

¿Cuál es la gestión utilizada para la sedimentación en los embalses?. Una revisión bibliográfica.

What is the management used for sedimentation in reservoirs? A literature review.

Ing. Joyce Marcelo Arias Pereira ^{1*}, Ing. Edilberto Antonio Llanes Cedeño ²

1.* Master Universitario en Sistemas Integrados de Gestión de la Prevención de Riesgos Laborales, la Calidad, el Medio Ambiente y la Responsabilidad Social Corporativa. Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.

Email: joyce.arias@ug.edu.ec ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9238-2557>

2. Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador.

Email: antonio.llanes@uisek.edu.ec ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6739-7661>

Destinatario: joyce.arias@ug.edu.ec

Recibido: 09/Abril/2021

Aceptado: 10/Mayo/2021

Publicado: 30/Junio/2021

Como citar: Arias Pereira, J. M., & Llanes Cedeño, E.A. (2021). ¿Cuál es la gestión utilizada para la sedimentación en los embalses?. Una revisión bibliográfica. E-IDEA Journal of Engineering Science, 3 (7), 13.23. Recuperado a partir de <https://doi.org/10.53734/esci.vol3.id206>

Resumen: El agua es uno de los recursos más importantes para la sostenibilidad de la vida en el planeta tierra, de ella depende la formación y el mantenimiento de todo ser vivo, se encuentra naturalmente en cualquier espacio de este planeta, y desde los inicios de la vida ha determinado los asentamientos de seres humanos representando un factor clave al momento de elegir o no algún sitio para establecer un caserío, ciudad o cualquier forma de organización humana. De allí que los ríos, mares, lagos entre otras formas de concentración del líquido sea un preciado recurso natural y marque toda actividad en torno al ser humano. Sin embargo, en las últimas décadas este recurso ha sido manipulado de tal forma que hoy en día se cuentan con estructuras hechas por el hombre para lograr controlar los cauces de ríos y artificialmente lograr la formación de una especie de lago, esto con la finalidad de almacenar el vital líquido para determinados fines. Tal es el caso de los embalses, los cuales han sido creados para múltiples fines, entre los que destacan la generación de electricidad y el suministro de agua a ciertas poblaciones. Esta investigación tiene como objetivo mostrar las diferentes metodologías aplicadas para lograr eliminar o mitigar los sedimentos que se depositan en los embalses, mediante una revisión bibliográfica. Entre los principales métodos se encuentra el dragado, flusching la dilución controlada entre otros.

Palabras Clave: Embalses, agua, dragado, flusching.

Abstract: Water is one of the most important resources for the sustainability of life on planet earth, the formation and maintenance of every living being depends on it, it is found naturally in any space on this planet, and since the beginning of life has determined the settlements of human beings representing a key factor when choosing or not a site to establish a village, city or any form of human organization. Hence, the rivers, seas, lakes, among other forms of concentration of the liquid, are a precious natural resource and mark all activity around the human being. However, in recent decades this resource has been manipulated in such a way that today there are man-made structures to control riverbeds and artificially achieve the formation of a kind of lake, this with the purpose of store the vital liquid for certain purposes. Such is the case of reservoirs, which have been created for multiple purposes, among which the generation of electricity and the supply of water to certain populations stand out. This research aims to show the different methodologies applied to eliminate or mitigate the sediments that are deposited in the reservoirs, through a bibliographic review. Among the main methods is dredging, flusching, controlled dilution, among others.

Keywords: Reservoirs, water, dredging, flusching.

INTRODUCCIÓN

El planeta tierra es hasta estos momentos el único planeta conocido que alberga vida, y no solo vida humana sino una variedad de seres vivos impresionante, desde la vida a nivel microscópico, pasando por especies de flora y fauna impresionantes y llegando a los seres humanos, especie que se caracteriza por su capacidad de raciocinio y por demás la especie dominante en el planeta.

Esta vida que abunda en el planeta necesita de múltiples factores para sobrevivir, entre esos el agua, un líquido que forma parte de la configuración del planeta y responsable por demás de la formación de muchas especies de vida, este es un recurso natural en el planeta responsable de poder aportar al cuerpo humano de una cantidad de elementos químicos necesarios para su mantenimiento, por otro lado, el agua ha dado vida a las diferentes civilizaciones en el mundo entero, ya que de ello depende la localización en ciertas áreas de los humanos y sus asentamientos, resulta muy común a través de la historia ver como los seres humanos se organizaban en comunidades alrededor de alguna fuente natural de agua, bien sea ríos o lagos.

Del mismo modo, en los tiempos actuales resulta necesaria la proximidad de los poblados al vital líquido, sin embargo la experiencia de los antiguos hombres y el desarrollo de la ciencia han logrado consolidar uno de los avances de ingeniería que más ha tenido impacto en la vida moderna del ser humano, y es la manipulación de los cauces de ríos para su almacenamiento en embalses o presas, con la finalidad de proporcionar agua a la población, el riego en la agricultura, y la más usada en la generación de energía eléctrica. Lo cual ha permitido que muchos países puedan tener un desarrollo eléctrico sustentable y de calidad.

Pese a ello, la creación de embalses trae consigo ciertos problemas a nivel ecológico, como por ejemplo la pérdida de determinadas especies de flora y fauna en el espacio que será inundado, así como incluso el desplazamiento de poblaciones enteras para lograr que esos espacios sean ocupados por el agua que llenara esos embalses. De igual manera los embalses presentan una problemática que afecta su capacidad de almacenamiento hídrico, y es que los sedimentos que se depositan en el fondo de estos embalses ocasionan problemas como el debilitamiento de la estructura que los contiene, así como la pérdida de calidad del agua que allí se deposita, disminuyendo así la vida útil de estas estructuras.

Esta investigación se realiza con la finalidad de explorar los diferentes métodos para gestionar los sedimentos en los embalses, mediante una revisión bibliográfica de los principales estudios realizados al respecto.

MÉTODO

La investigación es de tipo documental, se realizó una revisión bibliográfica entre documentos de orden científico, revistas de investigaciones, tesis de grado, documentos de organismos internacionales emitidos bajo los más estrictos estándares científicos académicos, investigaciones científicas que proporcionan la información necesaria para realizar la documentación del tema. La investigación documental, como herramienta ayuda en la construcción del conocimiento, amplía los constructos hipotéticos de los estudiantes y como enriquece su vocabulario para interpretar su realidad desde su disciplina, constituye elemento motivador para la realización de procesos investigativos (Gomez et al., 2017).

Por otro lado, es de tipo documental, ya que el investigador realiza una búsqueda de información de segunda mano, cuando busca y elige aquella información que ya está documentada: registrada, recopilada y clasificada; información que puede estar en forma de escritura, voz, imagen, sonido, símbolos gráficos, tablas o cuadros estadísticos, mapa, dibujo, escultura, etc (Vasquez, 2020)

La presente investigación se realizó bajo la revisión de diferentes artículos, libros, trabajos de grado, proyectos, revistas científicas y fuentes verificables que garantizan la fiabilidad de los conceptos y análisis que se presentan.

RESULTADOS

Los embalses o represas se definen como obras de infraestructura que transforman el régimen de caudales superficiales de una cuenca a través de la Obstrucción de su cauce, su construcción es considerada como un tipo de gestión y regulación de los recursos hídricos para la satisfacción de las diversas demandas y presiones que se generan sobre los mismos. los embalses son cuerpos de agua artificial en los cuales se concentra parte de la oferta hídrica superficial, de manera que estos, como unidades ecológicas, están relacionados directamente con su cuenca colectora u hoya tributaria (Montoya-Restrepo et al., 2019)

Son representaciones de sistemas lénticos, presentando una importancia ecológica como zonas de amortiguamiento de niveles de aguas altas, funcionan también como lugares de refugio para especies migratorias y poseen una alta productividad biológica ya que tienen disposición de nutrientes durante épocas de lluvia. Pero aun así son sistemas que son perjudicados por la variabilidad climática que se presenta a lo largo del año con las estacionalidades de invierno y veranos, Estas construcciones tienen unas características principales que constan de curvas cota-volumen, cota-superficie inundada y caudal regulado. Esto está conectado con las particularidades

del valle, si este es amplio y abierto, el área de inundación puede estar ocupado por pobladores, mientras que si son fértiles pueden ser usadas para agricultura (Barriga, 2019).

La creación de un embalse implica el cambio de un ecosistema terrestre a uno acuático y al mismo tiempo, la transformación de un ecosistema lótico a uno léntico. La inundación de un área terrestre que antes tenía un función social y económica implica un impacto sobre la población que debe relocalizarse y a menudo cambiar de hábitos de vida; a su vez, la zona inundada es un ecosistema natural cuyo valor ecológico deber ser cuidadosamente estudiado antes de generar pérdidas irreparables (Betancur, 2020).

De igual manera, la misma autora comenta que los embalses son concentradores y digestores de contaminantes químicos provenientes de la vertiente, archivos de información de desarrollos económicos y cambios ecológicos ocurridos en el área de captación. Son entonces sistemas abiertos, integradores de la cuenca total; por tanto, la cuenca influenciará el cuerpo de agua y a la inversa. Una definición clara de represa o embalse debe considerar entonces el carácter de cuenca artificial, la condición de híbrido entre río y lago, de vaso reactor y de centro colector de eventos. Los fines para los cuales se construyen embalses son:

1. Regulación del suministro de agua para la agricultura.
2. Irrigación de tierras
3. Obtención de energía eléctrica
4. Suministro de agua potable

Estos procesos de modificación de espacios naturales presentan diferentes enfoques, entre los que destacan el gran impacto socioeconómico que estos embalses generan a las sociedades que impactan, es decir a pesar de que el hombre modifica un espacio natural terrestre y lo convierte en uno acuático, y que el impacto ambiental es bastante alto considerando que muchas especies de flora y fauna se perderán, los beneficios que se obtienen resultan positivos para el desarrollo económico de determinadas áreas, ya que en la gran mayoría de los embalses son construidos para lograr la generación de electricidad, suministrar agua a ciertas poblaciones entre otros beneficios que realmente aportan un avance a la sociedad.

Sin embargo, estos embalses presentan otros problemas que disminuye la vida útil de los mismos, entre estos problemas que se presentan esta la sedimentación. El Kadi y Findikakis (2018) mencionan que la Comisión Internacional de Grandes Represas (ICOLD) estima que en 2018 la cantidad de represas de más de 15 metros era 59,071 y que contando las represas más pequeñas la capacidad de almacenamiento es de aproximadamente 7 trillones de metros cúbicos. Sin embargo, a pesar de la construcción de nuevas represas la capacidad de almacenamiento ha ido disminuyendo debido a los sedimentos que se acumulan en estas y si no se toman acciones, un cuarto de los embalses quedarán fuera de servicio en los próximos 50 años (El Kadi y Findikakis, 2018).

Actualmente el promedio global de pérdida de almacenamiento por sedimentación es 1% (Annandale et al., 2018).

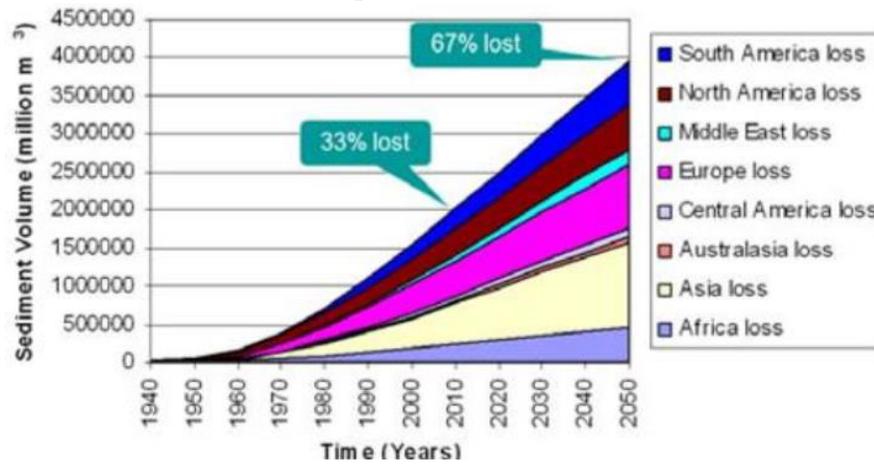
La tasa de pérdida de almacenamiento depende de la carga de sedimentos anual la cual está controlada por varios factores como: el área, el origen geológico, el uso de la tierra, la cantidad de lluvia, la cantidad de almacenamiento en el embalse, el tamaño de las partículas, la configuración del embalse, la distribución y el tamaño de los puntos de salida y el método y el propósito de la liberación de agua (Froehlich, 2018). La carga natural de sedimentos de los ríos se ve afectada por las alteraciones humanas como la erosión ocasionada por la remoción de vegetación nativa o deforestación, el cambio del uso del suelo, la construcción de vías y el aumento de la urbanización, entre otras. A medida que se mueve aguas abajo estacarga puede ser interrumpida por la presencia de presas en el curso del río (Kondolf y Schmitt, 2018).

Los sedimentos erosionados por las corrientes naturales suelen sedimentarse cuando se entra a aguas comparativamente más calmadas como lo son los embalses, reteniendo el 100% del lecho y solo un porcentaje de los sedimentos suspendidos. Aunque mundialmente las perturbaciones en el suelo y consecuentemente el rendimiento de los sedimentos ha aumentado, la carga en los ríos presenta una reducción que se atribuye a que quedan atrapados en las presas y esto lleva a una acelerada erosión en las costas y a una pérdida de tierras en los deltas debido a que dependen del suministro de sedimentos para mantener su forma y el sistema ecológico sensible de los estuarios (Kondolf y Schmitt, 2018).

A continuación, en la siguiente Figura 1, se puede observar el volumen de la capacidad de almacenamiento en los embalses debido a la sedimentación.

Figura 1

Perdida del Volumen de Capacidad de Almacenamiento de los Embalses desde 1940 al 2050.



Fuente: (Romero, 2020)

De acuerdo a lo anterior, se puede decir que la sedimentación es uno de los más graves problemas que presentan los embalses y amenazan la sostenibilidad de los mismos, pudiendo ocasionar grandes capacidades de almacenamiento de agua y por ende afectar a la generación de electricidad por medio de estos recursos hídricos y proporcionar agua a los la población.

El sedimento depositado en un embalse puede ocasionar diversos problemas o consecuencias según (Calle, 2018):

- Pérdida de volumen de almacenamiento efectivo Las pérdidas de volumen de almacenamiento efectivo, reducen la capacidad de control de avenidas, el volumen destinado para riego, la capacidad de regulación para la producción de energía eléctrica y el suministro de agua.
- Cambios en la calidad del agua Los cambios en la calidad del agua se producen de 2 formas: incrementando la turbiedad y reduciendo los niveles de oxígeno disuelto con lo cual las aguas podrían llegar a ser inhabitables para peces y otras vidas acuáticas.
- Afecta la seguridad de la estructura Afecta la seguridad de la estructura, ya que los sedimentos cerca de la presa incrementan la carga estática, por tal motivo el comportamiento estructural ante sismos y avenidas intensos podría ponerse en duda.

En general los factores que más afectan el curso y la naturaleza de la sedimentación son:

- Flujo entrante y carga de sedimentos.
- Terreno del reservorio y características originales del lecho del río (antes de la construcción de la presa).
- Modo de operación del reservorio.

- Dimensiones y elevaciones de la estructura de salida.
- Volumen de almacenamiento.
- Confluencia de los ríos tributarios.

Hoy en día existen varias tecnologías para la eliminación o mitigación de los sedimentos en los embalses como los siguientes que se muestran en la Figura 2 y 3

Figura 2.

Problemas Identificados por Sedimentación

Problemas identificados en embalses	<ul style="list-style-type: none"> • Formación de deltas a la entrada de los embalses • Sedimentación en zonas de infraestructura social • Reducción de la capacidad de almacenamiento de los embalses • Aportes de sedimentos por eventos extraordinarios • Inestabilidad de laderas • Afectación al ecosistema acuático
Problemas en captaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Acumulación de sedimentos en azud • Acumulación de sedimentos en canales y desarenadores • Sedimentación en tanques de carga • Obstrucción de captaciones
Problemas en Equipos de Generación	<ul style="list-style-type: none"> • Desgaste en turbinas • Recalentamiento de equipos • Dificultades para operación de algunos equipos • Alta demanda de mantenimiento de equipos

Fuente: (Becerra, 2018)

Figura 3

Alternativas de Solución

Alternativas en Ejecución	<ul style="list-style-type: none"> • Dragado de colas para navegación • Construcción de obras de retención de sedimentos en cuencas • Control de erosión en las márgenes de los embalses • Remoción mecánica • Dragado en zona de bocatomas y limpieza de azud • Limpieza de desarenadores
Alternativas planteadas	<ul style="list-style-type: none"> • Uso descarga de fondo o estructuras similares • Operación del embalse con niveles altos • Modificación de bocatomas • Dragado • Retiro mecánico de sedimentos • Check dams • Construcción de obras de retención en cuencas • Reforestación de cuencas • Construcción de obras de reducción de velocidad del agua • Limpieza desarenadores • Reubicación de infraestructura social

Fuente: (Becerra, 2018)

Los procesos de sedimentación conllevarían a la pérdida de la vida útil de los embalses y a la disminución del valor de las empresas de energía (Rodríguez et al., 2019). Los daños debidos a la falta de manejo de sedimentos podrían representar más del 70% del costo de construcción del embalse (George et al., 2017), esto representaría un alto costo por pagar a las generaciones futuras.

A continuación, Polanco et al. (2020) mencionan alternativas para mitigar la sedimentación en los embalses.

Reforestación: reforestar 62 km² de las áreas cubiertas de pastos y arbustos de la cuenca, lo cual equivale a 22% del área total de la cuenca tributaria del embalse. Esta alternativa se plantea ya que la cuenca del río principal contribuye con el 74% del volumen total de sedimentos que llegan al embalse.

Agricultura: mejorar las prácticas agrícolas en 20.67 km² de la cuenca tributaria del embalse, en donde se incluyen actividades de capacitación y acompañamiento para los dueños de cultivos.

Construcción de presa de retención de sedimentos: consiste en la construcción de una presa en concreto ciclópeo revestido de concreto hidráulico de 20 metros de altura y 35 metros de longitud, sobre la cual, se incorporará un vertedero para el paso de crecientes máximas y se alojarán orificios libres que permitirán el paso de caudal durante las condiciones bajas y medias del río. Las dimensiones de la presa permiten la formación de un embalse temporal aguas arriba del sitio de presa, con el fin de retener el 75% de los sedimentos durante eventos de crecienta.

Existen varias soluciones técnicas para reducir la sedimentación en embalses, ofreciendo resultados muy diferentes en cuanto a eficacia (Guillen-Ledeña et al., 2019), las más utilizadas son el dragado, Flushing, retención y reubicación dilución controlada, las cuales son métodos eficientes pero la elección dependerá de las diversas características de cada embalse, y de las implicancias monetarias de estas.

Algunos países han optado por buscar una manera de prevenir que los sedimentos lleguen al embalse antes de pensar en formas de remover los sedimentos existentes. Un ejemplo es el caso de China, en donde hacen una gestión integral de montañas, aguas, campos, bosques, carreteras y entornos rurales. Gracias a esto ha disminuido la erosión y ha aumentado la productividad de la tierra y su utilización (Cao et al., 2019).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las diferentes aplicabilidades o usos que se les da a los embalses en el mundo entero van desde la irrigación, suministro de agua a determinadas poblaciones, preservación y promoción de protección de diversas especies de flora y fauna, deportes y la generación de energía eléctrica.

La modificación de estos espacios naturales representa uno de los mayores logros y avances de la historia del hombre, la cual se realiza por la necesidad de manipular grandes masas de agua para un fin específico.

Resulta un problema grave la acumulación de sedimentos en el fondo de estos embalses, los cuales van disminuyendo progresivamente la capacidad de almacenamiento de estos embalses, de igual manera estos sedimentos al acumularse generan problemas que afectan la infraestructura del embalse, pudiendo ocasionar fisuras en sus paredes contenedoras.

Existen variedad de métodos que atacan la problemática de los sedimentos, pero los más comunes son el dragado, el fushing, la dilución controlada. De igual manera es importante mencionar casos exitosos en manejo y gestión de sedimentos en los embalses como el de china, quienes han realizado un trabajo cuencas arriba, control de sedimentos en los causes de los ríos y reforestación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Annandale, G., Randle, T., Langendoen, E., & Hotchkiss, R. (2018). Reservoir Sedimentation Management: a Sustainable Development Challenge. *Hydrolink*, 72-75. Obtenido de <http://tailieu.so.tlu.edu.vn/handle/DHTL/9384>
- Barriga, J. (2019). Evaluación de la calidad hídrica e impactos socioambientales de los embalses de Cundinamarca, Colombia. Trabajo de grado para optar el título de Ecóloga, Pontificia Universidad Javeriana, Bogota. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10554/46757>
- Becerra, G. (2018). Plan Para el Adecuado Manejo de Sedimentos, Que Permite Incrementar la Vida Útil del Embalse La Esmeralda. *Ingenio Magno*, 9(1), 71-82. Obtenido de <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/1645>
- Betancur, L. (2020). Impactos ecológicos generados por la construcción de centrales hidroeléctricas con embalses sobre la biota acuática. Monografía presentada como requisito parcial para optar al título de: Especialista en Gestión Ambiental, Universidad de Antioquia, Medellín. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10495/15102>
- Calle, S. (2018). Estudio de las técnicas de descolmatación de embalses. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad de Piura, Piura. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11042/3311>
- Cao, W., Liu, C., & Gu, L. (2019). Reservoir Sedimentation Management in China. *Hydrolink*(2), 36-39. Obtenido de <https://static.iahr.org/upload/file/20200513/1589332060645460.pdf>
- El Kadi, K., & Findikakis, A. (2018). Reservoir Sedimentation: Challenges and Management Strategies. *Hydrolink*, 3, 66. Obtenido de <https://www.upct.es/hidrom/publicaciones/monografias/M2.pdf>
- Froehlich, D. (2018). Predicting reservoir Capacity Loss from Sedimentation at Large Indian Dams. *Hydrolink*, 87-88.
- George, M., Hotchkiss, R., & Huffaker, R. (2017). Reservoir sustainability and sediment management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 143(3), 1-8. Obtenido de [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000720](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000720)
- Gomez, D., Carranza, D., & Ramos, C. (2017). *Revista UNACH Chakiñan*, 45-56. Obtenido de http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2550-67222017000300046

- Guillen-Ludeña, S., Carrillo, J., & Castillo, L. (2019). Modelación física y numérica del lavado de sedimentos en embalses. *Ingeniería del Agua*. Obtenido de <https://www.hidralab.com:4430/jia2019/wp-content/uploads/2019/10/R038.pdf>
- Kondolf, G., & Schmitt, R. (2018). Dams. Sediment discontinuity and Management Responses. Recuperado el 29 de Mayo de 2022, de https://www.researchgate.net/publication/329206189_Dams_Sediment_Discontinuity_and_Management_Responses
- Montoya-Restrepo, N., Ríos-Gallego, S., & Hincapie-Pérez, J. (2019). Planificación de áreas de influencia de embalses. Propuesta desde la Capacidad de Acogida. *Bitácora Urbano Territorial*, 29(2). doi:<https://doi.org/10.15446/bitacora.v29n2.72178>
- Polanco, J., Ramírez, F., Montes, L., Botero, B., & Otálvaro, M. (2020). Incidencia de la decisión de manejo de sedimentos en el valor de una central hidroeléctrica. *Revista DYNA*, 87(213), 232-240. doi:<https://doi.org/10.15446/dyna.v87n213.81832>
- Rodríguez, A., García, J., Robredo, J., & López, D. (2019). Specific sediment yield model for reservoirs with medium-sized basins in Spain: an empirical and statistical approach. *Science of the Total Environment*, 681, 82-101. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.029>
- Romero, M. (2020). Retos y desafíos en la implementación de técnicas de manejo de sedimentos en embalses de Colombia. Trabajo de grado, Universidad de los Andes, Colombia, Bogota. Obtenido de <http://hdl.handle.net/1992/49250>
- Vasquez, W. (2020). Metodología de la Investigación. Manual del Estudiante, Universidad San Martín de Porras. Recuperado el 29 de Mayo de 2022, de <https://www.usmp.edu.pe/estudiosgenerales/pdf/2020-I/MANUALES/II%20CICLO/METODOLOGIA%20DE%20INVESTIGACION.pd>