



## Effect of sediment management decision on a hydropower plant value

Jorge Andrés Polanco <sup>a</sup>, Fabián Hernando Ramírez-Atehortúa <sup>b</sup>, Luis Fernando Montes-Gómez <sup>b</sup>, Blanca Adriana Botero-Hernández <sup>b</sup> & Manuela Otálvaro Barco <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Universidad de Medellín, Medellín, Colombia. [japolanco@udem.edu.co](mailto:japolanco@udem.edu.co), [manuotalvarobarco@gmail.com](mailto:manuotalvarobarco@gmail.com)

<sup>b</sup> Facultad de Ingenierías, Universidad de Medellín, Medellín, Colombia. [framirez@udem.edu.co](mailto:framirez@udem.edu.co), [lfmontes@udem.edu.co](mailto:lfmontes@udem.edu.co), [babotero@udem.edu.co](mailto:babotero@udem.edu.co)

Received: August 22<sup>th</sup>, 2019. Received in revised form: March 17<sup>th</sup>, 2020. Accepted: April 1<sup>st</sup>, 2020

### Abstract

Sedimentation reduces the useful life of reservoirs and the value of hydropower plants. The aim is to determine the effect of sediment management decisions on the value of a plant. First, management alternatives are ranked with the AHP technique according to the perception of six experts. Second, the plant is valued by cash flow (FCL) and RESCON 2 BETA (RES). Results shows three alternatives ranked: reforestation, agriculture and dam construction. The useful life of reservoir increases in 84% (reforestation), 40% (agriculture), and 76% (dam). The value of the plant increases in 21% (FCL) and 21.74% (RES) for reforestation, 11.59% (FCL) and 13.18% (RES) for agriculture, and 20.07% (FCL) and 19.93% (RES) for dam building. It is concluded that sediment management affects the value of the plant since the useful life of the reservoir affects the value of continuity.

**Keywords:** decision-making; asset valuation; sediment management; hydropower plant.

## Incidencia de la decisión de manejo de sedimentos en el valor de una central hidroeléctrica

### Resumen

La sedimentación reduce la vida útil de embalses y el valor de centrales hidroeléctricas. El objetivo es determinar el efecto de las decisiones sobre manejo de sedimentos en el valor de una central. Primero, se jerarquizan las alternativas de manejo con la técnica AHP según la opinión de seis expertos. Segundo, se valora la central por flujo de caja (FCL) y RESCON 2 BETA (RES). Los resultados ordenan tres alternativas: reforestación, prácticas agrícolas y construcción de presa. La vida útil del embalse aumenta en 84% (reforestación), 40% (prácticas agrícolas) y 76% (presa). El valor de la central crece en 21% (FCL) y 21.74% (RES) para reforestación, 11.59% (FCL) y 13.18% (RES) para prácticas agrícolas, y 20.07% (FCL) y 19.93% (RES) para la presa. Se concluye que el manejo de sedimentos incide en el valor de la central puesto que la vida útil del embalse afecta el valor de continuidad.

**Palabras clave:** toma de decisiones; valoración de activos; gestión de sedimentos; centrales hidroeléctricas.

### 1. Introducción

La Agencia Internacional de Energía - IEA [1] predice que el 60% de todas las nuevas inversiones en energía en los próximos 20 años serán en energías renovables. La predicción para la nueva producción de energía hidroeléctrica es del 25% de todas las nuevas energías renovables, principalmente debido al potencial en China, África, América

Latina y el sudeste asiático.

Hauer et al. [2] estipulan que uno de los principales desafíos económicos, técnicos y ecológicos de la gestión de la energía hidroeléctrica es la deposición y el tratamiento de sedimentos en las cuencas, los cuales generan la disminución del volumen de almacenamiento y la pérdida de producción de energía.

Sumi et al. [3] sostienen que en el año 2004 la capacidad

**How to cite:** Polanco, J.A., Ramírez-Atehortúa, F.H., Montes-Gómez, L.F., Botero-Hernández, B.A. and Otálvaro-Barco, M., Incidencia de la decisión de manejo de sedimentos en el valor de una central hidroeléctrica. DYNA, 87(213), pp. 232-240, April - June, 2020.

bruta de almacenamiento en el mundo era de 6000 km<sup>3</sup> con 45000 represas grandes. Sin embargo, la tasa de sedimentación anual al mismo tiempo fue de aproximadamente 31 km<sup>3</sup> por año. Actualmente, los embalses del mundo están perdiendo capacidad a una tasa de 0.5 a 1% por año debido a los procesos de sedimentación [4]. Por lo tanto, si los sedimentos no son manejados, la capacidad total de almacenamiento se reduciría incluso a menos de la mitad para el año 2100 [3].

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 [4]. Los daños debidos a la falta de manejo de sedimentos podrían representar más del 70% del costo de construcción del embalse [5], lo cual sería también un costo para las generaciones futuras [6].

Es por eso que la sostenibilidad del negocio de generación de energía hidroeléctrica depende de la implementación de alternativas de gestión de sedimentos [7,8].

¿Cuál es el efecto de la decisión de manejo de sedimentos en el valor de una central hidroeléctrica? Por un lado, la decisión debe sopesar y equilibrar los intereses de múltiples actores [9], y considerar varios criterios de evaluación para lograr la mejor solución [10]. Por el otro, los modelos de valoración que incorporan el problema de sedimentación son aún aproximados [5], bien sea desde el punto de vista privado o de los inversionistas, o para el efecto de internalizar costos sociales y ambientales [11,12].

El objetivo de este trabajo es determinar el efecto de las decisiones sobre manejo de sedimentos en el valor monetario de una central de generación de energía hidroeléctrica. La metodología es mixta secuencial [13], recurriendo primero a la técnica de decisión de análisis jerárquico AHP [14] y, luego, a los modelos de valoración de flujo de caja libre [15,16] y RESCON 2 BETA [17], para evaluar su sensibilidad frente a la decisión de manejo de sedimentos.

El texto se estructura en seis partes. Primero, se revisa la literatura sobre técnicas de decisión y modelos de valoración. Segundo, se presenta el caso de estudio. Tercero, se esboza la metodología, destacando la naturaleza de los datos y su estrategia de análisis. Cuarto, se describen los resultados en donde se jerarquizan las alternativas de manejo de sedimentos y se estima su efecto en el valor de la central hidroeléctrica estudiada. Quinto, se discuten los resultados a la luz de la literatura. Por último, se concluye destacando el aporte del trabajo, sus limitaciones y futuras investigaciones para superarlas.

## 2. Revisión de literatura

### 2.1. Técnicas de decisión

En el momento de elegir qué alternativas de gestión de sedimentos son las más apropiadas, los tomadores de decisiones deben sopesar y equilibrar los intereses de la comunidad, el propietario y otras partes interesadas [9], así como enfrentar varios criterios para lograr la mejor solución y múltiples objetivos a cumplir simultáneamente [10]. La toma de decisiones bajo el enfoque tradicional de criterios

únicos normalmente tiene como objetivo identificar las opciones más eficientes al menor costo [18].

Sin embargo, en los últimos 30 años, la globalización, la contaminación, la escasez de recursos y la creciente conciencia ambiental han aumentado la presión de las partes interesadas sobre las empresas para que tomen decisiones con el marco de sostenibilidad [19].

La implementación de métodos de toma de decisiones de criterios múltiples (MCDM) en el sistema de planificación, gestión y suministro de energía renovable es útil para integrar la sostenibilidad en la toma de decisiones. Es un enfoque adecuado para abordar problemas complejos con alta incertidumbre, objetivos en conflicto, diferentes formas de datos e información, múltiples intereses y perspectivas [18].

La literatura revisada por Zamarrón et al. [9] muestra que MCDM ha ganado importancia para evaluar decisiones complejas en la gestión de la energía hidroeléctrica, especialmente desde 2009.

Existe poca información sobre la implementación de métodos MCDM para la selección de alternativas de gestión de sedimentos en los embalses, teniendo en cuenta parámetros de sostenibilidad, como la integración de los aspectos económicos, ambientales y sociales, así como la vinculación de los diferentes interesados en la decisión [20].

Los métodos MCDM se clasifican en enfoques de toma de decisiones con objetivos múltiples (MODM) y toma de decisiones con atributos múltiples (MADM) [21]. Los primeros se utilizan en problemas con gran cantidad de alternativas, mientras que los segundos están diseñados para situaciones con pocas alternativas.

Korhonen et al. [22] y Herva y Roca [21] sostienen que los problemas de toma de decisiones en la gestión de los recursos hídricos generalmente se describen mediante un conjunto finito de alternativas.

En este trabajo, la técnica de decisión concierne atributos múltiples con un pequeño número de alternativas, como se verá más adelante. Según Otálvaro [23], la técnica de decisión de análisis jerárquico (AHP) es una de las más utilizadas.

Se recurre a ella porque permite que el tomador de la decisión realice juicios tanto objetivos como subjetivos, proporcionando un mecanismo útil para verificar la consistencia de los criterios de evaluación y alternativas, reduciendo así el sesgo en la toma de decisiones [14].

### 2.2. Modelos de valoración

Las primeras formulaciones sobre valoración económica en relación con los sedimentos y la vida útil de embalses fueron realizadas en la década del 2000 por Palmieri et al. [24], Palmieri et al. [25] y Kawashima [26].

En el año 2015, el Banco Mundial introdujo mejoras en el modelo, entre las que se destaca la formulación para implementar una valoración económica mediante análisis convencional, incorporando principios relacionados con la economía de recursos agotables [17].

En la actualidad, el modelo se denomina “RESCON 2 BETA” y tiene como propósito ayudar a los responsables de

la formulación de políticas y a las empresas de generación de energía a identificar la mejor manera de administrar un conjunto de embalses con el fin de proveer a los desarrolladores de recursos hídricos e ingenieros un análisis preliminar de alternativas viables de manejo de sedimentos [17].

Según los trabajos de Palmieri y Kawashima mencionados arriba, un modelo de valoración económica de conservación del embalse contesta dos preguntas relacionadas:

- ¿Es el costo extra incurrido en la alternativa de gestión de sedimentos factible en términos de extender la vida útil productiva de una presa?
- ¿Es económico extender la vida útil productiva de una presa por un tiempo indefinido?

La primera pregunta se relaciona con la determinación de las estrategias de manejo de sedimentos deseables, independientemente de la vida útil final de la presa. Mientras que la segunda, se orienta hacia si es técnicamente viable extender de manera indefinida la vida útil del embalse o si el embalse no es sostenible y se requiere su retiro.

Desde el punto de vista convencional de la valoración monetaria de unidades de negocio [16,27,28], se entiende el concepto de valoración como la identificación de todos los gastos e ingresos a lo largo de la vida de la central hidroeléctrica en operación, para determinar el efecto que tienen las alternativas de gestión en el valor del activo [12,15].

La valoración convencional con base en los flujos de caja libre, es usada ampliamente en el sector de generación de energía en Colombia y otros países emergentes [29]. Se recurre a esta valoración convencional para evaluar la inacción frente a la viabilidad de las inversiones en alternativas de gestión de sedimentos por parte del inversionista, con el fin de repotenciar la extensión de la vida útil del embalse.

Estas metodologías convencionales se centran en la generación de flujos de caja considerando la capacidad operacional de un proyecto de inversión como uno de los principales inductores de valor. Además, consideran dichos flujos de efectivo hasta cierto horizonte de tiempo, junto con un valor terminal o de continuidad [30,31].

La sedimentación genera incertidumbre sobre la extensión de la vida útil de un embalse, la cual debe modelarse e incorporarse en la valoración. Es por eso que el valor de continuidad se considera preponderante en la valoración [17,24].

No obstante, hay una multiplicidad de factores que influyen en el valor de continuidad de una central, dada su alta asociación con la vida útil del embalse. Como consecuencia, los resultados de la valoración pueden ser diferentes de los valores de mercado, pues no hay consenso en la comunidad científica sobre el método de cálculo del valor terminal, más aún cuando se trata de un recurso agotable [30,32].

Según Reis y Augusto [30], una de las principales limitaciones de los modelos convencionales de valoración,

cuando se trata de recursos no renovables como la infraestructura hidroeléctrica, es la medición del valor de continuidad y el impacto que tienen las acciones para extender la vida útil del activo.

Por tanto, se privilegia el valor de continuidad, dada la problemática de sedimentación y agotamiento de la capacidad del embalse. De esta manera, la valoración es abordada tanto por el método convencional de flujo de caja libre como por el modelo "RESCON 2 BETA".

### 3. Caso de estudio

El caso de estudio corresponde a una de las principales empresas de generación de energía eléctrica de Colombia. Cuenta con centrales hidroeléctricas y térmicas en varias regiones del país. Su experiencia en sostenibilidad se consolida desde hace más de una década, gracias a políticas internas, a la elaboración de informes anuales de gestión con base en el estándar internacional Global Reporting Initiative, y a su compromiso con el Pacto Global. Además, varios de sus activos han sido evaluados con el protocolo de sostenibilidad de la International Hydropower Association, tanto en construcción como en operación.

Sus ingresos operacionales en el 2018 superaron los 2.5 billones de pesos, el EBITDA fue de más de 1.5 billones de pesos y la utilidad neta fue de aproximadamente 400 mil millones de pesos.

Se elige uno de los principales activos de la empresa, con una capacidad instalada superior a los 700 MW. Su cuenca tributaria principal tiene cerca de 30 mil hectáreas, presenta conflictos de uso del suelo por sobreutilización en el 26% del territorio [33] y el aporte de sedimentos al embalse oscila entre 0.71 y 0.88 Mm<sup>3</sup>/año, según diferentes estudios [34-36].

En el área de influencia del embalse viven más de 16 mil personas, de las cuales cerca del 21% se encuentran por debajo de la línea de pobreza de 264.6 mil pesos mensuales. Adicionalmente, la inequidad en el ingreso de los hogares es cercana a 0.5 según el indicador GINI [37].

### 4. Metodología

El objetivo es determinar el efecto de las decisiones sobre manejo de sedimentos en el valor monetario de una central de generación de energía hidroeléctrica. El diseño metodológico es mixto secuencial [13], iniciando con la fase cualitativa y terminando con la cuantitativa. En la fase cualitativa se analizaron las decisiones de manejo de sedimentos según la percepción de expertos en ingeniería, economía y administración, consultados por Otálvaro et al [34]. En la fase cuantitativa se valoró la central de generación objeto de estudio por dos métodos para evaluar su sensibilidad frente a la decisión de manejo de sedimentos. A continuación, se presentan la naturaleza de los datos utilizados y la estrategia de análisis.

#### 4.1. Datos

Los datos cualitativos utilizados corresponden a la

percepción de seis expertos sobre tres alternativas de manejo de sedimentos y cuatro criterios de evaluación [34,36].

4.1.1. Alternativas de manejo de sedimentos

- Reforestación: reforestar 62 km<sup>2</sup> 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 km<sup>2</sup> 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 creciente.

4.1.2. Criterios de evaluación de alternativas

- Costo de inversión. Se utilizaron los costos de inversión de cada alternativa a evaluar según información secundaria [36]. Bajo este criterio se consideró la mejor alternativa aquella con el costo de inversión y mantenimiento más bajo.
- Reducción de la tasa de sedimentos. Se recurrió al resultado de una modelación hidrológica distribuida realizada con el modelo TETIS [34]. Bajo este criterio se consideró la mejor alternativa aquella con el porcentaje más alto de reducción de sedimentos.
- Impacto social. Se utilizaron los impactos sociales de las alternativas evaluadas según información secundaria [36]. Bajo este criterio se consideró la mejor alternativa aquella con menos impactos sociales negativos.
- Impacto ambiental. Se utilizaron los impactos ambientales (componentes bióticos y abióticos) de las alternativas evaluadas según información secundaria [36]. Bajo este criterio se consideró la mejor alternativa aquella con menos impactos ambientales negativos.

Por su parte, los datos cuantitativos corresponden a los estados financieros de la empresa entre 2013 y 2016 disponibles en Bloomberg, a la hidrología de la cuenca tributaria del embalse [34,38], y a los costos de las alternativas de manejo de sedimentos presentadas anteriormente [36].

4.2. Análisis de datos

Para el análisis cualitativo de los datos se optó por la técnica AHP, dado el número reducido de alternativas de

Tabla 1. Escala de comparación apareada

Escala	Escala verbal
1	Igual importancia
3	Moderadamente más importante un elemento que el otro
5	Fuertemente más importante un elemento que otro
7	Mucho más fuerte la importancia de un elemento que la del otro
9	Importancia extrema de un elemento frente al otro.
2,4,6,8	Valores intermedios de decisión

Fuente: Saaty [39].

manejo de sedimentos y la consideración de aspectos económicos, sociales y ambientales en la decisión de los expertos [18,21].

La técnica AHP dio como resultado la jerarquización de alternativas en tres pasos. Primero, se calculó el vector de pesos de criterios con base en la escala de comparación apareada (Tabla 1.).

En el caso de *m* criterios de evaluación, la comparación apareada del elemento *i* con el elemento *j* es colocado en la posición *a<sub>ij</sub>* de la matriz *A* de comparaciones apareadas, tal como se ilustra en la eq. (1). Los valores recíprocos de estas comparaciones son colocados en la posición *a<sub>ji</sub>* de *A*, con la finalidad de preservar la consistencia del juicio.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & a_{mm} \end{bmatrix} \tag{1}$$

Luego, se obtuvo la matriz normalizada *A<sub>norm</sub>*, igualando a la unidad la suma de los valores de cada columna, como se expresa en las eqs. (2) y (3).

$$\hat{a}_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_1^m a_{ij}} \tag{2}$$

$$A_{norm} = \begin{bmatrix} \hat{a}_{11} & \hat{a}_{12} & \hat{a}_{1m} \\ \hat{a}_{21} & \hat{a}_{22} & \hat{a}_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \hat{a}_{m1} & \hat{a}_{m2} & \hat{a}_{mm} \end{bmatrix} \tag{3}$$

Finalmente, el vector de pesos de criterios *w* se obtuvo calculando el valor medio de cada columna de *A<sub>norm</sub>* según la eq. (4).

$$w_i = \frac{\sum_1^m \hat{a}_{ij}}{m} \tag{4}$$

Segundo, se calculó la matriz de puntuación de las alternativas *B*. El primer paso para obtener la matriz de puntuación de alternativas fue construir tantas matrices *B* como criterios de evaluación *m* se tuvieran. Estas matrices son cuadradas de dimensión *n*, siendo *n* el número de alternativas en consideración. Estas matrices se conocen con el nombre de matrices de comparación por pares, y cada término *b<sub>kl</sub><sup>(m)</sup>*, de una matriz *B<sup>(m)</sup>* está conformado por la evaluación de la alternativa *k* con respecto a la alternativa *l* para el criterio *m*. El modo de llenar la matriz *B<sup>(m)</sup>* sigue los mismos criterios y reglas que la matriz *A* en la eq. (1).

Una vez obtenidas todas las matrices  $B^{(m)}$ , se estimaron las matrices normalizadas  $B_{norm}^{(m)}$ , de manera análoga a las matrices  $A$  de comparaciones apareadas. Después, se calcularon las evaluaciones de las  $n$  alternativas para cada criterio  $m$  según la eq. (5).

$$s_k^{(m)} = \frac{\sum_1^n \hat{b}_{kl}^{(m)}}{n} \quad (5)$$

La matriz de puntuación de alternativas  $S$  se construyó adicionando los vectores  $s^{(m)}$  como se muestra en la eq. (6).

$$S = [s^{(1)}, s^{(k)}, \dots, s^{(n)}] \quad (6)$$

Por último, se jerarquizaron las alternativas. Una vez obtenidos tanto el vector  $w$  como la matriz  $S$ , se calculó el vector  $v$  de puntuaciones globales mediante la operación de la eq. (7). Las alternativas se jerarquizaron ordenando estos valores en orden decreciente.

$$v = S \cdot w \quad (7)$$

Para el análisis cuantitativo de valoración monetaria de la central de generación de energía, se adoptaron el método convencional del Flujo de Caja Descotado (FCD) [15,16] y el modelo RESCON 2 BETA [17]. A fin de obtener el valor de la central  $VC_1$  por el método FCD se recurrió a las eqs. (8)-(10), estimando el valor presente neto  $VPN$  como una función del flujo de caja libre de la empresa  $FCE_t$ , el costo de cada alternativa de manejo de sedimentos  $CA$  y la tasa de descuento  $r$ .

$$VPN = \sum_{t=0}^n \frac{FCE_t}{(1+r)^n} - CA \quad (8)$$

$$FCE_t = IE_t - GE_t \quad (9)$$

$$VC_1 = VPN * f \quad (10)$$

Donde  $IE$  es el ingreso de la empresa,  $GE$  son los gastos de la empresa,  $CA$  los costos de las alternativas de gestión de sedimentos y  $f$  es un factor de ponderación.

Este factor de ponderación se definió como una proporción de la capacidad instalada en la central respecto al total de la empresa. En este caso de estudio,  $f$  es igual al 43.98%.

Por su parte, con el modelo RESCON 2 BETA se calculó el valor de la central  $VC_2$  según las eqs. (11) y (12).

$$VC_2 = \sum_{t=0}^n \frac{FCC_t}{(1+r)^n} - CA \quad (11)$$

$$FCC_t = IC_t - GC_t \quad (12)$$

De esta manera, el valor de la central  $VC_2$  depende de los flujos de caja libres de la central  $FCC_t$ , que corresponde a la diferencia de los ingresos de la central  $IC_t$  y los gastos de la

central  $GC_t$ . Los ingresos de la central se estimaron como el producto de un precio promedio del kilovatio-hora y la capacidad instalada de la central. Los gastos de la central se asumieron como una proporción de los ingresos de la empresa reportados en los estados financieros.

En ambos métodos, se utilizó el modelo de valoración de activos de capital (CAPM), considerando la tasa de descuento  $r$  como la equivalente al costo promedio ponderado de la empresa, acorde con la eq. (13).

$$r = K_d D(1-t) + K_e E \quad (13)$$

Donde  $K_d$  es la tasa de interés o costo de la deuda,  $D$  representa el peso de la deuda respecto a los activos totales de la empresa,  $K_e$  es la tasa de interés de oportunidad del inversionista o costo de patrimonio,  $E$  representa el peso del patrimonio respecto a los activos totales de la empresa y  $t$  es la tasa de impuesto.

La tasa de interés de oportunidad del inversionista  $K_e$  fue calculada con base en las eqs. (14) y (15), teniendo en cuenta la prima de riesgo de Colombia  $R_c$  igual a 2.25% [40].

$$K_e = R_f + \beta_l (R_M - R_f) + R_c \quad (14)$$

$$\beta_l = \beta_d \left[ 1 + \frac{D}{E} (1-T) \right] \quad (15)$$

El riesgo de la empresa con respecto al mercado  $\beta_l$  se calculó igual a 0.59, a partir de un beta sin apalancar  $\beta_d$  del sector de energías renovables igual a 0.36 [41]. Además, se consideró un peso de deuda de 48.61%, un peso del patrimonio del 51.39% y un impuesto de renta del 34%.

Finalmente, el horizonte de pronóstico  $n$  corresponde a la vida útil del embalse y depende de la capacidad restante del embalse  $S_t$ , el sedimento atrapado  $M$  y el sedimento evitado por la alternativa de manejo considerada  $X_t$  (eq. 16).

$$n = \frac{S_t}{M(1-X_t)} \quad (16)$$

## 5. Resultados

### 5.1. Jerarquización de alternativas de manejo de sedimentos

El criterio de evaluación con mayor importancia para los expertos es el de reducción de tasa de sedimentos con un 36.4% de importancia (Tabla 2). En cuanto a los impactos sociales y ambientales, estos obtuvieron el segundo y tercer lugar respectivamente, con niveles de importancia de 31.2% y 24.3%. Por último, el criterio que obtuvo la menor puntuación según los expertos consultados es el de costo de inversión con un 8.1% de importancia.

Con referencia a las alternativas de gestión de sedimentos evaluadas, la que obtuvo el primer lugar con un 46.8% de importancia fue la alternativa de reforestación (Tabla 3). En segundo lugar, la alternativa de prácticas agrícolas con un 35.2% y en tercer lugar la alternativa de construcción de una presa de retención de sedimentos con 18%.

Tabla 2.  
Puntuación de criterios de evaluación de alternativas.

Criterios	Puntuación de expertos						Total
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	
Costo de inversión	21.7	4.1	11.6	4.0	3.6	3.7	8.1
Reducción de sedimentos	52.7	54.5	26.8	9.3	62.5	12.8	36.4
Impacto social	16.3	9.4	22.2	62.6	17.0	59.7	31.2
Impacto ambiental	9.3	32.1	39.3	24.1	17.0	23.7	24.3

Fuente: Los Autores.

Tabla 3.  
Puntuación de alternativas de manejo de sedimentos.

Alternativas	Puntuación de expertos						Total
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	
Reforestación	36.2	50.0	29.4	55.5	66.1	43.5	46.8
Agricultura	29.0	17.5	59.9	32.6	27.0	45.4	35.2
Construcción presa	34.8	32.5	10.7	11.9	7.0	11.2	18.0

Fuente: Los Autores.

La alternativa de reforestación, a pesar de tener el costo más alto de inversión, obtuvo el nivel de importancia más alto según los expertos consultados por Otálvaro et al [34]. En efecto, bajo el criterio de reducción de sedimentos (el más importante según los expertos), la reforestación es la medida más eficiente, ya que contribuye con la reducción del 46% de los sedimentos que llegan al embalse (Tabla 4). Asimismo, es una alternativa que genera bajos impactos sociales y ambientales negativos, criterios que obtuvieron segundo y tercer nivel de importancia respectivamente.

Tabla 4.  
Alternativas de manejo de sedimentos y criterios de evaluación.

Criterio	Reforestación	Agricultura	Construcción presa
Costo de inversión (unidades monetarias)	100	21	94
Reducción tasa de sedimentos	46%	28%	43%
Impacto social	Modificación de la actividad económica	Mejoramiento de la calidad de vida;	Generación de empleo; Oposición al proyecto;
		Mejoramiento de la actividad agrícola	Contaminación visual; Cambios en las actividades tradicionales
Impacto ambiental	Cambio de la cobertura vegetal; Disminución en la tasa de deforestación; Cambio en el paisaje; Cambio del uso del suelo	Cambio de la cobertura vegetal; Disminución de la tasa de deforestación	Alteración de la calidad físico química del río; Aumento de la erosión;
			Disminución de la abundancia de fauna terrestre y acuática; Reducción del caudal base de las fuentes hídricas; Contaminación del aire y del suelo; Regulación de caudales en las crecientes

Fuente: Los autores con base en Otálvaro et al [34].

Tabla 5.  
Incremento porcentual del valor de la central para cada alternativa de manejo

Alternativa	Horizonte de pronóstico (vida útil embalse)	Método FCL	Método RESCON
No hacer nada	25 años		
Reforestación	46 años	21.74%	21.00%
Agricultura	35 años	11.59%	13.18%
Construcción de presa	44 años	20.07%	19.93%

Fuente: Los Autores.

## 5.2. Valor monetario de la central de generación de energía

La implementación de las alternativas de gestión de sedimentos tuvo un alto impacto en el valor de continuidad de la central, a pesar de que los costos de estas inversiones adicionales tan solo representan entre el 0.186% y el 0.266% del valor de la empresa. Es decir, que el costo de implementación no es muy significativo para la compañía, pero el impacto a futuro si es considerable.

Se comparó el valor de la central afectada por cada alternativa de manejo de sedimentos con respecto al valor de la misma en el caso de no hacer ninguna intervención (Tabla 5). Bajo el escenario de “no hacer nada”, el embalse tendría una vida útil de 25 años.

Con la reforestación, la vida útil del embalse aumentó a 46 años como consecuencia de una reducción anual de la tasa de sedimentos del 46%. Esta alternativa de manejo tuvo un efecto en el incremento del valor monetario de la central entre el 21% y el 21.74% dependiendo del método de valoración.

El mejoramiento de las prácticas agrícolas se tradujo en una vida útil del embalse de 35 años, gracias a una reducción del 28% en aporte de sedimentos de la cuenca al embalse. Con esta alternativa, el incremento en el valor de la central estuvo entre el 11.58% y el 13.18%.

Por último, la construcción de una presa de retención de sedimentos en la cuenca principal tributaria al embalse se tradujo en una vida útil del embalse de 44 años, en razón de una reducción anual del aporte de sedimentos del 43%. Es así como el valor de la empresa se incrementó entre el 19.93% y el 20.07% de su valor respecto al escenario de “no hacer nada”.

## 6. Discusión

La reforestación es la alternativa de manejo de sedimentos con el costo de inversión más alto, puesto que requiere de negociación y adquisición de predios para su ejecución. Sin embargo, obtuvo la puntuación más alta según los expertos, gracias a su contribución en la disminución del estado de degradación de la cuenca por cuenta de los cambios en el uso del suelo.

La implementación de dicha alternativa no genera grandes impactos ambientales y sociales, y se consideró por los expertos como positiva en cuanto a que es una medida preventiva que incide directamente las fuentes que producen los sedimentos a largo plazo.

Al contrario, construir una presa de retención de sedimentos fue la alternativa menos factible para todos los

expertos consultados. Su eficiencia depende del mantenimiento, requiere de la gestión de licencias ambientales y genera resistencia por parte de los grupos de interés.

Esta percepción de expertos concuerda con lo observado en la literatura especializada por Otálvaro [23]. Este autor destaca la importancia de medidas que reducen el aporte de sedimentos de la cuenca al embalse o que remueven o redistribuyen los depósitos de sedimentos, frente a otras menos recurrentes que redireccionan los sedimentos o que simplemente no intervienen directamente en su producción, transporte o depósito.

El manejo de los usos del suelo, la implementación de cercas vivas y la reforestación son medidas comunes para reducir el aporte de sedimentos al mismo tiempo que se reduce la pérdida de biodiversidad y se mejoran las condiciones socio-económicas de las comunidades locales [42-44].

El éxito de tales prácticas a menudo se mide con base en la investigación agronómica, con un análisis limitado de los mercados y de manera ajena o aislada con respecto a su contribución a la vida útil del embalse [45].

Sin embargo, este trabajo logró mostrar la relación entre las alternativas de manejo de sedimentos y la vida útil del embalse. Relación que fue necesaria para estimar el efecto de dichas alternativas en el valor monetario de la central. La extensión de la vida útil del embalse tuvo un efecto positivo en el valor, evidenciándose rendimientos positivos a largo plazo sobre la inversión de la alternativa de reforestación principalmente.

La valoración de la central hidroeléctrica fue más allá de los modelos financieros convencionales, incluyendo en el valor terminal o valor de continuidad a la vida útil del embalse. Esto permitió estimar el efecto del manejo de sedimentos de la cuenca hidrográfica en el valor de la central [30,31].

## 7. Conclusión

La decisión de manejo de sedimentos se definió con base en la percepción de expertos académicos consultados por Otálvaro et al [34], sobre un conjunto limitado de criterios y alternativas. La técnica AHP fue útil en este contexto gracias a su adaptabilidad a problemas de gestión hídrica [21] y a la posibilidad que ofrece de comparación por pares [18]. Lográndose la jerarquización de alternativas como insumo para la valoración de la central hidroeléctrica: reforestación, prácticas agrícolas y construcción de presa.

La reforestación, la construcción de una presa y el mejoramiento de las prácticas agrícolas tuvieron un alto impacto positivo en la prolongación de la vida útil del embalse como en el valor actual de la central de generación de energía hidroeléctrica.

El efecto de la presa sería inmediato o de corto plazo frente a la reforestación y las prácticas agrícolas, que son alternativas de largo plazo, más costosas y que requieren una gestión integrada en la cuenca que depende de la interacción entre distintos actores en el territorio.

El modelo convencional de flujo de caja descontado [30,31] tuvo limitantes al no considerar los costos ocultos de operación y mantenimiento que genera la sedimentación en el tiempo sobre los equipos electromecánicos, ni la internalización de costos sociales y ambientales por el deterioro y la pérdida de capacidad de almacenamiento del embalse.

Por su parte, el modelo "RESCON 2 BETA" [17] fue aproximado dado que la pérdida de capacidad de almacenamiento del embalse se considera lineal y la dinámica de sedimentos en el embalse es despreciada. Sin embargo, fue útil para valorar una central hidroeléctrica en operación como unidad de negocio particular, pues tiene en cuenta variables hidrológicas que se integran al análisis económico acorde con la capacidad del embalse y la extensión de su vida útil con las medidas de gestión de sedimentos.

Adicionalmente, en ambos modelos de valoración, los costos de operación y mantenimiento se expresaron como porcentaje de los ingresos, manteniéndose constantes en el tiempo. En realidad, estos costos podrían aumentar a medida que crece la edad de las instalaciones hidroeléctricas.

Estudios futuros podrían mejorar el uso de las técnicas multicriterio y los métodos de valoración monetaria. Primero, la técnica AHP podría incluir la percepción de otros expertos miembros de las empresas de energía y las autoridades ambientales. Además, podría ampliarse el número de criterios y alternativas, recurriendo a técnicas multiobjetivo.

Segundo, los modelos de valoración económica de centrales en operación podrían contemplar en el análisis costos variables y otros aspectos como el cargo por confiabilidad, dada su incidencia en el almacenamiento de energía y las formas de operar el embalse.

## Agradecimientos

Este artículo es producto de una investigación realizada entre 2016 y 2019, financiada por Colciencias, la Universidad de Medellín y la empresa objeto de estudio. Contrato No. FP44842-034-2016.

## Referencias

- [1] International Energy Agency. World Energy Outlook 2015, Paris, OECD/IEA, 2015.
- [2] Hauer, C. et al., State of the art, shortcomings and future challenges for a sustainable sediment management in hydropower: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 98, pp. 40-55, 2018. DOI: 10.1016/j.rser.2018.08.031
- [3] Sumi, T., Okano, M. and Yasufumi, T., Reservoir sedimentation management with bypass tunnels in Japan, in: *Proceedings of the Ninth International Symposium on River Sedimentation*, Yichang, China, 2004, pp. 1036-1043.
- [4] Bachiller, A.R., Rodríguez, J.L.G., Sánchez, J.C.R. and Gómez, D.L., Specific sediment yield model for reservoirs with medium-sized basins in Spain: an empirical and statistical approach. *Science of the Total Environment*, 681, pp. 82-101, 2019. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.05.029
- [5] George, M.W., Hotchkiss, R.H. and Huffaker, R., Reservoir sustainability and sediment management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 143(3), pp. 1-8, 2017. DOI: 10.1061/(asce)wr.1943-5452.0000720

- [6] Schleiss, A.J., Franca, M.J., Juez, C., De Cesare, G. and Professor, F., Reservoir sedimentation. *Journal of Hydraulic Research*, 54(6), pp. 595-614, 2016. DOI: 10.1080/00221686.2016.1225320
- [7] Polanco, J.A., Exploring governance for sustainability in contexts of violence: the case of the hydropower industry in Colombia. *Energy, Sustainability and Society*, 8(1), pp. 1-15, 2018. DOI: 10.1186/s13705-018-0181-0
- [8] Polanco, J.A. y Ramírez, F., La evaluación de la sostenibilidad en empresas de energía. Una investigación aplicada a centrales de generación hidroeléctrica. Sello Editorial Universidad de Medellín, Medellín, Colombia, 2017.
- [9] Zamarrón-Mieza, I., Yepes, V. and Moreno-Jiménez, J.M., A systematic review of application of multi-criteria decision analysis for aging-dam management. *Journal of Cleaner Production*, 147, pp. 217-230, 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.01.092
- [10] Garcia, S., Cintra, Y., Torres, R. de C.S.R. and Lima, F.G., Corporate sustainability management: a proposed multi-criteria model to support balanced decision-making. *Journal of Cleaner Production*, 136, pp. 181-196, 2016. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.01.110
- [11] Monjas-Barroso, M. and Balibrea-Iniesta, J., Valuation of projects for power generation with renewable energy: a comparative study based on real regulatory options. *Energy Policy*, 55, pp. 335-352, 2013. DOI: 10.1016/j.enpol.2012.12.019
- [12] Mattar, M.H. and Cheah, C.Y.J., Valuing large engineering projects under uncertainty: private risk effects and real options. *Construction Management and Economics*, 24(8), pp. 847-860, 2006. DOI: 10.1080/01446190600658818
- [13] Hernandez-Sampieri, R., Fernandez-Collado, C. y Baptista-Lucio, M. del P., Metodología de la investigación. 5<sup>ta</sup> ed., México, Mc Graw Hill, 2010.
- [14] Jaiswal, R.K., Thomas, T., Galkate, R.V., Ghosh, N.C. and Singh, S., Watershed prioritization using Saaty's AHP based decision support for soil conservation measures. *Water Resources Management*, 28, pp. 475-494, 2014. DOI: 10.1007/s11269-013-0494-x
- [15] Govender, I., Thopil, G.A. and Inglesi-Lotz, R., Financial and economic appraisal of a biogas to electricity project. *Journal of Cleaner Production*, 214, pp. 154-165, 2019. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.12.290
- [16] Copeland, T.E. and Weston, J.F., Financial theory and corporate policy. reading, Addison-Wesley Publishing Company Massachusetts, USA, 1988.
- [17] Efthymiou, P., Palt, S., Annandale, G.W. and Karki, P., Reservoir conservation model ResCon 2 Beta economic and engineering evaluation of alternative sediment management strategies user manual. The World Bank, Washington DC, USA, 2017.
- [18] Wang, J.J., Jing, Y.Y., Zhang, C.F. and Zhao, J.H., Review on multicriteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 113, pp. 2263-2278, 2009. DOI: 10.1016/j.rser.2009.06.021
- [19] Sartori, S., Witjes, S. and Campos, L.M.S., Sustainability performance for Brazilian electricity power industry: an assessment integrating social, economic and environmental issues. *Energy Policy*, 111, pp. 41-51, 2017. DOI: 10.1016/j.enpol.2017.08.054
- [20] Kiker, G.A., Bridges, T.S., Varghese, A., Seager, T.P. and Linkov, I., Application of multicriteria decision analysis in environmental decision making. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 1(2), pp. 95-108, 2005. DOI: 10.1897/IEAM\_2004a-015.1
- [21] Herva, M. and Roca, E., Review of combined approaches and multicriteria analysis for corporate environmental evaluation. *Journal of Cleaner Production*, 39, pp. 355-371, 2013. DOI: 10.1016/j.jclepro.2012.07.058
- [22] Korhonen, P., Moskowitz, H. and Wallenius, J., Multiple criteria decision support - A review. *European Journal of Operational Research*, 63(3), pp. 361-375, 1992. DOI: 10.1016/0377-2217(92)90155-3
- [23] Otálvaro, M., Multicriteria decision-making for reservoir sediments management under corporate sustainability parameters: a systematic literature review, Tesis MSc., Universidad de Medellín, Medellín Colombia, 2019, 24 P.
- [24] Palmieri, A., Shah, F. and Dinar, A., Economics of reservoir sedimentation and sustainable management of dams. *Journal of Environmental Management*, 61(6), pp. 149-163, 2001. DOI: 10.1006/jema.2000.0392
- [25] Palmieri, A., Shah, F., Annandale, G.W. and Dinar, A., Reservoir conservation: the RESCON approach. Economic and engineering evaluation of alternatives strategies for managing sedimentation in storage reservoirs. World Bank, Washington, USA, 2003.
- [26] Kawashima, S., Conserving reservoir water storage: an economic appraisal. *Water Resources Research*, 43, pp. 1-9, 2007. DOI: 10.1029/2006WR005090
- [27] Berk, J. y Demarzo, P., Finanzas Corporativas. Pearson Educación, México, 2008.
- [28] Damodaran, A. Investment valuation. Tools and Techniques for Determining the Value of Any Assets. New Jersey, John Wiley & Sons, 2012.
- [29] Danisman, G.O. and Demirel, P., Corporate risk management practices and firm value in an emerging market: a mixed methods approach. *Risk Management*, 21, pp. 19-47, 2019. DOI: 10.1057/s41283-018-0040-5
- [30] Nogueira Reis, P.M. and Gomes-Augusto, M., The terminal value (TV) performing in firm valuation: the gap of literature and research agenda. *Journal of Modern Accounting and Auditing*, 9(12), pp. 1622-1636, 2013.
- [31] Lally, M., Free cash flow models, terminal values and the timing of asset replacements. *New Zealand Economic Papers*, 42(1), pp. 79-102, 2008. DOI: 10.1080/00779950809544414
- [32] Rojo-Ramírez, A.A., Martínez-Romero, M.J. and Mariño-Garrido, T., How the equity terminal value influences the value of the firm? *Journal of Business Valuation and Economic Loss Analysis*, 13(1), pp. 1-14, 2018. DOI: 10.1515/jbvela-2017-0010
- [33] Departamento Nacional de Planeación. Portal Territorial de Colombia, 2019. [En línea]. [Fecha de consulta: 15-Agosto-2019]. Disponible en: <https://portalterritorial.dnp.gov.co/AdmInfoTerritorial/MenuInfoTerrEstadistica>
- [34] Otálvaro, M., Posada, S., Rojas, J.C., Ramírez, F. and Botero, B.A., Análisis multicriterio de alternativas técnicas de gestión de sedimentos en embalses mediante modelación hidrológica distribuida, en XXVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, 2018.
- [35] Hermelin, M., Desastres de origen natural en Colombia 1979-2004. Universidad EAFIT, Medellín, Colombia, 2005.
- [36] SHI SAS. Estudio de factibilidad técnica, económica y ambiental para el manejo de sedimentos de los embalses Punchiná y Calderas, asociados a las centrales hidroeléctricas San Carlos y Calderas, Medellín, Colombia, 2018.
- [37] Departamento Nacional de Estadística. Pobreza monetaria y multidimensional en Colombia, 2019. [En línea]. [Fecha de consulta: 15-Agosto-2019] Disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/pobreza-y-condiciones-de-vida/pobreza-y-desigualdad/pobreza-monetaria-y-multidimensional-en-colombia-2018#pobreza-por-departamentos-2018>
- [38] León-Oliveros, I.A. and Sierra-Posada, J.L., Análisis del estado de sedimentación del embalse Punchiná, Medellín, Colombia, 2016.
- [39] Saaty, T.L., The analytic hierarchy process. McGraw-Hill, New York, USSA, 1980.
- [40] Embi Colombia, ámbito.com, 2019. [En línea]. [Fecha de consulta: 01-Agosto-2019] Disponible en: <http://data.ambito.com/economia/mercados/riesgo-pais/info/?id=4&desde=03/06/2016&hasta=03/07/2019&pag=22>
- [41] Damodaran, A., Betas by Sector (US), 2016. [En línea]. [Fecha de consulta: 01-Agosto-2019] Disponible en: [http://people.stern.nyu.edu/adamodar/New\\_Home\\_Page/datafile/Betas.html](http://people.stern.nyu.edu/adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html)
- [42] Haregeweyn, N. et al., Reservoir sedimentation and its mitigating strategies: a case study of Angereb reservoir (NW Ethiopia). *Journal of Soils Sediments*, 12, pp. 291-305, 2012. DOI: 10.1007/s11368-011-0447-z
- [43] Lee, Y., Yoon, T. and Shah, F.A., Optimal watershed management for reservoir sustainability: economic appraisal. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 19(2), pp. 129-138, 2013. DOI: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000232
- [44] Qiu, J., Shen, Z., Huang, M. and Zhang, X., Exploring effective best management practices in the Miyun reservoir watershed, China. *Ecological Engineering*, 123, pp. 30-42, 2018. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2018.08.020

[45] Lalika, M.C.S., Meire, P., Ngaga, Y.M. and Sanga, G.J., Willingness to pay for watershed conservation: are we applying the right paradigm? *Ecohydrology and Hydrobiology*, 17, pp. 33-45, 2017. DOI: 10.1016/j.ecohyd.2016.12.004

**J.A. Polanco**, es Ing. Civil de la Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 1996; MSc. en Medio Ambiente de la Universidad de Orléans, Francia, 2000; Dr. en Socio-economía del desarrollo de la Escuela de Altos Estudios en Ciencias Sociales de Paris, Francia, EHES, 2007. Actualmente es Profesor Asociado y coordinador del Doctorado en Administración de la Universidad de Medellín, Colombia. Además, es Investigador Senior en Colciencias. Sus áreas de interés incluyen la sostenibilidad de las organizaciones, la gobernanza de los territorios y la toma de decisiones en torno a energías renovables y recursos naturales. ORCID: 0000-0002-3469-1685

**F.H. Ramírez Atehortúa**, es Economista de la Universidad de Antioquia, Esp. en Ingeniería de la Administración con énfasis en Finanzas de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. MSc. en Administración de la Universidad de Medellín, Colombia. Estudiante de Doctorado en Administración, Universidad EAFIT, Colombia. Actualmente es profesor de la Facultad de Ingenierías de la Universidad de Medellín. Miembro del Grupo de Investigación en Ingeniería Financiera GINIF. Sus áreas de interés incluyen la sostenibilidad de las organizaciones, la evaluación socio-económica y financiera de proyectos; valoración de empresas, valoración de activos de propiedad intelectual; políticas y esquemas de creación de Spin-off. En la actualidad, adelanta investigaciones sobre gobernanza territorial de servicios ecosistémicos como modelo conceptual para la toma de decisiones y análisis de problemas complejos en situaciones en que participan diversos actores con intereses comunes en torno a centrales hidroeléctricas. ORCID: 0000-0002-5453-7036

**L.F. Montes Gómez**, es Ing. Electricista, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. MSc. en Finanzas y Especialista en finanzas y mercado de capitales, Universidad de Medellín, Medellín, Colombia. Profesor tiempo completo, del Programa de Ingeniería Financiera, en la Universidad de Medellín, Medellín, Colombia. Miembro activo del grupo de investigación en ingeniería Financiera GINIF. ORCID: 0000-0003-1441-8427

**B.A. Botero Hernández**, es Ing. Civil de la Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 1999; Dra. en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia, España, 2006. Realizó una pasantía posdoctoral en el Consejo Superior de Investigaciones Científicas CSIC- España, 2007. Profesor de la Universidad de Medellín desde 2011. Sus áreas de interés incluyen modelación hidrológica, análisis estadístico de extremos, cambio climático, monitoreo hidrometeorológico, hidrología de inundaciones, modelación hidrológica para cuencas de interés en generación hidroeléctrica, estudios de inundación, paleohidrología, modelación hidráulica, planes de ordenamiento de cuenca y evaluación de riesgos de inundación. ORCID: 0000-0003-2491-7780

**M. Otálvaro-Barco**, es Ing. Civil de la Universidad de Medellín, MSc. en Ciencias Administrativas y estudiante de Doctorado en Administración de la misma universidad. Actualmente es profesora de cátedra de la Facultad de Ingeniería del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Sus áreas de interés incluyen la sostenibilidad en las organizaciones, la gestión sostenible del recurso hídrico y la toma de decisiones en torno a energías renovables y recursos naturales. ORCID: 0000-0002-8545-3273



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE MEDELLÍN  
FACULTAD DE MINAS

Área Curricular de Medio Ambiente

Oferta de Posgrados

Doctorado en Ingeniería - Recursos Hidráulicos  
Maestría en Ingeniería - Recursos Hidráulicos  
Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo  
Especialización en Aprovechamiento de  
Recursos Hidráulicos  
Especialización en Gestión Ambiental

Mayor información:

E-mail: [acma\\_med@unal.edu.co](mailto:acma_med@unal.edu.co)  
Teléfono: (57-4) 425 5105