

GESTIÓN DE SEDIMENTOS EN EL VALLE CENTRAL DE TARIJA SEDIMENT MANAGEMENT IN THE CENTRAL VALLEY OF TARIJA

Moisés Perales, Mario Gamarra

Centro de Investigación de Agua (CIAGUA)

Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)

moisesperales@uajms.edu.bo

(Recibido el 20 de noviembre 2023, aceptado para publicación el 8 de enero 2024)

RESUMEN

Los embalses del Valle Central de Tarija y su sedimentación constante ponen en riesgo el suministro de agua y consiguientemente el desarrollo de la economía departamental. El objetivo del análisis realizado es plantear un nuevo paradigma conceptual de uso del agua embalsada a largo plazo, y la necesidad de analizar e implementar la gestión de los sedimentos en el Valle Central de Tarija. Se propone una metodología que permite caracterizar la dinámica sedimentaria de embalses con escasa información y que están ubicados en zona de montaña, considerando la inexistencia de información hidrométrica y sedimentológica. La metodología consiste en la aplicación de ecuaciones empíricas que permiten determinar la capacidad de retención del embalse, la densidad aparente de los sedimentos, la degradación de la cuenca, verificar la vida de diseño y estimar la vida útil del embalse para finalmente categorizar el problema generado por los sedimentos mediante un indicador de colmatación. Se emplearon drones para la generación de la topografía de las riberas y levantamiento batimétrico con el objetivo de actualizar la superficie topo batimétrica. La metodología disminuye los tiempos de trabajo de campo y simplifica la logística requerida, generando productos de buena precisión y mayor detalle, y de bajo costo operacional para el monitoreo de la sedimentación. A través de la evaluación de tales mediciones en combinación con otros datos correlacionados se ha podido formular una ecuación de producción de sedimentos regional, destacando la necesidad de replicar la experiencia en otras cuencas de Bolivia.

Palabras Clave: Gestión de los Sedimentos, Embalse, Vida Útil, Sostenibilidad.

ABSTRACT

The reservoirs of the Central Valley of Tarija and their constant sedimentation pose a risk to the water supply and, consequently, the development of the regional economy. The goal of the analysis is to propose a new conceptual paradigm for the long-term use of stored water, as well as the need to analyze and implement sediment management in the Central Valley of Tarija. A methodology is proposed that allows for the characterization of the sedimentary dynamics of reservoirs with limited information and located in mountainous areas, considering the lack of hydrometric and sedimentological data. This methodology involves the application of empirical equations to determine the retention capacity of the reservoir, the apparent density of the sediments, the degradation of the watershed, verify the design life, and estimate the useful life of the reservoir, ultimately categorizing the sediment-related problem using a siltation indicator. Additionally, drones were employed to generate the topography of the banks and perform bathymetric surveys with the goal of updating the topo bathymetric surface. This methodology reduces fieldwork time and simplifies the required logistics, generating products with good precision and greater detail, at a low operational cost for sedimentation monitoring. Through the evaluation of these measurements, combined with other correlated data, a regional sediment production equation has been formulated, highlighting the need to replicate this experience in other watersheds in Bolivia.

Keywords: Sediment Management, Reservoir, Life cycle, Sustainability.

1. INTRODUCCIÓN

En Bolivia se realizaron algunos avances en el estudio de los sedimentos, pero más enfocados en la evaluación de los sedimentos en suspensión en ríos amazónicos [18] en el río Beni, [10] en la Chiquitanía, y [14] en el río Suches, frontera Perú – Bolivia.

A nivel regional se elaboraron también algunos estudios apoyados en el uso de sensores remotos en la región Andina en Cochabamba, [15] con un enfoque de manejo integral de cuencas. Con este mismo enfoque se elaboraron distintos estudios en cuencas priorizadas como por ejemplo: la cuenca del río Arque [4], en la subcuenca Orinoca en Oruro [17] en la cuenca del río Pilcomayo ([16]; [9]; [8]), en la cuenca Laka-Laka [11].

Se tiene también algunos estudios referidos a los sedimentos y su influencia en los embalses, como por ejemplo el embalse Tapera, en Aiquile-Cochabamba [19], embalse San Jacinto en Tarija [5], y en los embalses Laka Laka en Cochabamba y Yotalilla en Chuquisaca [6], por mencionar algunos.

La problemática de los sedimentos en el Valle Central de Tarija fue identificada desde los primeros estudios de balance hídrico que se realizaron en esta zona. Frías Cornejo (1989) realiza la caracterización fisiográfica del Valle Central de Tarija y la identifica como una superficie variada y muy accidentada, que presenta procesos de erosión típica de áreas secas, con sedimentos finos y conglomerados, que forman pilares irregulares de sedimento y topografía quebrada e inestable. Los sedimentos cuaternarios cubren casi toda la cuenca y son altamente erosionables.

Las mediciones de caudales sólidos ejecutadas en el Valle Central de Tarija son escasas, solo se tiene de periodos cortos y discontinuos en los ríos Canasmoro del 1979-1983, Guadalquivir (Obrajes) en el periodo 1979-1982 y San Jacinto (1977-1985), medidos por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

Se dispone únicamente de cinco batimetrías ejecutadas en el embalse San Jacinto, además se cuenta con otras mediciones puntuales en el marco de los diferentes proyectos que se ejecutaron, pero es necesario sistematizar esta información, ajustarla y analizarla.

Estos antecedentes nos permiten identificar la necesidad de contar con información resultado de mediciones de sedimentos en el Valle Central de Tarija y analizar los cambios y efectos de los sedimentos en las obras de almacenamiento que son indispensables en el desarrollo productivo del Departamento.

2. METODOLOGÍA

La filosofía general de diseño y desarrollo supone que los embalses son recursos agotables que se llenarán de sedimentos con el tiempo, perdiendo finalmente todo el espacio de almacenamiento del embalse. La experiencia de algunos embalses ha demostrado que pueden ser sostenibles y que el espacio de almacenamiento de los embalses puede mantenerse completamente o reducirse significativamente su ritmo de pérdida [3].

La filosofía utilizada en muchos de los países en desarrollo se basa en un enfoque de la presa con una determinada “vida útil”, en la que en el que estas estructuras se diseñan para 50 o 100 años sin tener en cuenta las condiciones posteriores a ese periodo. El enfoque de la vida útil fomenta la consideración de los embalses como recursos agotables que no pueden desarrollarse de forma sostenible, ver Figura 1.

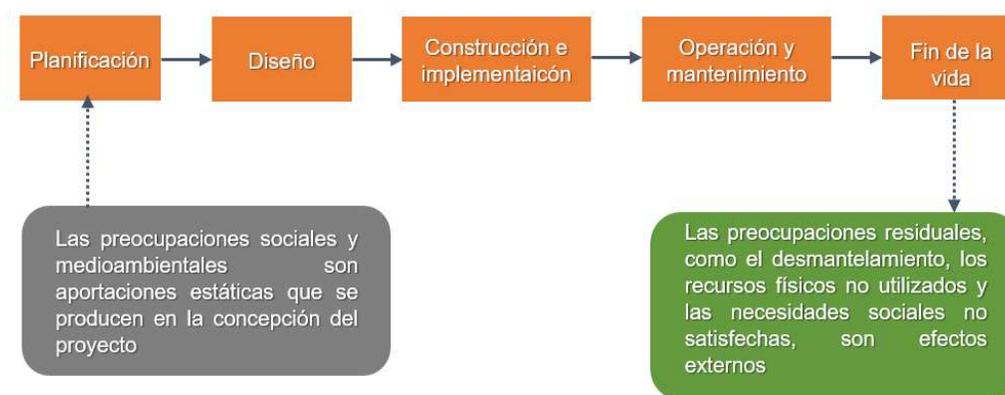


Figura 1: Enfoque de “vida útil” para el diseño de presas.

Fuente: [3].

La búsqueda del desarrollo sostenible de las presas y sus embalses requiere una nueva forma de pensar. El reto consiste en adoptar un enfoque de desarrollo de proyectos que dé lugar a un uso continuo y perpetuo de las presas y los embalses. Los conceptos de sostenibilidad a largo plazo, y manejo de sedimentos hasta ahora han sido raramente incorporados en los proyectos de embalses.

El deseado cambio de paradigma que facilitaría el desarrollo sostenible de presas y embalses puede lograrse adoptando un enfoque de gestión del ciclo de vida [13].

La gestión de los sedimentos de los embalses y su renovación permiten seguir utilizando la presa y su embalse, idealmente a perpetuidad. En principio, este enfoque no incluye el elemento de eliminación. Una de las principales diferencias entre el enfoque de gestión del ciclo de vida y el enfoque de la vida de diseño es que se centra en la prevención de la pérdida de almacenamiento causada por la sedimentación del embalse. Elimina la amenaza de perder la capacidad del embalse para almacenar agua a muy largo plazo y promueve el uso continuado de la presa y el embalse, proporcionando utilidad a las generaciones actuales y futuras.

El paradigma de la gestión sostenible puede aplicarse tanto a los nuevos proyectos como a los ya existentes, como se ilustra conceptualmente en la Figura 2. Se trata de un concepto lineal que prolonga la vida de los embalses en el futuro mediante la aplicación de intervenciones específicas de sostenibilidad. Estas intervenciones suelen aplicarse como una secuencia de acciones emprendidas a lo largo del tiempo a medida que avanza la sedimentación. El uso sostenible no significa que los proyectos seguirán proporcionando los mismos beneficios que cuando eran nuevos; la pérdida permanente de una capacidad de almacenamiento significativa será a menudo inevitable y la recuperación del almacenamiento demasiado costosa para llevarla a cabo a una escala significativa.

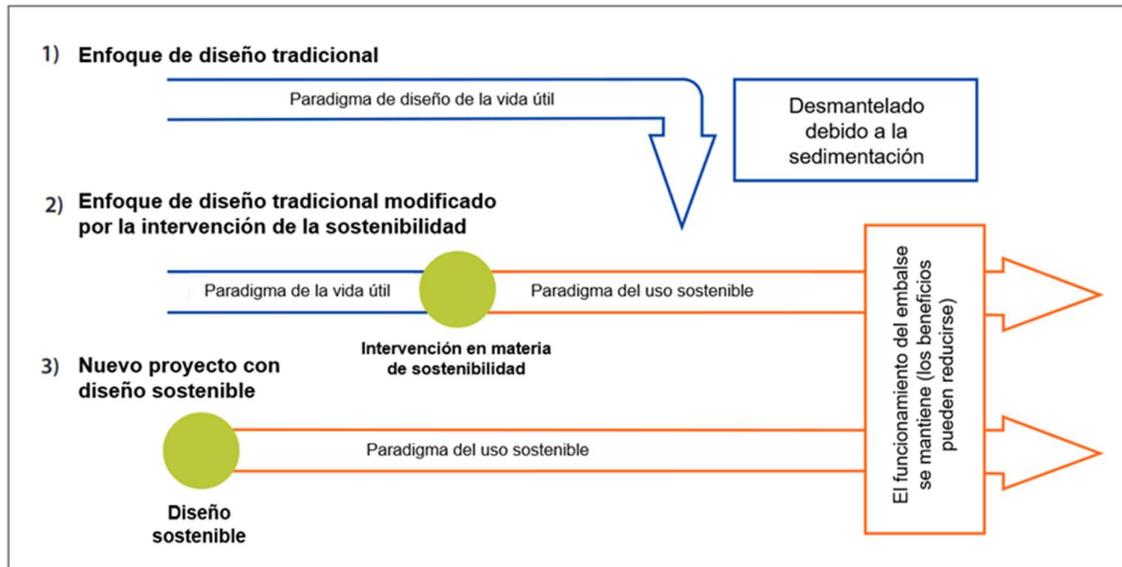


Figura 2: Contraste de los paradigmas de la vida de diseño y del uso sostenible.

Fuente: [1].

Los conceptos de sostenibilidad aplicados a los embalses son discutidos por Morris y Fan [12]; Palmieri [13]; Annandale [1]; y otros. Numerosos factores influyen en la viabilidad de la aplicación de una estrategia de uso sostenible y en la selección de técnicas específicas. En la Figura 3 se muestran los principales factores que hay que tener en cuenta. Los factores ambientales, económicos y sociales son tan importantes como los factores de ingeniería a la hora de definir alternativas viables de gestión de sedimentos.



Figura 3: Principales factores que influyen en las estrategias de uso sostenible.

Fuente: Modificado de [2].

A pesar, de que el impacto de los sedimentos en las obras de almacenamiento es un fenómeno de mucho interés social, medioambiental y económico, en Bolivia y particularmente en el departamento de Tarija, se tiene poca información

sistematizada y en menor medida análisis regionales que caracterizan este fenómeno, es por esto que se planteó para el presente trabajo desarrollar una investigación aplicada, ya que busca resolver un problema en un contexto determinado, es decir, busca la aplicación o utilización de conocimientos, con el propósito de implementarlos de forma práctica para satisfacer una necesidad concreta, proporcionando una solución a problemas del sector social o productivo.

Los materiales y el equipamiento que se utilizó para la ejecución de los levantamientos topobatemétricos de los embalses fue dispuesto por el Centro de Investigación del Agua de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

El diseño de la investigación es determinante respecto a las relaciones entre el alcance del estudio que se plantea y los métodos y técnicas que se utilizarán para la recolección y análisis de datos.

El proceso de planificación o método aplicado fue de carácter teórico-metodológico, es decir, los procedimientos destinados a la recolección, procesamiento y análisis de datos se basaron en el método inductivo, ya que se basa en la observación de hechos y fenómenos siendo la dirección del razonamiento de lo particular a lo general, es decir, partiremos de casos particulares, que en nuestro caso será el análisis de un grupo de embalses que permitirá llegar a una proposición general con base al comportamiento de las variables que se midieron.

Para la selección de los embalses que serán parte del presente trabajo se tomaron dos criterios:

- (1) Que la capacidad de almacenamiento sea mayor de un millón de metros cúbicos.
- (2) Que el embalse tenga más de 5 años de operación.

Se tiene 5 embalses en el Valle Central de Tarija, Figura 4, que cumplen con estos dos criterios: San Jacinto, Calderas, El Molino, La Hondura y Huacata.

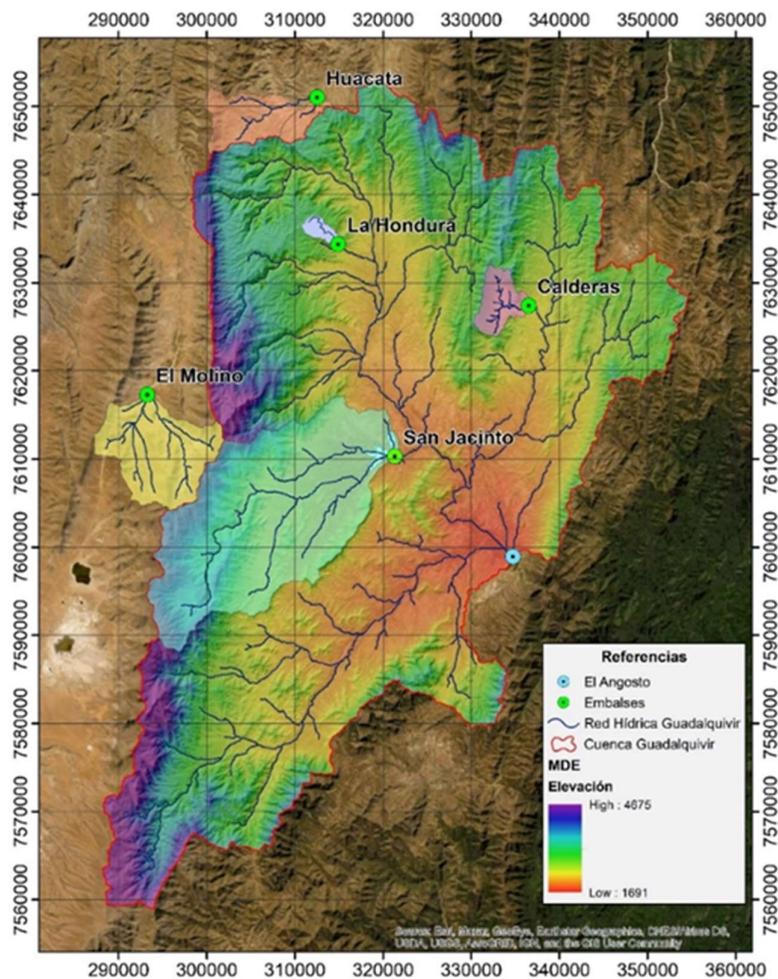


Figura 4: Ubicación de los embalses estudiados y sus cuencas de aporte.

Fuente: Elaboración Propia.

Para el desarrollo del presente trabajo se dividió el estudio en 3 etapas:

Etapa 1: Recopilación de información relevante y actualización de las superficies topo batimétricas

Etapa 2: Identificación, categorización y priorización de los principales problemas generados por los sedimentos en los embalses

Fase 1: comprensión del sistema y el análisis del problema y Fase 2: evaluación detallada del proceso

Etapa 3: Propuesta de gestión sostenible para embalses priorizados

3. RESULTADOS

Se detallan todos los resultados obtenidos de la actualización de las superficies topo batimétricas de los embalses del Valle Central de Tarija.

TABLA 1 – UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS CUENCAS DE APORTE A LOS EMBALSES

N°	EMBALSE	TIPO	UBICACIÓN		ÁREA	PERÍMETRO	ELEVACIÓN	PENDIENTE	ÁREA	
		DE PRESA	Zona	UTM (E)	UTM (S)	CUENCA (km2)	CUENCA (km)	MEDIA msnm	CUENCA %	EMBALSE (ha)
1	LA HONDURA	Tierra	20	314,080	7,619,165	7.93	12.9	2470.47	30.60	10.45
2	EL MOLINO	H° HCR	20	293,241	7,617,167	118.2	65.7	3950	29.60	33.04
3	CALDERAS	CFRD	20	336,437	7,627,345	30.45	27.73	2546.5	27.10	50.48
4	HUACATA	CFRD	20	312,551	7,650,980	13.2	26.11	2840	15.19	154.49
5	SAN JACINTO	H° H° Arco	20	321,261	7,610,235	435.5	140.5	2568	33.23	547.26

Fuente: Elaboración propia.

TABLA 2 – AÑOS DE OPERACIÓN DE LOS EMBALSES ESTUDIADOS

N°	EMBALSE	AÑO	AÑO	AÑOS
		INICIO OPERACIÓN	BATIMETRÍA	DE OPERACIÓN
1	LA HONDURA	2009	2019	10
2	EL MOLINO	2015	2019	5
3	CALDERAS	2012	2019	7
4	HUACATA	2012	2020	8
5	SAN JACINTO	2016	2019	3 (*)

Fuente: Elaboración propia.

(*) comparación con esta última medición.

Se tiene disminuciones de la capacidad de almacenamiento anual en porcentaje en el rango de 0.04% como mínimo para el embalse Huacata y de 0.89% como máxima para el embalse San Jacinto. Se determinó que la reducción de la capacidad de almacenamiento de los embalses del VCT es del 20.49%. Este dato es preocupante porque la mayoría de las presas analizadas tienen menos de 10 años de operación y a pesar de esto, el problema de la disminución de la capacidad de almacenamiento resulta evidente, además que estos cuatro embalses representan el 90% del agua almacenada de la cuenca.

Se evidencia también, que la capacidad de retención de todos los embalses del Valle Central de Tarija es alta, en promedio el 99.05% del sedimento que llega al área de los embalses se deposita en el vaso de almacenamiento. La degradación específica de la cuenca estimada en tonkm-2año-1 está en el rango de 503 a 1044, siendo el promedio de

los cuatro embalses 616.4 tonkm-2año-1. Según el indicador de colmatación el embalse Huacata se clasifica como de riesgo bajo, riesgo medio los embalses de La Hondura y Calderas y riego alto El Molino y San Jacinto.

TABLA 3 – VOLÚMENES CARACTERÍSTICOS Y VOLÚMENES DE SEDIMENTOS MEDIDOS

N°	EMBALSE	VOLUMEN	VOLUMEN	VOLUMEN	VOLUMEN	REDUCCIÓN	REDUCCIÓN
		TOTAL	MUERTO	ACTUAL	SEDIMENTACIÓN	VOLUMEN	ANUAL
		m ³	m ³	m ³	m ³	%	%
1	LA HONDURA	1,193,220.66	--	1,153,906.80	39,313.86	3.29	0.33
2	EL MOLINO	2,402,200.00	128,063.44	2,237,170.38	165,029.62	6.87	1.72
3	CALDERAS	4,995,956.73	537,757.71	4,908,478.90	87,477.83	1.75	0.25
4	HUACATA	13,547,996.05	440,304.98	13,503,645.32	44,350.73	0.33	0.04
5	SAN JACINTO	46,401,325.03	13,435,000.00	45,198,142.65	1,203,182.38	2.59	0.86

Fuente: Elaboración propia.

TABLA 4 – PARÁMETROS QUE CARACTERIZAN LA DINÁMICA SEDIMENTARIA DE LOS EMBALSES

N°	EMBALSE	CAPACIDAD	TASA DE	DEGRADACIÓN	VIDA ÚTIL	INDICADOR
		DE	PROMEDIO ANUAL	ESPECÍFICA		DE
		RETENCIÓN	m ³ /año	ton/km ² /año	años	COLMATACIÓN
1	LA HONDURA	99.54	39,303.86	606.04	302.0	Medio
2	EL MOLINO	96.67	165,024.62	347.64	70.4	Alto
3	CALDERAS	99.58	87,470.83	503.03	398.1	Medio
4	HUACATA	99.63	44,342.73	580.48	2434.7	Bajo
5	SAN JACINTO	99.40	1,203,179.38	1,044.70	116.0	Alto

Fuente: Elaboración propia.

Los tiempos de vida útil fueron estimados suponiendo que las variables de sedimentación y erosión se mantuvieran similares a los patrones medidos en el último periodo. Estos resultados son valiosos para la futura planificación y gestión de estos sistemas de embalses.

Se examinó el potencial del uso de datos de imágenes de alta resolución adquiridos por dron para la generación de la topografía de las riberas de un embalse de montaña, para ser combinado con un levantamiento batimétrico con el objetivo de actualizar la superficie topo batimétrica. La metodología propuesta permite disminuir los tiempos de trabajo de campo y genera resultados con alta precisión, se aplica a embalses de montaña debido a la poca o nula presencia de vegetación en sus riberas. Permite obtener una mayor cantidad de puntos que con un levantamiento tradicional con estación total, situación que mejora el detalle y representa de mejor manera áreas con un relieve accidentado, escarpado, con pendientes, inaccesibles o zonas con grandes desniveles.

Es factible correlacionar la tasa de sedimentación promedio anual con el área de la cuenca para poder ajustar una ecuación regional que permita tener una referencia de la producción de sedimentos en cuencas similares, sin embargo, pueden existir casos especiales de cuencas con características muy específicas que generen un sesgo en la producción de sedimentos.

Con los resultados obtenidos se formuló una ecuación regional de producción de sedimentos, como referencia para proyectos de regulación hídrica en el Valle Central de Tarija, Figuras 5 y 6.

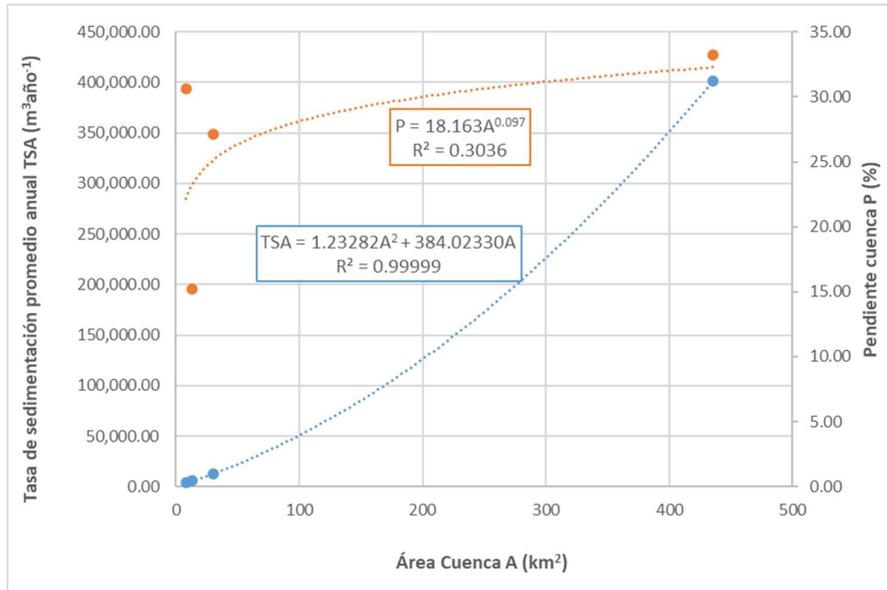


Figura 5: Relación entre la pendiente de la cuenca y la tasa de sedimentación promedio anual en embalses en función al área de la cuenca.
Fuente: Elaboración Propia.

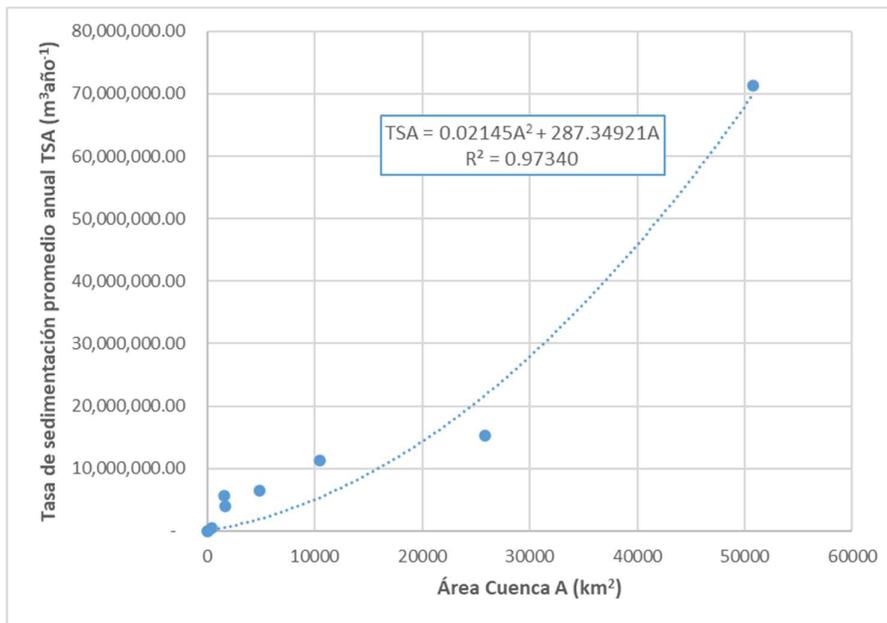


Figura 6: Ecuación regionalizada de tasas de sedimentos en función del área de aporte.
Fuente: Elaboración Propia.

Nota: Para obtener una ecuación regional que sea aplicable para un mayor rango de magnitud de área, se ha extrapolado este criterio empleando los valores medidos de caudal sólido suspendido publicados por COREBE (Comisión Regional del Río Bermejo).

4. CONCLUSIONES

La sedimentación en embalses es un problema científico, ambiental y socioeconómico de gran importancia, pues los embalses retienen la mayor parte de los materiales transportados por el río. La capacidad que tiene un País de adaptarse al cambio climático es directamente proporcional a su capacidad de almacenamiento de agua. Es por esta razón, que los embalses son la clave hacia una fuente confiable de agua, sus beneficios como fuentes de agua para consumo humano,

industrial, producción agrícola, energía y control de avenidas, han sido inconmensurables. En mayor o menor medida, la sedimentación en embalses implica un desafío a la sostenibilidad de los proyectos de almacenamiento.

El Valle Central de Tarija se caracteriza por una diversidad de condiciones topográficas y climáticas que ofrece importantes potencialidades en términos de desarrollo, pero condicionada por el protagonismo de activos e intensos procesos hidrológicos, geomorfológicos y ecológicos. Tiene una gran dependencia de las aguas almacenadas para asegurar su producción agrícola y afrontar la diversificación productiva de cultivos de alto valor. Por lo tanto, es de radical importancia contar con un análisis regional de la sedimentación en múltiples embalses que permita determinar el alcance de los problemas existentes, además de identificar los lugares prioritarios para la gestión de los sedimentos. Sin embargo, el análisis regional suele estar limitado por la escasez de datos de sedimentación, y los datos disponibles pueden estar geográficamente dispersos y en formatos de información incoherentes.

La presente investigación se enmarca en la generación de información primaria, la recopilación de información relevante, y la propuesta de metodologías simples que permitieron la categorización y priorización de los embalses y por último la elaboración de una propuesta de gestión sostenible para los embalses priorizados.

Los resultados obtenidos producto de las mediciones ejecutadas y la sistematización y corrección de la información antecedente permitieron caracterizar los principales problemas generados por los sedimentos en los embalses del Valle Central de Tarija. Las diferencias en las características, la escala y la magnitud de los problemas en los embalses estudiados demuestran su complejidad y singularidad.

Los datos de medición y el monitoreo son importantes para llevar a cabo investigaciones hidrológicas, hidráulicas y morfológicas en todas las etapas, incluyendo la planificación, el diseño, la viabilidad, la evaluación de impactos y riesgos, así como durante la operación, lo que permite optimizar y adaptar las estrategias y prácticas de gestión.

El estudio proporciona evidencia convincente de que la aplicación de aerofotogrametría para el levantamiento topográfico de las riberas de un embalse de montaña disminuye los tiempos de trabajo de campo y simplifica la logística requerida, generando productos de buena precisión y mayor detalle, siendo una alternativa de bajo costo operacional para el monitoreo de la sedimentación.

Este estudio aporta datos de referencia para comparar con los futuros patrones de sedimentación de otros embalses ubicados en zonas aledañas, además que la metodología propuesta puede ser aplicada como un diagnóstico para proponer estrategias de gestión sostenible de los sedimentos.

REFERENCIAS

- [1] G. Annandale, *Quenching the Thirst: Sustainable Water Supply and Climate Change*. [Online]. Available: https://books.google.com.bo/books/about/Quenching_the_Thirst.html?id=A8LYnQEACAAJ&redir_esc=y. Accessed: Dec. 20, 2021.
- [2] G. W. Annandale, G. L. Morris, and P. Karki, *Extending the Life of Reservoirs. Sustainable Sediment Management for Dams and Run-of-River Hydropower*, World Bank Group, Washington, 2016.
- [3] International Hydropower Association, "Sediment Management: International Hydropower Association." [Online]. Available: <https://www.hydropower.org/sediment-management>. Accessed: Jul. 17, 2022.
- [4] H. I. Becerra Montecinos, "Producción de Sedimento en la cuenca del río Arque mediante el uso de HEC-HMS," Thesis, Cochabamba, Bolivia, 2021.
- [5] R. A. Benítez, "Evaluación del método de predicción y de las medidas de control de la sedimentación en el embalse 'San Jacinto,'" *Revista Ingeniería Civil, CEDEX*, vol. 70, no. 145, pp. 151–157, 2007.
- [6] CAT PRONAR, *Sedimentos en microcuencas y diseño de obras de almacenamiento*, Componente De Asistencia Técnica Del Programa Nacional De Riego, 2006. [Online]. Available: <https://isbn.cloud/9789995470708/sedimentos-en-microcuencas-y-diseno-de-obras-de-almacenamiento/>
- [7] S. Dutta, "Soil Erosion, Sediment Yield and Sedimentation of Reservoir: A Review," *Modeling Earth Systems and Environment*, vol. 2, no. 3, p. 123, 2016, doi: 10.1007/s40808-016-0182-y.
- [8] M. Iriondo, F. Colombo, and D. Kröhling, "El abanico aluvial del Pilcomayo, Chaco (Argentina- Bolivia-Paraguay): Características y significado sedimentario," vol. 28, pp. 79–82, 2000.
- [9] L. D. Kazimierski, M. Irigoyen, J. D. Brea, P. Spalletti, and A. Nicolás, "Impacto del Cambio Climático en la Producción de Sedimentos en las Cuencas de los Ríos Bermejo y Pilcomayo," Buenos Aires, Argentina, 2012.
- [10] O. Maillard, J. C. Salinas, S. Angulo, and R. Vides-Almonacid, "Riesgos ambientales en las unidades hidrográficas de las serranías chiquitanas, departamento de Santa Cruz, Bolivia," *Ecología en Bolivia*, vol. 54, no. 2, pp. 83–95, 2019.
- [11] R. V. Mercado Alanes, "Producción de sedimentos en la cuenca Laka Laka mediante HecHMS," 2019.

- [12] G. L. Morris and J. Fan, *Reservoir Sedimentation Handbook: Design and Management of Dams, Reservoirs and Watersheds for Sustainable Use*, New York: McGraw-Hill Book Co., 1998.
- [13] A. Palmieri, F. Shah, G. W. Annandale, and A. Dinar, Volume I: The RESCON Approach, vol. 1, p. 102, 2003.
- [14] P. S. Ponce, "Características hidráulicas y la concentración de plomo en agua y sedimentos en el río Suches-frontera Perú – Bolivia– 2021," *Repositorio Institucional - UCV*, 2021.
- [15] C. P. Saavedra and C. Mannaerts, "Evaluación y monitoreo de modelos de erosión y sedimentación a escala regional usando sensores remotos y SIG. Caso de estudio en la región Andina, Cochabamba, Bolivia," vol. 17, 2003.
- [16] J. E. Ureña, O. C. Saavedra, and M. Perales, "Estimación de sedimentos en la cuenca Pilcomayo usando un producto de precipitación combinado con sensores a bordo de satélites," *Investigación & Desarrollo*, vol. 20, no. 1, pp. 67–80, 2020.
- [17] P. Vallejos, G. Vallejos, R. Maldonado, and J. Juan, "Efecto de la producción de quinua en la erosión y generación de sedimentos en la subcuenca Orinoca de Oruro (Bolivia)," *RINDERESU*, vol. 5, no. 2, 2021.
- [18] M. Villazón and E. Herrera, "Evaluación y comparación de técnicas de muestreo de sedimentos en suspensión en el Río Beni-Bolivia," Cochabamba, 2018.
- [19] M. A. Villegas Otondo, "Estimación de la sedimentación y priorización de áreas de intervención en la cuenca de aporte del embalse Tapera, Aiquile Bolivia," 2017.