

**PLAN PARA EL ADECUADO  
MANEJO DE SEDIMENTOS, QUE  
PERMITE INCREMENTAR LA  
VIDA ÚTIL DEL EMBALSE LA  
ESMERALDA**

**PLAN FOR THE ADAPTED  
HANDLING OF SEDIMENTS,  
THAT ALLOWS TO INCREASE  
THE LIFE UTILITY OF THE DAM  
THE EMERALD**

**PLANO PARA O ADEQUADO  
MANUSEIO DE SEDIMENTOS,  
QUE PERMITE AUMENTAR  
A VIDA ÚTIL DA BARRAGEM  
A ESMERALDA**

**Ing. Esp. Germán Ricardo Becerra Murcia,**  
Especialista en Gerencia,  
Universidad Externado de Colombia  
[german.becerra@aes.com](mailto:german.becerra@aes.com)

Fecha de recepción: 31 de agosto 2017  
Fecha de aprobación: 02 de mayo 2018

## Resumen

La acumulación de sedimentos en los embalses es una de las problemáticas que más aquejan a las centrales hidroeléctricas. Los sedimentos transportados pueden llegar a obstruir las bocas de toma en las presas y generar efectos abrasivos en las turbinas de generación, en sus componentes de operación y en las estructuras de concreto (Becerra, Alarcón, Salavarieta, & Fuquen, 2015). En foros e investigaciones académicas recientes, se ha resaltado la gestión de sedimentos como el reto inmediato ha ser enfrentado por los generadores de energía alrededor del mundo (Sánchez & Fuquen, 2013). Colombia no es ajena a este problema, considerando que tiene cerca de 11000 MW de capacidad instalada en generación hidroeléctrica. Este trabajo no solamente sirve como ejemplo para hidroeléctricas a nivel mundial, sino que establece un hito en la historia para manejo de embalses en el país y en el continente. En este artículo se hace un resumen del plan de acción ejecutado desde el año 2016, como parte de la estrategia trazada por AES Chivor para la adecuada gestión de sedimentos en el embalse. Aplicando el Plan de Manejo de Sedimentos - PMS se permitirá extender la vida útil del proyecto como mínimo otros 50 años (hasta el año 2070), y que permitirá mantener el EBITDA de la compañía durante el periodo adicional previsto de operación.

**Palabras clave:** Sedimentos, Embalse, Hidroeléctrica, Plan de Manejo de Sedimentos.

## Abstract

Accumulation of sediments in the dams is one of the problematic ones that afflict more to the hydroelectric power stations. The transported sediments can arrive to obstruct the mouths of taking in the prey and to generate abrasive effects in the turbines of generation, their components of operation and the structures of concrete (Yearling calf, Alarcón, Salavarieta, & Fuquen, 2015). In recent forums and academic investigations, the management of sediments like the challenge immediate to being faced by the generators around the world has been emphasized (Sanchez & Fuquen, 2013). Colombia is not other people's to this problem, whereas clause that it has near 11000 MW of capacity installed in hydroelectric generation. This work not only serves like example for hydroelectric at world-wide level, but it establishes a landmark in history for handling of dams in the country and the continent. In this article a summary becomes of the plan of action executed from year 2016, as it leaves from the strategy drawn up by AES Chivor for the suitable management of sediments in the dam. Applying the Plan of Handling of Sediments - PMS will be allowed to extend the life utility of the project like minimum other 50 years (until year 2070), and that will allow to maintain the EBITDA of the company during the anticipated additional period of operation.

**Key words.** Sediments, Dam, Hydroelectric, Plan of Handling of Sediments.

## Resumo

A acumulação de sedimentos nas barragens é uma das problemáticas que afligem mais às centrais hidro-électricas. Os sedimentos transportados podem chegar a obstruir as bocas de tomada nos prisioneiros e produzir dos efeitos abrasivos as turbinas de geração, sobre os seus componentes de operação e nas estruturas de concretos (Becerra, Alarcón, Salavarieta, et Fuquen, 2015). Em fóruns e

investigações académicas recentes, sublinhou-se a gestão de sedimentos como o desafio imediato a fazer face pelos geradores de energia em redor do mundo (Sanchez e Fuquen, 2013). A Colômbia não é estrangeira à este problema, considerando que tem cerca de 11000 MW de capacidade instalada em geração hydro-électrique. Este trabalho não somente serve como exemplo para hydro-électriques ao nível mundial, mas estabelece um ponto de marcador na história para manuseio de barragens no país e o continente. Neste artigo faz um resumo do plano de ação executado desde o ano 2016, como uma parte da estratégia traçada por AES Chivor para a adequada gestão de sedimentos na barragem. Aplicando o Plano de Manuseio de sedimentos - PMS permitirá-se estender a vida útil do projeto pelo menos 50 outros anos (até ao ano 2070), e que permitirá manter o EBITDA da companhia durante o período adicional previsto d'opération.

**Palavras chave.** Sedimentos, Barragem, Hydro-électrique, Plano de Manuseio de sedimentos



## I. INTRODUCCIÓN

La generación hidroeléctrica, además de los grandes beneficios por ser una fuente sustentable de generación de energía con una mínima generación de emisiones y una alta sostenibilidad en su operación, permite planes de generación a largo plazo, por la robustez en la que es concebida y sus estándares de operación y mantenimiento. Sin embargo, uno de los retos que han enfrentado los operadores de centrales hidroeléctricas, que plantea grandes riesgos para la continuidad operativa de este tipo de infraestructura, es la acumulación natural de sedimentos en los embalses, producto del transporte progresivo por las corrientes de río que los alimentan. Estos sedimentos ponen en riesgo las operaciones de generación hidroeléctrica bajo operaciones óptimas por diversas razones entre las que se pueden enumerar las siguientes (Sánchez & Fuquen, 2013):

- Desgaste abrasivo de los sistemas de generación (turbinas, boquillas, agujas, etc) debida a la carga sedimentaria de los afluentes que ingresan a la presa para su operación.

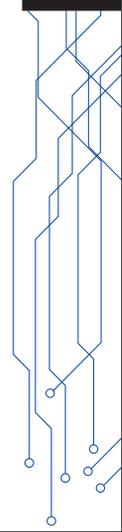
- Obstrucción parcial o total de las bocatomas recolectoras de afluentes por arenas y sedimentos.
- Disminución en la capacidad de almacenamiento de recurso hídrico en el embalse por acumulación de sedimentos en el fondo del reservorio.

La acumulación de sedimentos no había sido contemplada como un gran riesgo, hasta que en las últimas décadas los grandes centros de generación hidroeléctrica alrededor del mundo empezaron a enfrentar problemas relacionados con la progresiva acumulación sedimentaria en sus embalses, lo que motivó grandes esfuerzos de investigación aplicada, que han dado como resultado un acervo de recursos en el estado del arte y políticas públicas lideradas por el Banco Mundial, para lo que se ha denominado una eficiente gestión de los sedimentos (World Bank, 2003).

## II. ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA

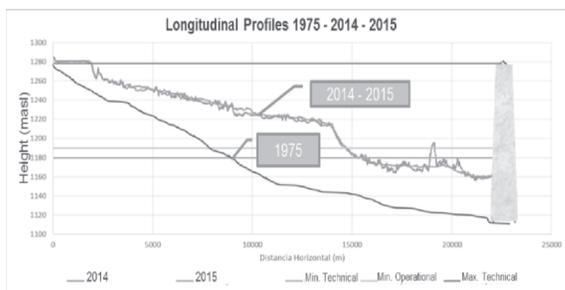
### 2.1 Caso AES Chivor

El aprovechamiento de los embalses de manera sostenible bajo su óptimo operacional no está



garantizado a largo plazo. En el caso de este proyecto hidroeléctrico, el embalse La Esmeralda cuyo llenado se inició hace 39 años y que permite la generación de 1000 MW de energía a la Central AES-Chivor, presenta un estado de sedimentación que ha demandado un proceso de planeación anticipada de estrategias orientadas a controlar la concentración de sedimentos tanto en el embalse como hacia las turbinas manteniendo la operación continua de la instalación.

Desde el inicio del llenado del Embalse La Esmeralda en 1975 hasta el año 2015, se ha tenido una reducción del volumen total equivalente al 18%, reducción del volumen útil del 14%, y reducción del volumen muerto del 80%. A continuación el comparativo del perfil longitudinal de la deposición de sedimentos desde el sitio presa hasta la cola del embalse,



**Figura 1.** Perfil de deposición de sedimentos – Embalse La Esmeralda.  
Fuente: AES Chivor

Luego de caracterizar el problema desde 2007, se plantearon algunas alternativas, que luego de realizar su análisis en 2014 mediante un panel de expertos internacionales y nacionales, se determinó un Plan de Gestión de Sedimentos en el embalse La Esmeralda. En 2015 se detalló y amplió el alcance de dicho Plan, incluyendo acciones tendientes a obtener información relevante de los principales cuerpos de agua aportantes, y de las desviaciones al embalse en mención.

Por lo anterior, y específicamente en el año 2016 estas estrategias estuvieron orientadas a:

1. Caracterización de los sedimentos depositados en el Embalse La Esmeralda: Captura de información.
2. Diseño e implementación de Sistemas para Monitoreo, Manejo y Control de material pétreo o vegetal que impacte la generación de la Central Chivor o de la PCH Tunjita.
3. Primeros pasos para la elaboración de un marco regulatorio para la gestión de sedimentos en embalses en Colombia.

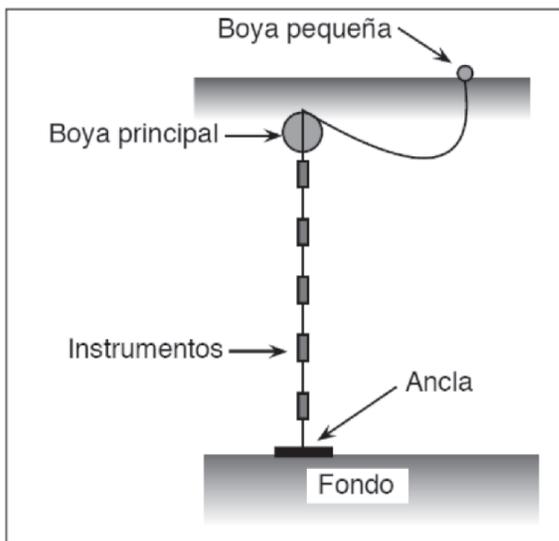
### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 INSTALACIÓN DE SISTEMAS PARA CARACTERIZACIÓN Y MEDICIÓN DE SEDIMENTOS

Luego de los estudios previos realizados entre los años 2014 y 2015 a través de los cuales se caracterizó de manera granulométrica y mineralógica los sedimentos depositados en el embalse La Esmeralda, uno de los retos al que se enfrentó el equipo de ingeniería de la Central, fue lograr caracterizar solamente el tipo de sedimento depositado en la zona de bocatomas, por ser ésta parte del embalse la más susceptible a ser impactada, así como poder caracterizar la manera en que se realiza el proceso de depósito de dicho material. Para ello, se hizo necesario medir parámetros en ésta región del embalse, como temperatura, presión y turbidez, que permitieran luego de dos a tres años de registros, levantar el perfil sedimentológico de la zona a fin de realizar propuestas de manejo al respecto (Manejo Sostenible de Sedimentos Embalse La Esmeralda Diciembre 2013 - Gregory L. Morris, PE., PhD).

Como parte del proceso de desarrollo en este proyecto, se realizó la instalación de un sistema

de lectura de valores multiparamétricos en línea, con el fin de crear el mencionado perfil sedimentológico en la zona de las bocatomas, de manera que pudieran ser observados en tiempo real, a través del sistema de control de la planta SCADA. Para lograr este propósito, fue necesaria la construcción de dos estructuras metálicas que sostendrían los equipos de traslado y posicionamiento remoto de tres sondas sumergidas a diferente nivel (10%, 40% y 70 % del volumen útil del embalse), sobre la zona de ubicación de las bocatomas (Ver Figura 2.). De forma complementaria, esta misma estructura sostendría un sistema de bombeo, compuesta por dos bombas tipo lapicero para obtener muestras de agua del embalse, que fueran posteriormente procesadas con el propósito de obtener valores de concentración total de sedimentos en suspensión por medio de evaporación, y de esta manera, poder correlacionar las lecturas de los sensores con las tomadas a partir de las muestras.



**Figura 2.** Esquema de instalación de instrumentos.  
Fuente: Manejo Sostenible de Sedimentos Embalse La Esmeralda  
Diciembre 2013 - Gregory L. Morris, PE., PhD

Uno de los mayores retos en este proyecto, fue encontrar una solución que permitiera obtener las mediciones adecuadas por medio de equipos

especializados de acuerdo a las necesidades y condiciones particulares del embalse La Esmeralda. Su complejidad radicó en que este sistema es el primero en ser instalado en un embalse de este tamaño en Colombia, representando un gran reto en términos tecnológicos y logísticos en nuestro país.

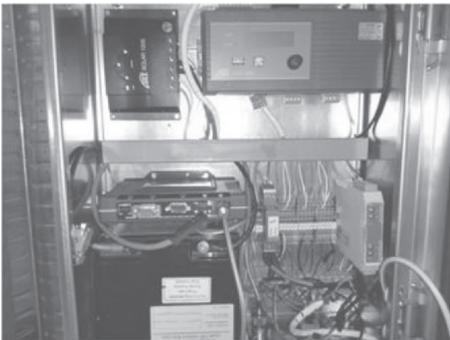
Contar con un sistema en línea, diseñar la estructura más adecuada para el soporte de los sensores y cableado de fuerza y control, y pruebas durante operación, han sido parte de los desafíos encontrados en ésta etapa. Una muestra del proceso de instalación se puede observar en la Figura 2.

De esta manera AES Chivor se convierte en pionera en la medición en línea de éstos parámetros, lo cual permite a corto plazo la implementación de un sistema de alertas tempranas ante la eventualidad de crecientes o tránsito de sedimentos por niveles altos de los ríos aportantes al embalse La Esmeralda o cualquier embalse en condiciones semejantes. A continuación se pueden apreciar los sensores, sistema de izaje asociado y equipos de recolección de datos que componen el sistema multiparamétrico en mención (Ver Figuras 3 y 4.), y cuyas lecturas se registran en el sistema SCADA de la Central Chivor.





**Figura 3.** Sensores y cableado instalado.  
Fuente: Elaboración Propia

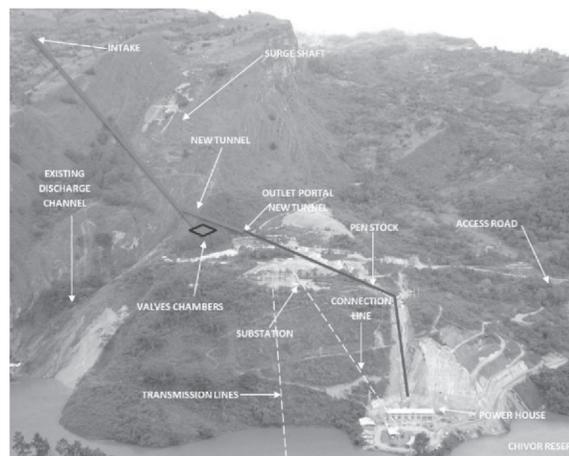


**Figura 4.** Sistema de izaje y Equipos de recolección de datos.  
Fuente: Elaboración propia

### 3.2 SISTEMA DE MONITORES, MANEJO Y CONTROL DE MATERIAL PETREO U OTRO QUE PUEDA AFECTAR LA OPERACIÓN

Parte del problema que representan los sedimentos y los demás materiales sueltos como material vegetal de porte bajo y porte grueso, provenientes de las laderas o ríos aportantes a los embalses, se encuentra el control y monitoreo de éstos para poder evitar su acumulación en estructuras sensibles (como la toma o conducciones) impidiendo de esta forma que se vean obstruidas y obliguen a salir de servicio a cualquiera de las Centrales de Generación.

Con esta premisa, se dio inicio en 2016 al proceso de generación de energía en la Pequeña Central Hidroeléctrica (PCH Tunjita). Se estableció para este proceso, que uno de los principales retos que contribuiría a afianzar la confiabilidad y continuidad de la operatividad del embalse Tunjita, sería la gestión de material vegetal que llega al embalse en época de invierno por sus tres afluentes, río Tunjita, Quebrada El Pino y Quebrada Honda, y que una vez cerca de la estructura de captación se limitará el ingreso de agua al túnel de carga.



**Figura 6.a.** Componentes principales - PCH Tunjita.  
Fuente: Elaboración Propia

Partiendo del hecho que los aportes de material vegetal al embalse serán recurrentes durante la temporada de lluvias, se inició el análisis y consideración de las alternativas para la gestión de dicho material en el embalse Tunjita. En principio se optó por diseñar e instalar un rastrillo electromecánico que limpiará y retirará el material vegetal que se alojaba en las rejillas de la estructura de captación; sin embargo, esta alternativa se consideró una solución reactiva y no contribuía a la reducción o eliminación del problema.

Por esta causa, las alternativas se redireccionaron a buscar soluciones o mecanismos de prevención, generando como solución el diseño y construcción de un sistema lineal de retención sobre el río Tunjita (Ver Figura 6.), que ha sido identificado como el principal afluente y aportante de material vegetal al embalse.



**Figura 6.b.** Sistema de retención sobre el río Tunjita.  
Fuente: Elaboración Propia

Teniendo en cuenta el mismo concepto de sistema desarrollado para el río Tunjita, se definió el diseño para instalar un nuevo sistema de retención alrededor de la estructura de captación del embalse Tunjita y así restringir la llegada de material vegetal a las rejillas de la bocatoma desde las quebradas El Pino y Honda buscando en estos diseños nuevas metodologías y materiales.

Se instaló el Sistema de retención de material vegetal alrededor de la bocatoma (Ver Figura 7), cuyo mecanismo fue construido por medio de módulos flotantes, con propiedades físico mecánicas que se acomodaban a las necesidades del entorno. Este sistema también lo integró un dispositivo basculante que le permite oscilar con el nivel del embalse; además, su estructura incluye una malla de retención sumergida para retener material coloidal, y elementos de suspensión que serán utilizados cuando el embalse esté fuera de servicio.

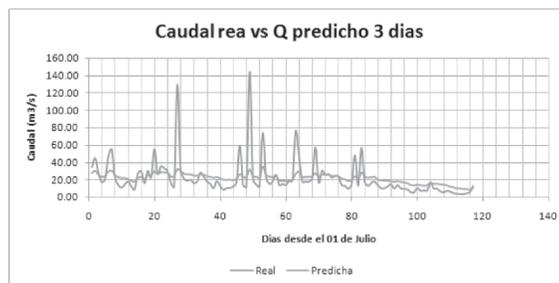
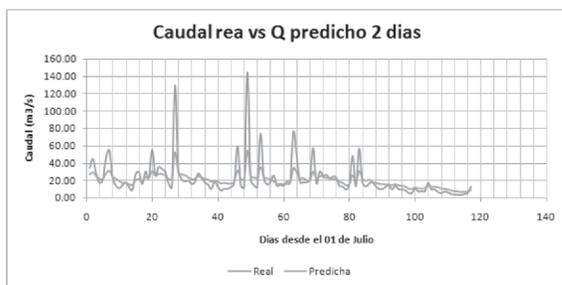
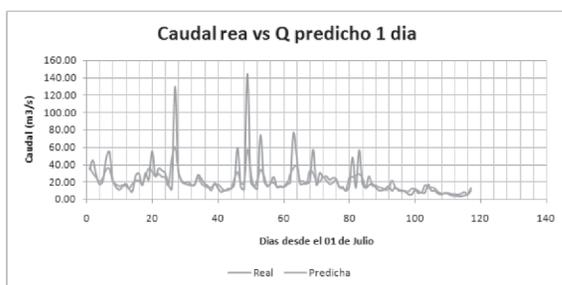
Una de las ventajas del sistema diseñado, es que permite que el personal realice labores de limpieza apoyándose sobre su estructura.



**Figura 7.** Sistema de retención en la zona de bocatoma – Embalse Tunjita.  
Fuente: Elaboración Propia

Adicionalmente, en el primer semestre de 2016, se desarrolló un Modelo de Pronóstico de Caudales Diarios de Tunjita, el cual permite la correcta y óptima operación de la PCH asociada a dicho embalse, y la correcta gestión de sedimentos depositado allí, ya que la predicción de la cantidad de oferta hídrica, permitirá estar preparados para retirar de manera oportuna los materiales que el sistema de retención contenga. El modelo permite predecir bajo una ventana de 5 días con énfasis operacional a dos días, los caudales afluentes al embalse, basado en el comportamiento de los días anteriores y algoritmos desarrollados mediante la metodología de cálculo de Redes Neuronales Artificiales o RNA.

De acuerdo a los resultados obtenidos, la predicción mejora entre más cercano sea el evento a la fecha de ejecución del modelo. Es decir, siendo T el día cuando se corre el modelo, la predicción del día T+1 tendrá menor incertidumbre que la del T+2 y así sucesivamente. Esto no quiere decir que la predicción del día T+5 no sea útil, ya que se puede predecir el comportamiento esperado y la tendencia de las afluencias que cubre el horizonte de pronóstico.



**Figura 8.** Resultados de los modelos de pronóstico. Afluencia real versus predicha. Fuente: Elaboración Propia

Como se puede apreciar en la figura 8., el modelo RNA se comporta de manera adecuada para el horizonte de 1 y dos días. En los horizontes de tres a cinco días generan buenos resultados para los caudales medios y mínimos, pero con limitaciones para estimar los caudales extraordinarios o muy altos.

### 3.3 ACTIVIDADES DE MANEJO COMPELEMENTARIAS

Como parte integral del manejo de sedimentos, se cuenta con un programa quinquenal para la Protección y Conservación de la cuenca del río Batá, el cual fue formulado en el año 2015 y al año siguiente inició su ejecución.

Para los cinco primeros años, el programa está compuesto por tres (3) líneas de acción principales:

1. Protección de áreas con alto valor ambiental por que involucra entre otros, presencia de nacimiento de aguas, zonas de alta biodiversidad, presencia de taludes inestables.
2. Investigación de biodiversidad presente en la cuenca.
3. Pago por servicios ambientales orientados al cuidado de áreas por parte de los habitantes de la región.

La implementación del plan ha permitido fortalecer la estrategia de protección y conservación de sitios ambientalmente vulnerables, y contribuir a la reducción del riesgo de aporte de material sedimentológico asociado al manejo inadecuado del terreno de la cuenca.

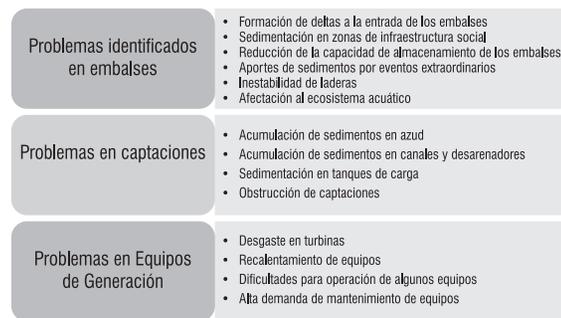
### 3.4 EN BUSQUEDA DE UN MARCO REGULATORIO PARA GESTIÓN DE SEDIMENTOS

Aunque existen tecnologías para gestionar sedimentos a nivel mundial (dragado, flushing, retención y reubicación, dilución controlada, entre otras), en Colombia aún no existe un marco regulatorio sobre el cual las empresas que gestionan de los embalses puedan trazar de manera ordenada y sistemática un Plan de Gestión de éste material aguas dentro del reservorio y fuera de éste, de manera que se siga garantizando el equilibrio entre el desarrollo, se mantenga la confiabilidad del sistema eléctrico, y su operación esté en armonía con la comunidad y el medio ambiente.

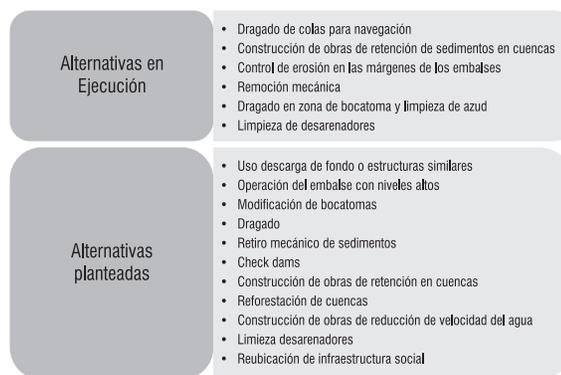
Como primer paso, en el año 2015 se unieron las empresas del sector eléctrico, las principales autoridades gubernamentales, y expertos técnicos y en legislación para caracterizar el problema y trazar un plan de ruta en búsqueda de normatividad aún inexistente en el país relacionada con este tema. De allí nació del 1er Taller de Gestión de Sedimentos en embalses en Colombia (Mayo 27 – 28, 2015 – Bogotá, Colombia) donde se plantearon alternativas de solución al actual problema de sedimentación en embalses de generación eléctrica.

Como parte de los resultados de dicho taller, en 2016 se creó el Comité Ad-Hoc de Sedimentos en el cual participan empresas del sector eléctrico, miembros del Consejo Nacional de Operación - CNO - y la Asociación Colombiana de Generadores de Energía Eléctrica - ACOLGEN –, el

cual estableció como objetivo de ese año, caracterizar la problemática y luego fuera presentada a las autoridades competentes para determinar al año siguiente, la estrategia para elaborar un marco normativo a nivel nacional.



**Figura 8.** Problemas identificados por sedimentación.  
Fuente: Diagnóstico Gestión de Sedimentos CNO - ACOLGEN noviembre 2016.



**Figura 9.** Alternativas de solución.  
Fuente: Diagnóstico Gestión de Sedimentos CNO - ACOLGEN noviembre 2016.

Los valores relacionados con la sedimentación de embalses y por ende la variación de capacidad de almacenamiento de energía que se han consolidado a la fecha, deben analizarse en detalle bajo una óptica que involucre consideraciones tales como:

- Morfología del embalse
- Geología de la cuenca

- c. Altitud en la que está localizado el embalse (Ubicación del embalse dentro de los procesos de denudación de la cuenca)
- d. Cambio de tecnología empleada en las batimetrías
- e. Frecuencia de realización de las batimetrías
- f. Barras de sedimentos localizadas
- g. Acumulaciones de sedimentos que afectan infraestructura
- h. Acumulaciones de sedimentos que afectan a la comunidad

Por lo anterior, la orientación de la información analizada deberá tener el siguiente enfoque:

Al gremio:

- Establecer frentes de trabajo
- Estandarización en procedimientos para toma de datos relacionados con el comportamiento de los sedimentos en los embalses

A la autoridad:

- Mostrar que se tienen estadísticas consolidadas y una lectura sustentada del problema.
- Establecer hacia donde debe enfocarse la reglamentación
- Manejo de sedimentos dentro del embalse existente
- Marco general regulatorio con alternativas particulares para:
  - Embalses
  - Tránsito de sedimentos
  - Extracción de sedimentos
  - Redistribución de sedimentos
  - Proyectos a filo de agua, manejo para proyectos térmicos
  - Diferenciación de manejo de sedimentos en embalses antiguos y proyectos nuevos.

## IV. CONCLUSIONES

- Los trabajos y estudios realizados en AES Chivor, han demostrado que existen alternativas para el manejo de la sedimentación en este tipo de embalses. La implementación de las estrategias presentadas, garantizan a la Central Chivor continuar en operación durante, por lo menos los próximos 50 años.
- AES Chivor demuestra con su plan de gestión de sedimentos, que la infraestructura que inicialmente se concebía para un término definido, puede ser sostenible en el tiempo y prolongar su vida útil hasta dos veces más. En temas ambientales, tiene un impacto enorme, ya que significa que no habrá la necesidad de intervenir nuevas zonas para lograr obtener la energía que el embalse dejó de producir.
- El tratamiento que AES Chivor establece para su embalse es replicable no solamente para negocios de generación eléctrica a nivel mundial, también en negocios con embalses multipropósito (acueducto y agricultura, por ejemplo).
- El monitoreo de los afluentes y su predicción, y el monitoreo de comportamiento de los sedimentos mediante sensores, será información valiosa para tomar decisiones operativas de manera oportuna y soportada.
- Luego de caracterizado el problema en el Comité Ad-Hoc de Sedimentos, se sientan las bases para estudiar la problemática colocándolo con un tema de carácter Nacional, no de particulares, ya que tiene consecuencias de alto impacto y que a su vez representa la regularización y estandarización de procesos que permitan gestionar los embalses a largo plazo.

- La primera fase del sistema de retención de material sobre el río Tunjita demostró ser eficiente, limitando el aporte de material vegetal por este afluente en un 90%. Debido a ello, se decidió diseñar y me instalar un sistema similar en la zona de bocatomas cuyo trabajo conjunto ambos sistemas de retención permitió retener hasta un 98% del material vegetal que ingresa al embalse, evitando así que éste ingrese al túnel de conducción de la PCH y de igual manera se convierta en material depositado en el embalse La Esmeralda.
- El modelo de predicción de caudal diario afluente al Embalse Tunjita, fue presentado por AES Chivor en las Jornadas Hidrológicas 2016 organizadas por el Centro Nacional de Despacho CNO, logrando muy buenos comentarios entre los asistentes al evento.

## V. AGRADECIMIENTO

A Gregory L. Morris PE., PhD, como parte integrante del grupo desarrollador del proyecto de investigación, siendo uno de los expertos que ha contribuido en el planteamiento de alternativas para el manejo de sedimentos a nivel mundial.

Al Consejo Nacional de Operación - CNO, y a la Asociación colombiana de Generadores de Energía - Acolgen, y a sus miembros, por permitir buscar el desarrollo del país bajo un marco sostenible y confiable del Sistema Eléctrico Nacional.

AES CHIVOR reconoce el aporte del Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación - COLCIENCIAS, al apoyar proyectos de Desarrollo Tecnológico e innovación como los realizados para las temáticas relacionadas con la gestión de Sedimentos, de los cuales ha sido reconocido a través de la convocatoria de Beneficios

Tributarios, tal como el proyecto que da lugar al presente artículo.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Becerra, G., Alarcón, W., Salavarieta, J. C., & Fuquen, H. (2015). LA SEDIMENTACIÓN EN EMBALSES DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS, gran problema con solución. Ingesocios, 22-24.
2. Sánchez, C., & Fuquen, H. (2013). SEDIMENTOS: UNO DE LOS RETOS DE LA GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA. DESARROLLO TECNOLÓGICO E INNOVACIÓN EMPRESARIAL, 6-8. Obtenido de <http://www.colinnovacion.com/wp-content/uploads/ARTICULO-2-EDICION-2-VOLUMEN-1-JUNIO-2013.pdf>
3. Diagnóstico Gestión de Sedimentos CNO - ACOGEN noviembre 2016.
4. ANEEL Agencia Nacional de Energia Electrica de Brasil, 2000. Reservoir Sedimentation Assesment Guideline, Brasilia: Hydrologic Studies and Information Department.
5. GML Engineering COOP, 2012. *Sedimentos en el Embalse La Esmeralda*, Bogotá: s.n.
6. Morris, G. & Fan, J., 1998. *Reservoir Sedimentation Handbook*, Nueva York: McGraw-Hill.
7. White, R., 2001. *Evacuation of sediments from reservoirs*, Londres: Thomas Telford.
8. World Bank, 2003. *Reservoir conservation : economic and engineering evaluation of alternative strategies for managing sedimentation in storage (Vol1)*, Washington D.C.: World Bank.

9. Rojo Hernández, Julián David and Carvajal Serna, Luis Fernando (2010), *Predicción no lineal de Caudales utilizando variables Macro-climaticas y analisis espectral singular*. Tecnología y Ciencias del Agua, antes Ingeniería hidráulica en México, vol. I, núm. 4, octubre-diciembre de 2010, pp. 59-73 ISSN: 0186-4076
10. Rojo Hernández, Julián David (2016) *Modelo de pronóstico de aportes diarios utilizado en la PCH Tunjita* In: V Jornada Técnica de Hidrología - CNO, 09 de noviembre de 2016, Bogotá - Colombia.