

ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DEL SEDIMENTO ACUMULADO EN EL SECTOR DE LA OBRA DE TOMA DEL EMBALSE SAN JACINTO

 Perales Avilés Moisés - Ingeniero Civil, Docente Investigador - (CIAGUA - UAJMS)

 Zenteno Gareca Juan Pedro - Ingeniero Civil, Investigador - (CIAGUA-UAJMS)

 moisesperales@uajms.edu.bo

 Campus Universitario. Zona el Tejar. Centro de Investigación del Agua – UAJMS

RESUMEN

El propósito de este estudio es establecer el grado de sedimentación y su dinámica en el sector donde se ubica la obra de toma del embalse San Jacinto, con base al análisis de los estudios de batimetrías ejecutados a la fecha.

El principal aspecto del trabajo, radica en determinar los niveles de sedimentos en las proximidades de la compuerta de ingreso al túnel de aducción, para poder identificar la necesidad de realizar trabajos necesarios para asegurar el correcto funcionamiento de esta importante estructura hidráulica.

Para ello, en primer lugar, se recopiló toda la información disponible en formato digital e impreso del levantamiento topográfico de la zona de estudio ejecutada en 1984, las topobatimetrías ejecutadas en 1989, 1995, 2004, 2013 y 2016.

En segundo lugar, el Centro de Investigación del Agua de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho ejecutó dos campañas batimétricas, la

primera el mes de marzo de 2018 y la segunda en abril del 2019. Se elaboró un mapa de identificación de patrones de sedimentación, se cuantificaron los volúmenes de sedimento que han ingresado a la zona de estudio y se realizó un análisis de la variación de niveles de sedimento en el canal que direcciona el agua hacia la entrada del túnel de aducción de la obra de toma.

Finalmente se concluye que el sedimento depositado en el periodo se encuentra a niveles muy riesgosos para la operación de las compuertas, ya que, el mismo está aproximadamente a dos metros por encima de la solera del canal de hormigón al ingreso del túnel.

PALABRAS CLAVE

sedimentación, colmatación, batimetría, embalse, obra de toma.

ABSTRACT

The purpose of this study is to establish the degree

of sedimentation and its dynamics in the sector where the San Jacinto reservoir outlet is located, based on the analysis of the bathymetry studies carried out to date.

The main aspect of the work is to determine the sediment levels in the vicinity of the outlet gate to the adduction tunnel, in order to identify the need to carry out the necessary works to ensure the proper functioning of this important hydraulic structure.

To this end, firstly, all available information was compiled in digital and printed format from the topographic survey of the study area executed in 1984, the topobatimetries executed in 1989, 1995, 2004, 2013 and 2016.

Secondly, the Water Research Center of the Autonomous University Juan Misael Saracho executed two bathymetric campaigns, the first one in March 2018 and the second one in April 2019. A map was prepared to identify sedimentation patterns, the volumes of sediment that have entered the study area were quantified and an analysis of the variation of sediment levels in the channel that directs water to the entrance of the intake tunnel of the intake work was performed.

Finally, it was concluded that the sediment deposited during the period is at very risky levels for the operation of the floodgates, since it is approximately two meters above the concrete channel floor at the entrance of the tunnel.

KEYWORDS

sedimentation, silting, bathymetry, reservoir, outlet

INTRODUCCIÓN

La vida útil de cualquier presa puede ser tan larga como sea segura y operable. En general, si una presa y sus estructuras anexas se explotan y mantienen

adecuadamente, se pueden controlar los procesos de envejecimiento y se puede preservar el estado de una presa conjuntamente con sus beneficios. (Central Water Commission 2019)

Como lo menciona (Valero-Garcés, Navas, y Gayarre 2013), el conocimiento de la historia sedimentológica de un embalse es un requisito previo para paliar los problemas de gestión derivados del aterramiento.

El embalse San Jacinto, no es ajeno a los problemas de colmatación y sedimentación, hasta hace poco no se contaba con información relacionada a la influencia del sedimento en las obras complementarias, tampoco se realizó un análisis a detalle del sector cercano a la obra de toma, esto genera incertidumbre sobre el grado actual de acumulación del sedimento en el único punto de extracción de agua del embalse.

Teniendo en cuenta a (López-Moreno et al. 2003) con base a la información generada por el Centro de Estudios y Experimentaciones (CEDEX) de las batimetrías de embalses españoles, los valores de aporte de sedimento anual medio están entre 150 y 1,000 t/km², lo que supone una reducción de su capacidad entre el 0.4 y 0.7% por año.

Desde el inicio de la construcción la estimación de la producción específica de sedimento de la cuenca fue un tema que tuvo diferentes análisis. Los datos disponibles para los estudios de factibilidad eran de 3 años de medidas en el Angosto de San Jacinto, datos con los cuales, aplicando el método de Vanoni, se obtuvo una cantidad de sedimentos transportados de 109,253 ton/año, equivalentes a 84,041 m³/año o sea un aporte específico de 193.2 m³/km²/año. Dicho estudio, anota también que la cantidad obtenida es baja comparada con otras cuencas del país y otras partes del mundo, por lo

que se realizó otra estimación considerando las formaciones geológicas y su potencialidad erosiva, adoptando para el diseño del embalse una cantidad de sedimentos igual al 1% del caudal del río, o sea 268,700 m³/año, equivalente a 618 m³/km²/año. Los resultados de estudios anteriores (estudio de prefactibilidad) eran de 3500 m³/km²/año (HARZA) y 550 m³/km²/año (ENDE). Posteriormente en la etapa de construcción de la presa, se efectuaron nuevos estudios, como el de la Fundación Chile, que calcula 1,170 m³/Km²/año como producción específica de la cuenca.(CODETAR 1995)

Existen también otros estudios previos que estimaron la cantidad de sedimentos que produce la cuenca y que llegan al embalse, para el periodo 1973-1993 un aporte medio anual de 677,868 toneladas, equivalente a una tasa unitaria de 1,552 t/km² (Carpio, Camacho, y Rodríguez 2002)

Considerando los datos de las mediciones batimétricas ejecutadas, tal como específica (Benítez Reynoso 2006), en el periodo 1989 – 1995, se han depositado en el embalse 4,121,721.9 m³ de sedimentos, lo que significa un promedio anual de 736,022 m³ o 2,385 t/km²/año; en el periodo 1995 – 2004, han llegado al embalse 4,160,937.9 m³, esto quiere decir, un promedio anual de 462,326 m³ o 1498 t/km²/año y entre 1989 y 2004, se depositaron en el embalse 8,282,659.8, lo que arroja un promedio anual de 567,305 m³ o 1,838 t/km²/año.

Estos valores de sedimentación están muy por encima de los valores promedios en embalses de similares características, resultando en un mayor riesgo y problemas inducidos por los sedimentos.

De las cinco batimetrías disponibles a la fecha del embalse, las misma que fueron ejecutadas en los años: 1989, 1995, 2004, 2013 y 2016 (SHN

1989, 1995; CaryGlobal 2004; SNHN 2013, 2016), en ninguna de ellas se realizó un levantamiento de la superficie subacuática en la zona próxima a la obra de toma que permita conocer con precisión la distribución espacial del sedimento. Ante esa situación, la empresa eléctrica ENDE Guaracachi S.A. que es la encargada de la operación, mantenimiento y administración de la hidroeléctrica contrata al Centro de Investigación del Agua (CIAGUA) perteneciente a la UAJMS, que en abril del año 2018 ejecuta la batimetría a detalle en el sector de la obra de toma. Posteriormente al siguiente año (2019), también a requerimiento de ENDE Guaracachi.S.A. solicita la batimetría, esta vez para todo el embalse con la finalidad de actualizar las curvas altura-volumen y se realiza también el levantamiento a detalle en el sector de la obra de toma. Con base a estas dos últimas mediciones (2018, 2019) y con la información de las batimetrías de años anteriores, se realiza el análisis de la variación espacial y temporal de los sedimentos en el área cercana a la obra de toma del embalse San Jacinto.

El alcance de este estudio abarca un área parcial del embalse de aproximadamente 5,400 m², en el lugar donde actualmente se emplaza la única toma en funcionamiento del embalse, la misma consta de un túnel de conducción de agua a presión para las turbinas de generación eléctrica y para riego, como también una plataforma de bombeo para el sistema de riego de la zona de La Tablada.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El enfoque utilizado para la presente investigación es el cuantitativo, que como lo menciona (Ramírez Martínez 2013), busca llegar al conocimiento “desde afuera”, y por medio de la medición y el cálculo. Dentro de este enfoque se utilizó el tipo de investigación descriptivo, cuyo objetivo central fue

obtener un primer conocimiento de una situación, ya que permite recabar información para examinar un problema de investigación poco estudiado. A pesar, de que el embalse San Jacinto es la obra de almacenamiento que tiene la mayor cantidad de estudios batimétricos ejecutados, se evidencia que estas mediciones fueron realizadas en su totalidad con la finalidad de actualizar el dato de la capacidad de almacenamiento, y no así de identificar los problemas inducidos por los sedimentos y su influencia en las obras complementarias principales como ser la obra de toma.

Para el desarrollo del presente trabajo se dividió el estudio en 3 etapas: la primera que comprendió en la recopilación de la información disponible de mediciones anteriores, en la segunda se ejecutaron dos levantamientos batimétricos a detalle del sector de estudio, las campañas de medición fueron realizadas en marzo del 2018 y abril del 2019 respectivamente y finalmente la última etapa que fue el procesamiento y análisis de la información para determinar la variación espacial y temporal del sedimentos en el área de estudio.

2.1 DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Se definió el área próxima a la estructura que corresponde a la obra de toma del embalse. El área de estudio es de aproximadamente 5,400 m². La ubicación geográfica de la misma se especifica en el siguiente cuadro:

2.2 RECOPIACIÓN, AJUSTE Y SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Se realizó la recopilación de toda la información disponible de la etapa previo a la construcción del embalse y de los estudios batimétricos ejecutados de todo el embalse.

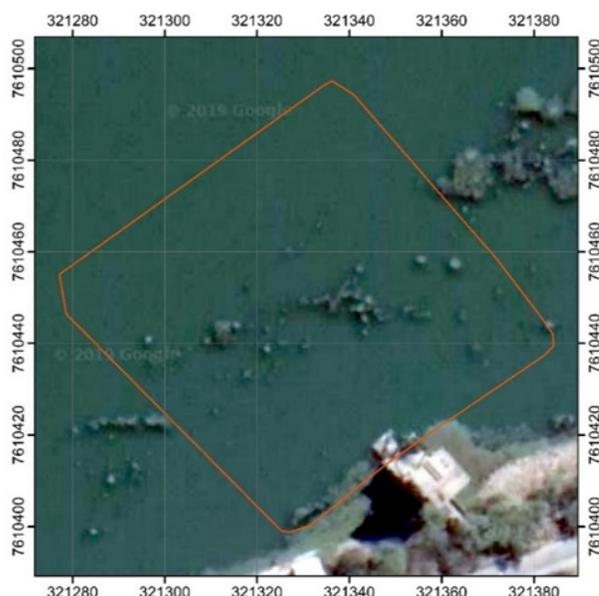
2.2.1 Información Topográfica del área de estudio

En archivos del Proyecto Múltiple San Jacinto se disponía de un plano topográfico de la etapa de

Tabla 1 Ubicación geográfica del área de estudio

	Coordenadas Geográficas	Coordenadas UTM
Obra de Toma	Lat S: 21°36'1.42"	321,356.43 m E
	Long. O: 64°43'32.56"	7,610,412.67 m S
		Zona 20 K

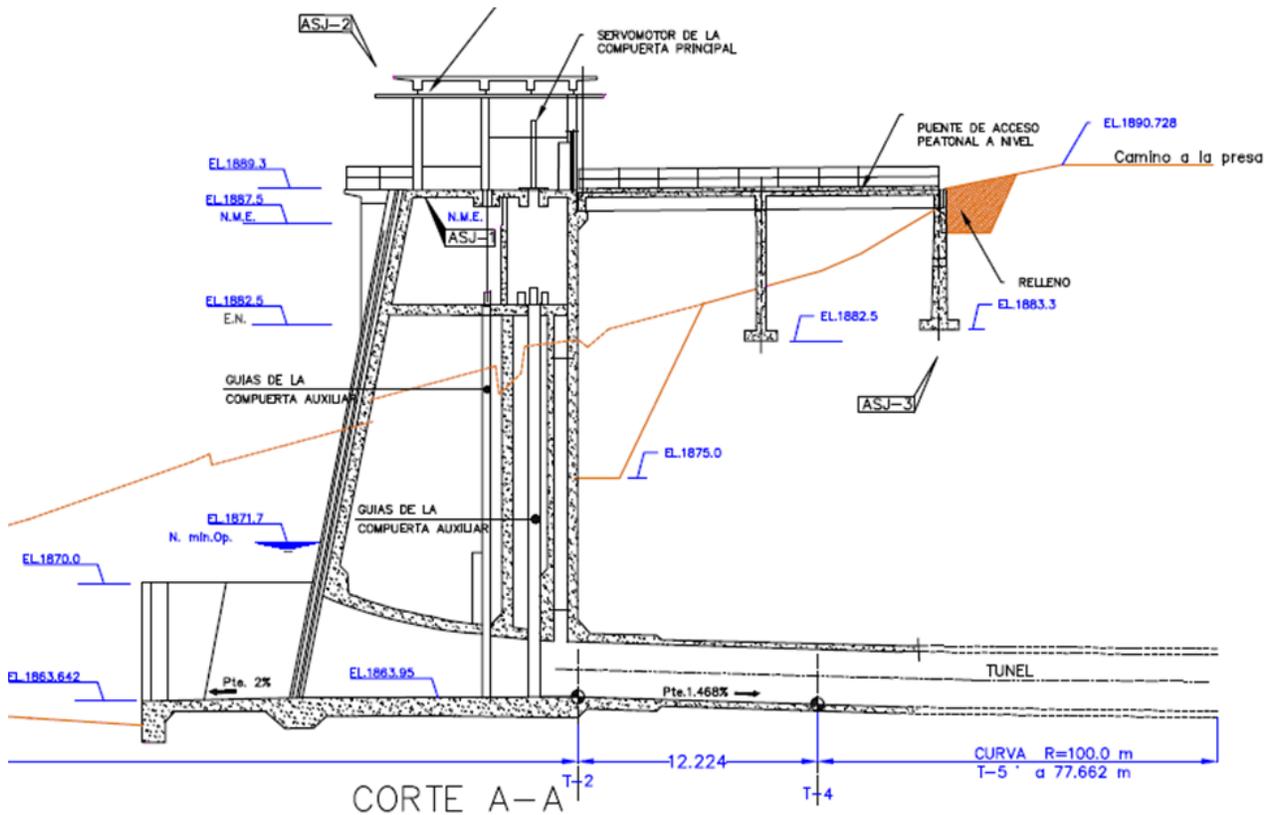
Figura 1. Área de estudio



Fotografía 1 Vista lateral de la obra de toma



Figura 2 Detalle en corte de la obra de toma del embalse San Jacinto



Fuente: Elaboración propia a partir de planos del PMSJ

preinversión del proyecto del sector de la obra de toma, que databa del año 1984, en el cual, se detalla el relieve de este sector antes del llenado del embalse. Se procedió a la digitalización del mismo, y se utilizó esta superficie como situación inicial.

2.2.3 Información batimétrica

El embalse San Jacinto desde el momento de su puesta en operación, uno de los problemas que se identificó fue la cantidad de sedimentos que se depositaba en el vaso de almacenamiento, por este motivo, se realizaron a la fecha seis estudios batimétricos, como se detalla en la Tabla 1.

2.3 CAMPAÑAS DE MEDICIÓN

2.3.1 Batimetría 2018

Para esta primera campaña de medición se trazaron las líneas de sondaje con una separación de un metro en el área anteriormente definida, se ejecutó con esta distancia de separación con el objetivo de conseguir un mayor detalle de la superficie subacuática. Se realizó el preprocesamiento del levantamiento en el

Tabla 2. Batimetrías realizadas en el embalse San Jacinto.

AÑO	Entidad Ejecutora
1989	Servicio Nacional de Hidrografía Naval (SNHN)
1995	Servicio Nacional de Hidrografía Naval (SNHN)
2004	Empresa Consultora CARYGLOBAL S.R.L.
2013	Servicio Nacional de Hidrografía Naval (SNHN)
2016	Servicio Nacional de Hidrografía Naval (SNHN)
2019	Centro de Investigación del Agua Universidad Autónoma Juan Misael Saracho

software hidrográfico Hypack versión 2016 que permite planificar e insertar mapas de seguimiento batimétrico y así se garantizó que el levantamiento sea ejecutado de forma homogénea y abarcando toda el área en estudio.

Se realizó el registro diario de los niveles de agua del embalse durante los trabajos de batimetría, a fin de corregir los sondeos por variación del nivel de agua. Las mediciones de los niveles fueron antes de iniciar el levantamiento y al finalizar el mismo. Se ajustó todo el levantamiento a la red geodésica de monitoreo del embalse, específicamente al punto geodésico monumentado más cercano al área de estudio.

Para la medición de las profundidades se utilizó el equipo Z-boat que cuenta con GPS Vector V320 de Hemisphere, con dos antenas dentro de una cápsula, diseñado para la navegación marina, puede entregar rumbo con una posición de 0.17° y además cabeceo y balanceo con una precisión de 1°. La Ecosonda monohaz CV100, es una ecosonda digital de doble frecuencia, con display a colores para visualización del ecograma, transductor

Tabla 3 Punto Geodésico utilizado para el levantamiento

NOMBRE	ESTE	NORTE	ELEVACIÓN
Tanque PT 040	321,340.360	7,610,313.060	1.931.493

electroacústico del tipo monohaz que permite trabajar hasta 600 metros de profundidad con facilidad y resultados precisos.

También puede recibir correcciones de Atlas que es el sistema de correcciones diferenciales banda L, con ello puede alcanzar una posición de 8 cm RMS

Adicionalmente para calibrar la ecosonda, se utilizó el perfilador acústico Mini SVP que mide la velocidad del sonido de la columna de agua. Este sistema envía los datos de velocidad del sonido vía cable a un dispositivo externo, como también opera autónomamente almacenando la información en la memoria interna. Tiene un rango de medida de 1,375 – 1,900 m/s, una resolución de 0.001 m/s y una precisión de ±0.03 m/s. Soporta un rango

Fotografía 2 Equipo para la medición batimétrica Z-boat

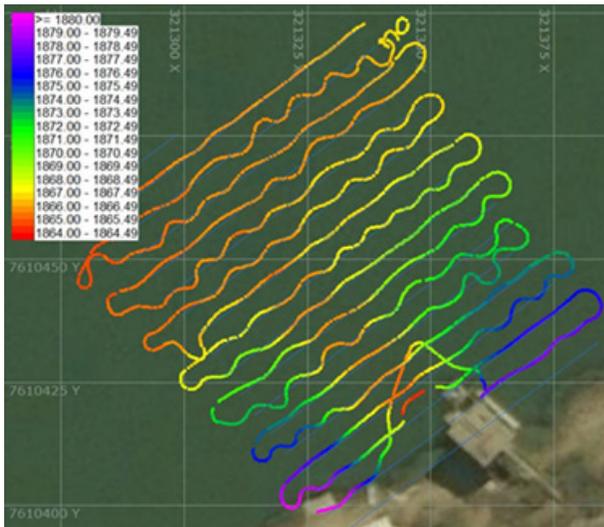


de presión entre los 10-600 Bar, y puede operar eficientemente en temperaturas entre los -5 y 35°C.

2.4. ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE SUPERFICIES A COMPARAR

La información recopilada y generada, fue sometida a un exhaustivo análisis de datos, corrigiendo, adecuando la información, y en algunos casos eliminando datos puntuales considerados incoherentes. Para el caso de la topografía 1984, se digitalizó el plano y se generó el Modelo Digital

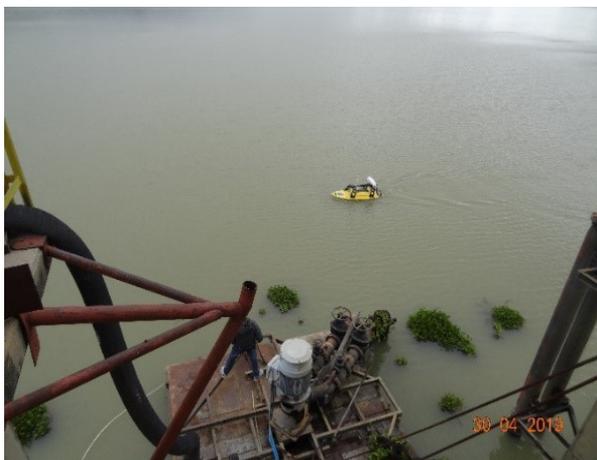
Figura 3. Líneas planeadas y sondajes medidos en batimetría 2018.



2.3.2. Batimetría 2019

La metodología y el equipamiento utilizado para esta segunda medición fueron las mismas que en la batimetría del 2018, pero pese a que la batimetría de 2018 cuenta con alta densidad de puntos y detalle, se decidió realizar las líneas desondaje tanto transversales como perpendiculares al eje del canal de aproximación al túnel de la obra de toma, con el objetivo de densificar aún más los puntos para generar la superficie.

Figura 4. Líneas planeadas y sondajes medidos en batimetría 2019



de Elevación (MDE) en software CAD.

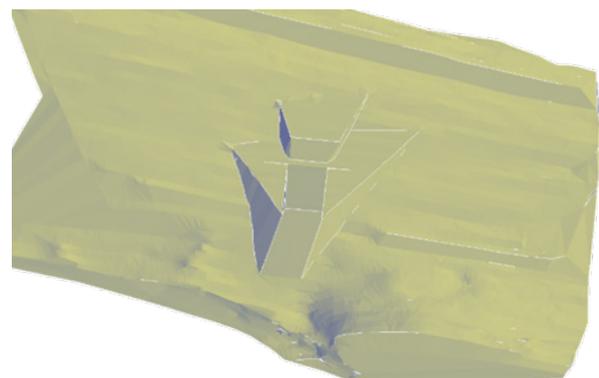
Se realizó el análisis de los levantamientos batimétricos, y se identificó que en el caso de las superficies batimétricas (1989, 1995, 2004), para el sector de la obra de toma, no tienen la precisión ni el detalle para poder ser comparables, debido a que las líneas de sondeo no fueron ejecutadas en el área de estudio y las curvas de nivel en ese sector eran resultado de un proceso de interpolación.

A pesar, de que las batimetrías del 2013 y 2016 presentan un mayor detalle, la precisión no es suficiente para ser incluidas en los análisis, por lo que, también fueron descartadas por la baja densidad de puntos en la zona de estudio.

Por tal motivo, para el presente análisis se trabajó con las superficies 1984 (topografía inicial) y las batimetrías de 2018 y 2019.

De cada una de estas tres superficies se generó el Modelo Digital de Profundidades (MDP), para la interpolación de los puntos y generación de curvas de nivel. Posteriormente se generó el modelo digital de elevación (MDE) de tipo vectorial TIN (triangulated irregular network, por sus siglas en inglés) del lecho subacuático. Teniendo tres superficies comparables que nos permitan

Figura 5. Morfología del relieve según la topografía de 1984



identificar la variación espacial y temporal del sedimento en los periodos 1984 – 2018 – 2019.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se expondrán y se discutirán los resultados, identificando principalmente la evolución de los sedimentos temporalmente y su patrón de distribución espacialmente.

3.1 VARIACIÓN TEMPORAL DEL VOLUMEN DE SEDIMENTOS

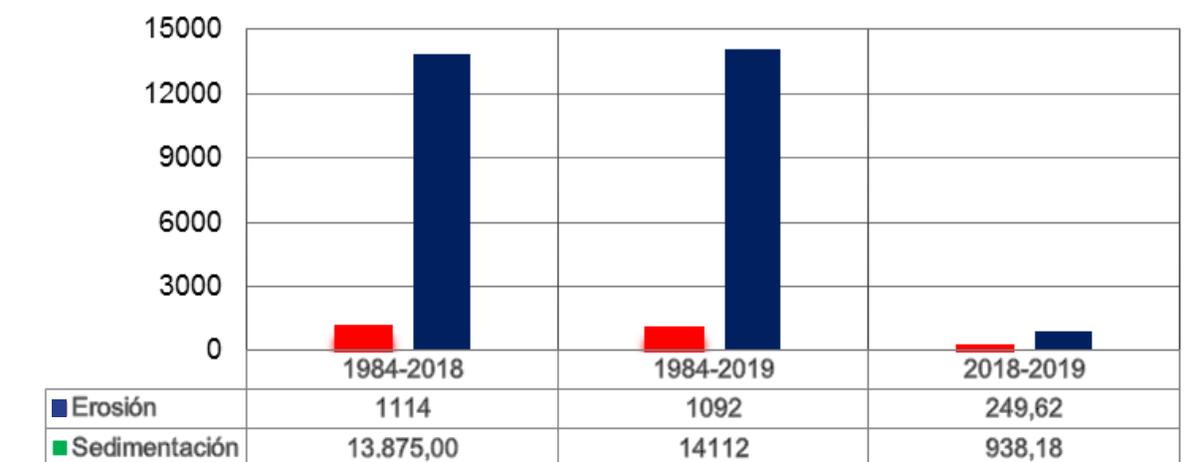
Con las tres superficies generadas se cuantificaron los volúmenes de los procesos ocurridos, ya sea sedimentación, y si fuera el caso desgaste o erosión.

Los volúmenes de deposición en el área indican que hubo un severo proceso de sedimentación durante estos 30 años de operación del embalse San Jacinto. Considerando este primer periodo 1984-2018 se evidencia que existió un ingreso de sedimento anual de 478.45 m³. También analizando el periodo 2018-

Tabla 4.
Volúmenes Erosión – Sedimentación

Proceso	1984 - 2018 Volumen (m ³)	1984 - 2019 Volumen (m ³)	2018-2019 Volumen (m ³)
Erosión	1,114.00	1,092.00	249.62
Sedimentación	13,875.00	14,112.00	938.18

Figura 6.
Variación temporal del sedimento en el sector de la obra de toma en m³.



2019 se observa que se incrementó la cantidad de sedimento en 938 m³, cantidad importante si se toma en cuenta que solamente es un año y el valor es casi el doble del promedio anual del periodo 1984-2018.

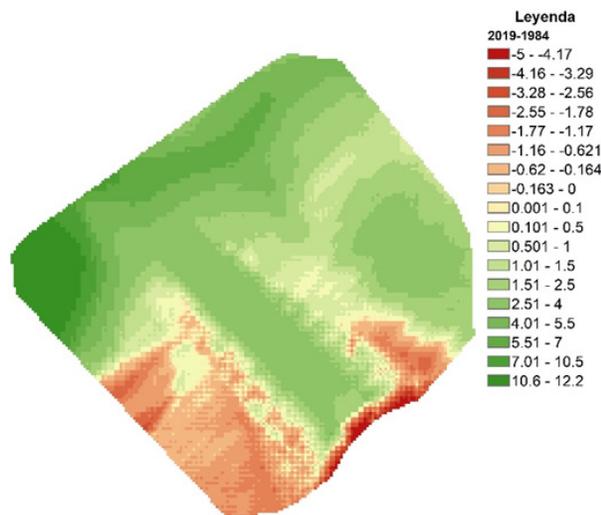
3.2 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL SEDIMENTO ACUMULADO EN LA OBRA DE TOMA

Para determinar la distribución espacial de sedimento en el área de estudio se generaron los modelos digitales del terreno de tres superficies, la de 1984, 2018 y 2019 respectivamente. Se crearon los modelos de terreno digital (DEM) y a partir de estos, se generó una superficie rasterizada de cuadrícula 0.5 x 0.5 m² para cada superficie.

En el área de estudio se observa que el sedimento depositado tiene espesores que van desde los centímetros a los 12 metros. También se aprecia que se generó procesos de erosión en las laderas, donde los valores máximos se presentaron en la zona donde se construyó el puente de acceso a la obra de toma.

El sector que corresponde al canal de ingreso a la bocatoma presenta zonas de sedimentación de 2 a 4 metros de espesor. Analizando patrón de deposición longitudinal en la zona de estudio que el sedimento en estos últimos años se incrementa

Figura 7 Distribución espacial del sedimento depositado en el sector de la obra de toma Periodo 1984 -2019

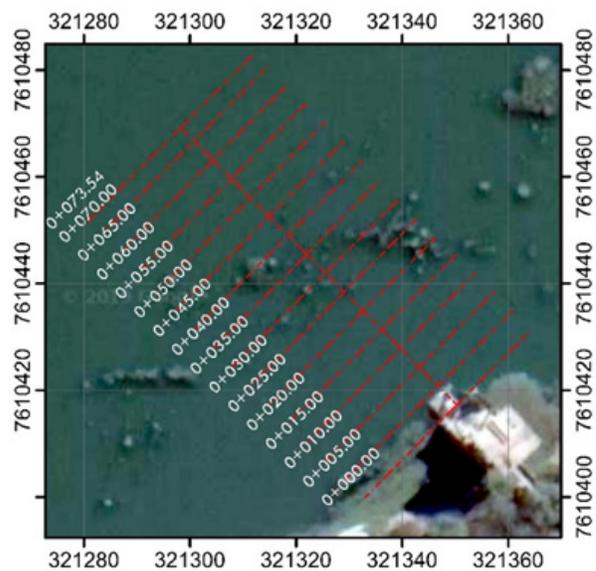


de manera uniforme y laminar. Esta característica morfológica suele estar causada por el transporte de sedimentos finos por la corriente de turbidez.

3.3. ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DE NIVELES DE SEDIMENTO DEPOSITADO

Se realizó el análisis de la evolución de niveles del sedimento mediante secciones longitudinales y transversales al eje del túnel de captación de agua.

Figura 8. Perfil longitudinal y perfiles transversales



3.3.1 Comparación de superficies 1984 – 2018

Se analizó el perfil longitudinal de las superficies de 1984 como superficie inicial y la batimetría de 2018, donde se pudo evidenciar la cantidad de sedimento depositado en la zona, observándose un incremento en las alturas de sedimento hasta de 7 metros.

En la progresiva 0+010 se encuentra ubicado un canal de hormigón que funciona como canal de aproximación al túnel de derivación, y se observa que se tiene un espesor de dos metros aproximadamente por encima de la solera.

Figura 9.
Perfil longitudinal de las superficies 1984 y 2019.

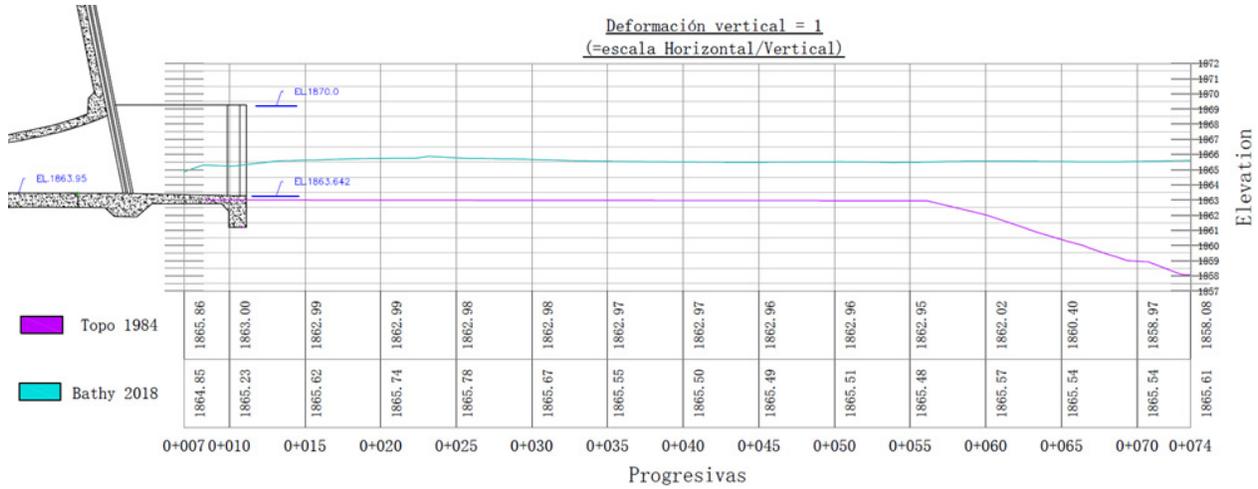


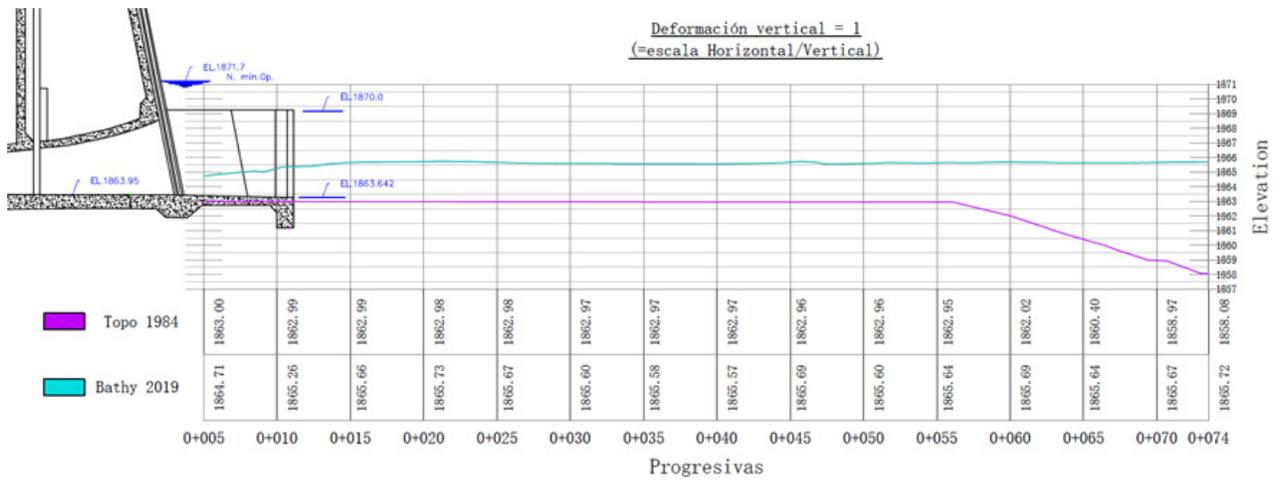
Figura 10.
Comparación de secciones transversales topografía de 1984 y batimetría 2018 Progresiva 0+010 - 0+070.



3.3.2. Comparación de superficies 1984 – 2019

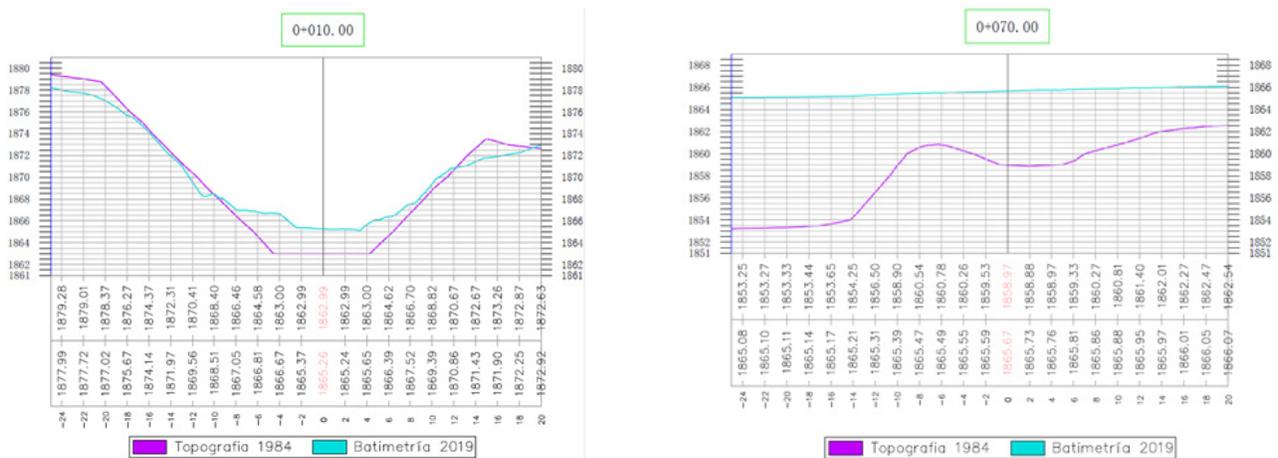
Al incluir líneas de sondeo paralelas al perfil longitudinal, se evidencia una mejora de la representación de la superficie, donde se presenta una superficie no tan plana como en la batimetría 2018.

Figura 11. Perfil longitudinal de las superficies 1984 y 2019.



La distribución del sedimento en el área de estudio sigue el patrón representado en la batimetría del 2018. Como se evidencia en el análisis de las secciones transversales

Figura 12
Comparación de secciones transversales topografía de 1984 y batimetría 2019. Progresiva 0+010 y 0+070.



3.3.3. Comparación entre superficies 2018 – 2019

Como se mencionó anteriormente el incremento de líneas de sondeos perpendiculares mejoró la representación de la superficie, esto se evidencia al comparar las dos batimetrías ejecutadas en 2018 y 2019 respectivamente.

La diferencia de niveles es de décimetros, identificando que en el periodo se presentó una sedimentación en la zona de manera uniforme.

Figura 13.
Comparación de perfiles longitudinal de las superficies batimétricas de 2018 y 2019.

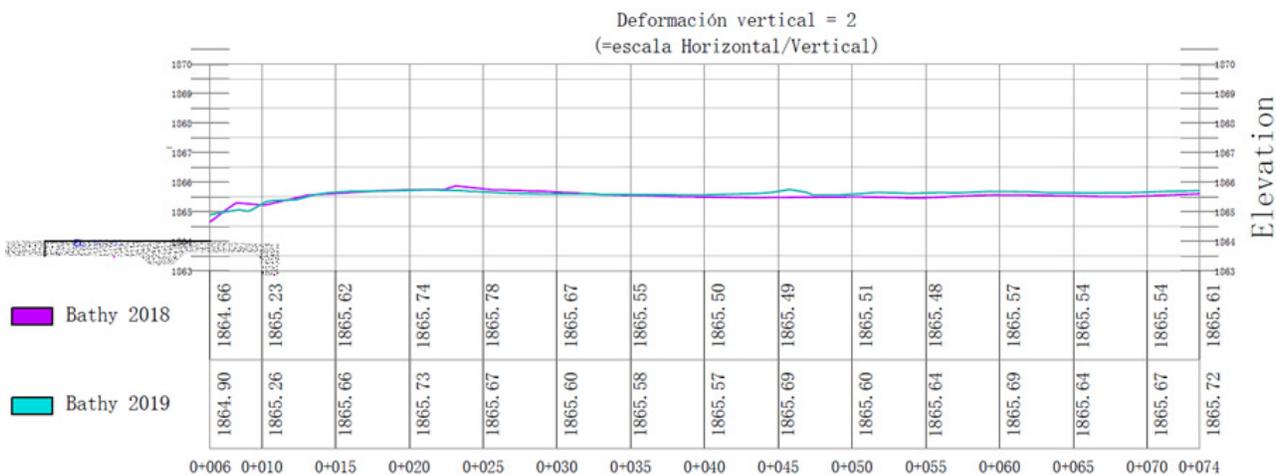
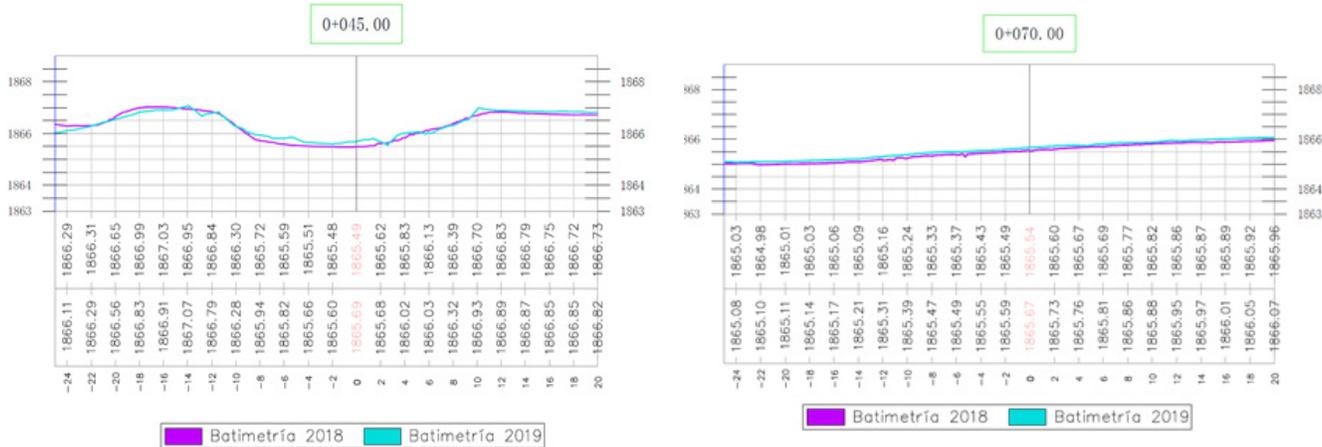


Figura 14
Comparación de sección transversales batimétricas de 2018 y 2019. Progresiva 0+045 y 0+070.



3.4 DIFICULTADES Y LIMITACIONES

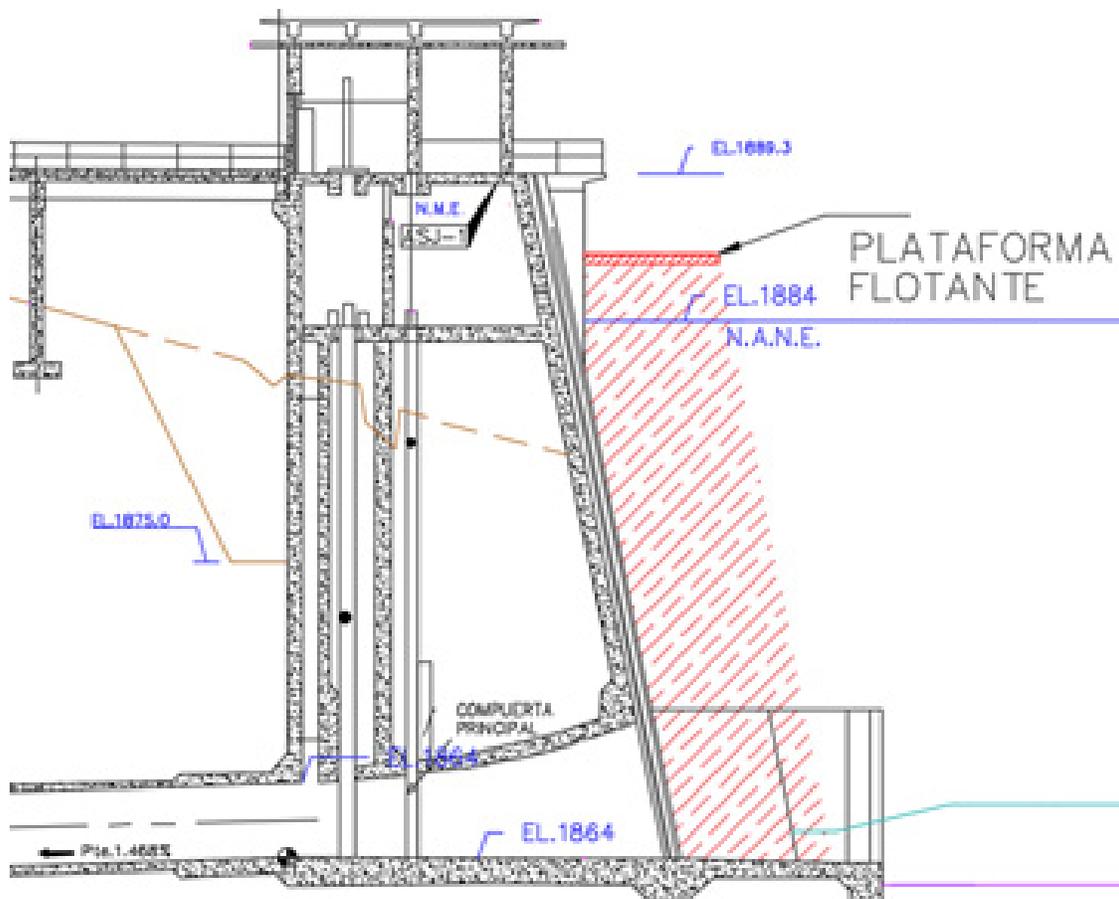
Durante la ejecución de las mediciones se presentaron algunas dificultades y limitaciones que perjudicaron el normal desarrollo de las mismas. En los últimos años se evidenció la proliferación de la vegetación flotante en el embalse San Jacinto, esto impidió la ejecución de algunas líneas de sondeo próximas a la estructura de hormigón de la toma, como también a las zonas cercanas al talud de las riberas del embalse, y en varias ocasiones fue preciso interrumpir el levantamiento por la cantidad de raíces que quedaban enredadas en las hélices de la embarcación.

Fotografía 4 Dificultades durante el levantamiento batimétrico 2018



La plataforma flotante (Fotografía 5) que aloja a las bombas hidráulicas, se encuentra ubicada encima de la bocatoma e impide se pueda realizar las mediciones de profundidades por debajo de este importante sector.

Figura 15. Zona de incertidumbre debido a la imposibilidad de realizar mediciones



Fotografía 5. Plataforma flotante de bombeo.



4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

Haciendo un comparativa minuciosa entre la topografía 1984 y la batimetría 2018 y 2019, y considerando la variación espacial y temporal del sedimento en el sector de la obra de toma del embalse San Jacinto se puede concluir:

En toda la longitud del canal de tierra de aproximación a la bocatoma se tiene un nivel de sedimento de 1866 msnm, tres metros por encima del nivel de construcción que era de 1863 msnm.

En proximidades del ingreso a la bocatoma, el nivel de sedimentos se encuentra peligrosamente cerca del ingreso al túnel de aducción, actualmente se encuentra a dos metros por encima de la solera del canal de hormigón construido, cuyo nivel de este en sus inicios era de 1864 msnm. Cabe aclarar que no se pudo obtener detalle de los niveles de sedimentos que se encuentran justo por debajo de la plataforma flotante que aloja las bombas eléctricas por la imposibilidad de realizar las mediciones en este

sector como se detalla de manera gráfica en la Figura 15.

Además, se evidencia un desgaste importante en los taludes del sector en estudio, dicho proceso puede deberse a que el agua se encuentra en constante contacto con el material y este lentamente con el paso del tiempo y el intemperismo genera movimientos de partículas.

Se encontró también, mediante análisis de secciones transversales y longitudinales al eje del túnel, de las batimetrías 1984, 2018 y 2019, y analizando patrón de deposición longitudinal en la zona de estudio que el sedimento en estos últimos años se incrementa de manera uniforme y laminar. Esta característica morfológica suele estar causada por el transporte de sedimentos finos por la corriente de turbidez. También se encuentra en embalses en los que el transporte de sedimentos finos es grande, así como en embalses que funcionan con un nivel de agua bajo durante las crecidas (esto provoca el transporte y la deposición de sedimentos cerca de la zona de la presa.

El incremento de líneas de sondeo paralelas y perpendiculares mejoró la representación de la superficie subacuática de la zona, permitió identificar el patrón de deposición y el incremento del sedimento durante el periodo de un año, es decir que este fenómeno se presenta de manera uniforme en el área y peligrosamente está cerca del túnel y de la compuerta de operación.

Esto permite inferir que la disminución de la sección que produce la deposición el sedimento está generando una modificación al funcionamiento hidráulico de la obra de toma, disminuyendo su eficiencia hidráulica.

Adicionalmente, afecta a los componentes alojados en el túnel como ser la compuerta auxiliar y principal de operación.

4.2 RECOMENDACIONES

Es necesario realizar el monitoreo de manera periódica, es decir de manera anual o bianual en las estructuras complementarias más importantes dentro del sistema como es la obra de toma y las compuertas de desfogue de fondo, ya que el sedimento acarrea un importante riesgo en la operación de las mismas y afecta en la eficiencia hidráulica de las mismas.

Se requiere complementar estudios para determinar el grado de compactación de los sedimentos que se encuentran ubicados cerca al túnel de la obra de toma, para así poder planificar la extracción de los mismos ya sea por medios mecánicos o manuales.

Para obtener una mayor precisión en los resultados de los procesos ocurridos (sedimentación/erosión) es importante que al momento de las mediciones se realice una limpieza de las plantas acuáticas del sector y del retiro momentáneo de la plataforma flotante de bombeo.

BIBLIOGRAFÍA

Benítez Reynoso, Alberto. 2006. «Evaluación del método de predicción y de las medidas de control de la sedimentación en el embalse San Jacinto».

Carpio, Jorge Molina, Carlos Herbas Camacho, y Javier Mendoza Rodríguez. 2002. «Valoración hidrológica de las cuencas de los ríos Tolomosa y La Vitoria». 110.

CaryGlobal. 2004. Batimetría del Lago San Jacinto.

Central Water Commission. 2019.

Handbook for Assessing and Managing Reservoir Sedimentation. India.

CODETAR. 1995. Control de sedimentos en la cuenca del río Tolomosa. Tarija.

López-Moreno, Juan I., Santiago Beguería, Blas L. Valero-Garcés, y José María García-Ruiz. 2003. «Intensidad de las avenidas y aterramiento de embalses en el Pirineo Central español».

Ramírez Martínez, Ivonne Fabiana. 2013. Apuntes de metodología de la investigación: Un enfoque crítico. 4ta Edición. Sucre - Bolivia.

SHN. 1989. Estudio hidrográfico del embalse San Jacinto. Servicio de Hidrografía Naval.

SHN. 1995. Estudio hidrográfico del embalse San Jacinto. Servicio de Hidrografía Naval.

SNHN. 2013. Análisis batimétrico del Lago San Jacinto.

SNHN. 2016. Servicio de batimetría del embalse de la presa San Jacinto.

Valero-Garcés, Blas, A. Navas, y Javier Gayarre. 2013. «Una aproximación sedimentológica al aterramiento de embalses y la erosión en cuencas de montaña: el embalse de Barasona y la cuenca de Esera-Isábera (Pirineos centrales, Huesca)». Cuadernos de Investigación Geográfica 22. doi: 10.18172/cig.1040.