor es superior al 1.0 % anual (Tab. 1).

Por otro lado, las acciones humanas están aumentando las tasas de erosión en las cuencas de los Andes Colombianos. por ejemplo, Restrepo et al. (2019) reportan que la deforestación es una de las causas mientras que el Gobierno de Colombia y UNODC (2016) indican que la proliferación de la minería informal está generando impactos negativos en ecosistemas estratégicos para el país como humedales y complejos pantanosos. En el presente trabajo se analizan las tasas de sedimentación en una serie de embalses y la efectividad de las estrategias de gestión implementadas para disminuir la intensidad del proceso de colmatación.

2. Conjunto de datos y métodos

2.1. Embalses seleccionados

Se seleccionaron 10 embalses ubicados en Colombia (Tab. 1). Dichos reservorios presentan un amplio rango de volúmenes y condiciones hidrológicas, lo cual permite evidenciar la variabilidad de los procesos en los diferentes ambientes. Los datos fueron obtenidos del reporte de EPM (2004)* y de los documentos públicos en línea de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA)**.

Tabla 1. Embalses tropicales seleccionados de Colombia.

Embalse	Área [km ²]	P media [mm /año]	Vol. Total [hm ³]	Vol. Sed. [hm ³]	Perd. anual [%]	Cob. veg. [%]
Piedras Blancas*	28.5	1,800	1.07	0.29	1.02	55.00
La García*	31.9	1,650	2.00	0.57	1.05	96.13
Anchicayá**	62.2	> 6,000	5.10	4.60	13.97	84.70
Calderas**	63.1	4,820	0.42	0.09	11.20	14.47
La Fe*	183.0	2,010	14.04	0.85	0.91	73.00
San Lorenzo*	428.0	2,740	185.50	6.10	0.47	75.76
Troneras*	575.0	3,000	33.36	8.46	1.41	77.11
Punchiná*	600.0	4,010	62.00	8.00	1.29	80.70
Riogrande II	1,036.7	1,810	241.82	5.21	0.49	76.98
Porce II	3,020.0	1,960	231.16	32.81	1.46	77.49

Es necesario indicar que los volúmenes de sedimento acumulados en los embalses fueron estimados con los registros batimétricos. Además, con el fin de aumentar

el conjunto de datos se incluyeron los registros de sedimentación de embalses en Costa Rica y República Dominicana (Fig. 1) publicados por Jiménez et al. (2005).

2.2. Batimetrías y perfiles

En algunos embalses se dispone de batimetrías periódicas, las cuales permiten analizar el proceso de sedimentación tanto en el tiempo como en el espacio. A continuación se analizan estos datos de acuerdo a las metodología sugerida por Morris y Fan (1998).

3. Resultados y discusión

Se analizó la existencia de alguna relación entre el área de cuenca tributaria, el porcentaje de cobertura vegetal y el porcentaje de pérdida anual de capacidad (Fig. 1), no se obtuvo una relación directa con respecto al área, sin embargo, si se observa una relación decreciente entre el porcentaje de cobertura vegetal y el porcentaje de pérdida anual de capacidad (Tab. 1 y Fig. 2), además, es evidente que los embalses Colombianos pierden más capacidad anualmente que el promedio reportado por Schleiss et al. (2016) para Suramérica.

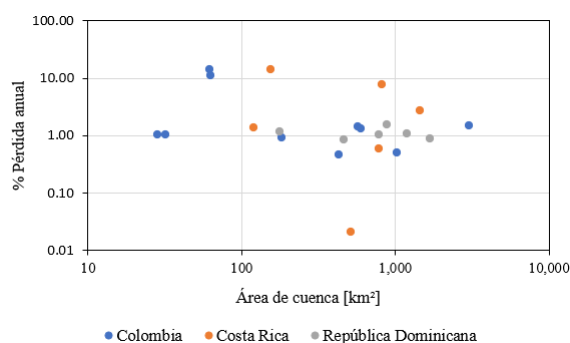


Figura 1. Scatter plots % pérdida anual vs área de cuenca.

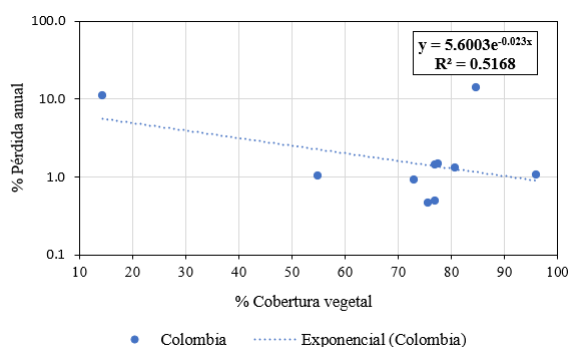


Figura 2. Scatter plots % pérdida anual vs cobertura vegetal.

Por otro lado, se evalúa la información topo batimétrica disponible en los embalses con procesos de sedimentación más intensos actualmente como lo son el de Calderas y el de Porce II (Fig. 3). La cuenca del río Calderas esta compuesta principalmente por rocas ígneas y los suelos residuales producto de la meteorización de estas, además de, precipitaciones por encima de los 4000 mm/año mientras que la cuenca del río Porce drena zonas tanto de rocas ígneas como metamórficas y presenta precipitaciones promedio anuales de 1960 mm.



Figura 3. Aspecto embalses Calderas y Porce II. Fuente: Aristizábal y Múnera (2015) y EPM (2018).

Del análisis batimétrico comparativo de los años 2009 y 2010 en el embalse de Calderas se observa que las zonas de máxima sedimentación se localizan hacia la cola del embalse y las zonas de máxima degradación justo donde existía el canal original del río (Fig. 4).

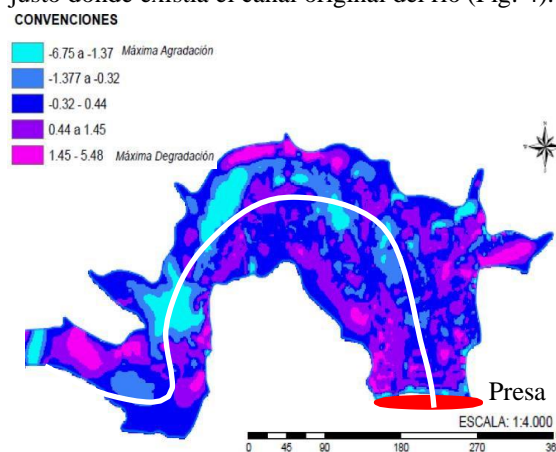


Figura 4. Mapa batimétrico comparativo años 2009-2010 embalse Calderas. Fuente: Aristizábal y Múnera (2015).

Por su parte, el embalse de Porce II presenta un proceso de sedimentación avanzado donde se observa un delta en aumento evidente en el mapa batimétrico (Fig. 5) y en los perfiles transversales (Fig. 6). Una de las causas es la intervención humana puesto que a lo largo de la cuenca se asientan más de 3.5 millones de habitantes.

Del portafolio de soluciones disponibles para reducir la sedimentación de los embalses en Colombia se han realizado algunos proyectos piloto de aperturas de descargas de fondo (flushing) en los proyectos Calderas y Anchicayá, sin embargo, estos han sido suspendidos por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA debido a las grandes concentraciones de sedimento en suspensión que son entregados al tramo aguas abajo de la presa.

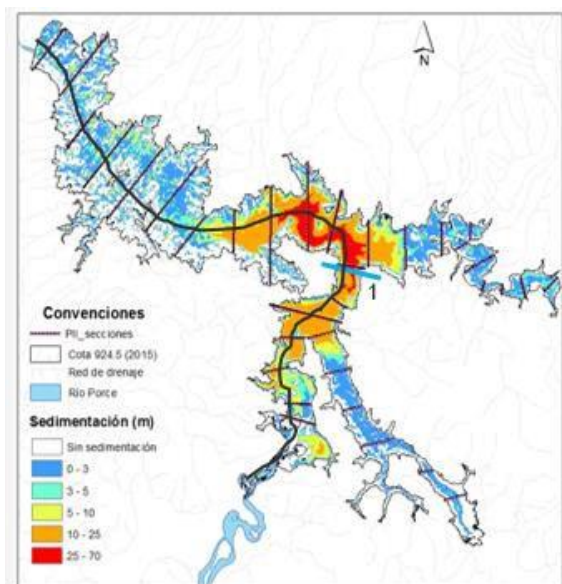


Figura 5. Mapa batimétrico embalse Porce II. Fuente: EPM (2018).

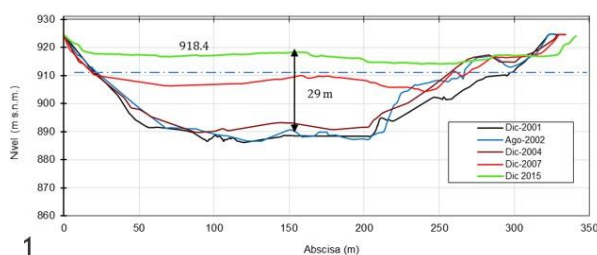


Figura 6. Sección transversal en embalse Porce II. Fuente: EPM (2018).

Por ejemplo, Aristizábal y Múnera (2015) reportan que para la apertura en Calderas la concentración de sedimento en suspensión superó los 10,000 mg/l durante el primer día de flushing mientras que para el proyecto Porce III donde se operó una descarga intermedia, EPM (2018) reporta que las concentraciones no superaron los 16 mg/l. Es importante mencionar que los proyectos Porce II y Porce III operan en cadena y la gran mayoría de los sedimentos se alojan en el embalse del proyecto Porce II. Además, es posible encontrar en la literatura algunos indicadores de la severidad de las concentraciones de sedimento en suspensión en los peces como los trabajos de Newcombe y Macdonald (1991) y Newcombe y Jensen (1996), sin embargo, no se encuentran normas específicas acerca de las concentraciones máximas admisibles, lo que amerita un estudio detallado según la fauna íctica de cada nación.

4. Conclusiones

Es posible concluir que los embalses en latitudes tropicales presentan tasas anuales más altas de pérdida de capacidad que los ubicados en latitudes extratropicales como lo evidencian los datos aquí analizados, además, las estrategias de gestión presentan un gran desafío tanto técnico como económico dado que, aunque la apertura de descargas de fondo es económica, genera elevadas concentraciones de sólidos suspendidos que podrían

no ser aptas para la fauna íctica abundante de las zonas tropicales. Este panorama muestra la necesidad de evaluaciones técnicas como las realizadas por Espá et al. (2019).

Por otro lado, las costosas operaciones de dragado como las que se realizan en el proyecto Anchicayá sin interrupción desde 1962 sientan una barrera a la gestión sostenible de los embalses tropicales, por tanto, las estrategias de gestión deberían direccionarse al cuidado de la cuenca tributaria y al uso de presas de retención de sedimentos o Check Dams como sugieren Morris y Fan (1998). Estrategias que requieren una buena línea base y monitoreo continuo de los impactos sobre la fauna como sugieren Itsukushima et al. (2019).

Referencias

- Aristizábal, E., & Múnera, J. C. (2015). Estudio para la definición de un protocolo de remoción de sedimentos en la central Calderas.
- Batalla, R. (2003). Sediment deficit in rivers caused by dams and instream gravel mining. A review with examples from NE Spain. *Cuaternario y Geomorfología*, 17, 79–91.
- EPM. (2004). Estimativo del transporte de sedimentos. *Revista Empresas Públicas de Medellín*, 15(2).
- EPM. (2018). Avances en gestión de Sedimentos en el embalse Porce II.
- Espa, P., Batalla, R., Brignoli, M., Crosa, G., Gentili, G., & Quadroni, S. (2019). Tackling reservoir siltation by controlled sediment flushing: Impact on downstream fauna and related management issues. *PLoS ONE*, 14(6), 26.
- Gobierno de Colombia, & UNODC. (2016). "Explotación de oro de aluvión. Evidencias a partir de percepción remota." Retrieved from https://www.unodc.org/documents/colombia/2016/junio/Explotacion_de_Oro_de_Alucion.pdf
- Itsukushima, R., Ohtsuki, K., Sato, T., Kano, Y., Takata, H., & Yoshikawa, H. (2019). Effects of Sediment Released from a Check Dam on Sediment Deposits and Fish and Macroinvertebrate Communities in a Small Stream. *Water*. <https://doi.org/10.3390/w11040716>
- Jiménez, O., Farias, H. D., & Rodríguez, C. (2005). Procesos de sedimentación en embalses en ambientes tropicales. Estudios de casos en costa rica y república dominicana. *Ingeniería Del Agua*, 12(3).
- Morris, G. L., & Fan, J. (1998). *Reservoir Sedimentation Handbook*. McGraw-Hill Book Co.
- Newcombe, C., & Jensen, J. (1996). Channel Suspended Sediment and Fisheries: A Synthesis for Quantitative Assessment of Risk and Impact. *North American Journal of Fisheries Management*, 16(4), 693–727. [https://doi.org/https://doi.org/10.1577/1548-8675\(1996\)016<0693:CSSAFA>2.3.CO;2](https://doi.org/https://doi.org/10.1577/1548-8675(1996)016<0693:CSSAFA>2.3.CO;2)
- Newcombe, C. P., & Macdonald, D. D. (1991). Effects

- of Suspended Sediments on Aquatic Ecosystems. *North American Journal of Fisheries Management*, 11(1), 72–82. [https://doi.org/https://doi.org/10.1577/1548-8675\(1991\)011<0072:EOSSOA>2.3.CO;2](https://doi.org/https://doi.org/10.1577/1548-8675(1991)011<0072:EOSSOA>2.3.CO;2)
- Palau, A. (2002). La sedimentación en embalses. Medidas preventivas y correctoras. In *I Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente* (p. 10). Madrid.
- Restrepo, J. D., Kettner, A. J., & Syvitski, J. P. M. (2019). Recent deforestation causes rapid increase in river sediment load in the Colombian Andes. *Anthropocene*, 10, 13–28. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.ancene.2015.09.001>
- Schleiss, A. J., Franca, M. J., Juez, C., & De Cesare, G. (2016). Reservoir sedimentation. *Journal of Hydraulic Research*, 54(6), 595–614. <https://doi.org/10.1080/00221686.2016.1225320>
- Yang, C. T. (2006). Introduction. In C. T. Yang (Ed.), *Erosion and sedimentation manual* (p. 6). US Department Interior, Bureau of Reclamation, Technical Service Center, Denver CO.