

GESTION SOSTENIBLE DE SEDIMENTOS EN EL EMBALSE DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DEL BAJO ANCHICAYÁ

Henry Nelson Vargas Lozano
Empresa de Energía del Pacífico E.S.P. S.A
Calle 15 No. 29B-30 Autopista Cali –Yumbo
E-mail: hnvargas@celsia.com
Cali - Colombia

Resumen

Este artículo presenta una nueva metodología adoptada por EPSA para el mantenimiento del vaso del embalse de la central hidroeléctrica del Bajo Anchicayá (CHBA) cuyo objetivo esencial es la gestión sostenible de sedimentos. Este nuevo enfoque, el de la operación sostenible del embalse, no solo contempla la actualización de equipos y modificación del procedimiento de operación, también incluye el entendimiento del flujo de sedimentos en el río Anchicayá, las condiciones de calidad y cantidad del agua y las posibles afectaciones a la biota y las comunidades del área de influencia de la CHBA. Elementos claves para una generación sostenible.

Introducción

La Central Hidroeléctrica del Bajo Anchicayá se encuentra operando hace más de 60 años y aunque los sistemas de control han sido permanentemente actualizados con las tecnologías que han ido surgiendo, sus condiciones técnicas obedecen a la ingeniería hidráulica y eléctrica de esa época. Esta obra se clasifica como de mediano tamaño, con operación a filo de agua y cuyas obras principales son las tradicionalmente ligadas a proyectos de esta naturaleza como lo son: embalse, presa, vertedero, túnel de sedimentos, túnel de carga, casa de máquinas, almenara, canal de fuga, descargas de fondo y subestación de transformación.

El embalse de la Central tenía originalmente una longitud de 2,5 km y un espejo de agua de 18 hectáreas para sus condiciones de máxima cota, la cual corresponde al volumen de embalse total de acuerdo con el diseño inicial de 5 Mm³, de los cuales se consideraron 2.8 Mm³ como embalse muerto.

La Central entró en operación en 1955, experimentando desde su inicio un gran aporte de sedimentos derivados de la construcción de la vía Simón Bolívar, la presión colonizadora a la cuenca del Río Digua y la susceptibilidad de estos suelos a ser erosionados, dada su litología y estructura geológica joven y además cruzada por importantes fallas; así mismo la zona presenta una alta precipitación (entre 6000 y 10000 mm al año), una buena cobertura bosques naturales (84% aprox)[1], sin embargo dadas las condiciones de precipitación, la conformación geológica, la intervención antrópica y altas pendientes, la tasa de sedimentación es alta.

Debido a las circunstancias descritas, el embalse quedó prácticamente sin capacidad de almacenamiento a partir de 1960 y desde esta fecha el embalse ha mantenido una capacidad útil que oscila entre 0,15 Mm³ y 1,2 Mm³ con un promedio de 0,5 Mm³ lo cual hizo necesario el montaje de un sistema de dragado de sedimentos del embalse con el propósito de conservar la operatividad de la Central Hidroeléctrica Bajo Anchicayá.

El tránsito de sedimentos para mantener y/o recuperar la capacidad útil de almacenamiento del embalse se ha venido realizando especialmente a través de la operación de un sistema hidráulico flotante (Draga), una pala de captura de sedimentos gruesos y rocas del tipo cangilón denominada Sawerman, así como el rastrillo limpia rejillas y un gancho tipo almeja (ver tabla I). De forma paralela a la operación de estos equipos, desde 1.960 a 2.001 se utilizaron las compuertas de descarga de fondo¹ de manera periódica y frecuente para mantener limpia la bocatoma para generación. También se debe considerar las turbinas y el rebosadero como estructuras por donde transitan sedimentos. Se estima que en total, todos estos equipos y estructuras dan tránsito a un volumen de sedimentos estimado entre 2,0 y 4,0 Mm³/año de los cuales el 30% es atrapado en el embalse.

Tabla I. Equipos para el tránsito de sedimentos adicionales a las compuertas de descarga de fondo y fecha de su entrada en operación.

Equipo	Entrada en Operación
Rastrillo limpia rejillas	1955
Sistema hidráulico flotante (draga)	1962
Gancho tipo almeja	1968
Pala tipo cangilón (Sawerman)	1976

Fuente: Archivo EPSA

Es de resaltar que en las anteriores oportunidades en las que se presentó una acumulación de sedimentos considerable se contaba con la operación de las compuertas de la descarga de fondo como principal estructura

¹ En el año 2001 se efectuaron labores de reparación y mantenimiento de la Central Hidroeléctrica Bajo Anchicayá consistente en un vaciado del embalse a través de las descargas de fondo. Después de este evento la operación de las descargas de fondo se prohibió por parte de las autoridades hasta tanto se autorice un protocolo para realizarlas. En la actualidad el tránsito de sedimentos solo se ejecuta en virtud de los equipos descritos en la tabla número 1.

para la evacuación de sedimentos con embalse lleno (antes de 2.001) y con los equipos que paulatinamente entraron a robustecer el sistema de tránsito de sedimentos de la Central Hidroeléctrica Bajo Anchicayá.

Ante la imposibilidad de realizar las descargas de fondo, se ha venido presentando una situación de mayor acumulación de sedimentos. Esta problemática de sedimentación obligó a replantear el esquema de operación y mantenimiento actual hacia un nuevo enfoque denominado gestión sostenible de sedimentos en embalses; entendido este como aquellas actividades que conlleven a minimizar la tasa de pérdida de volumen del embalse y lograr un balance entre la entrada y descarga de sedimentos mientras se maximiza el volumen de almacenaje u otros beneficios [2]. Así mismo se busca un buen y máximo de tiempo (indefinido) posible de funcionamiento de la central, la seguridad de la presa y del territorio, garantizar un mínimo impacto al ambiente; para ello se deben tener en cuenta procesos como el régimen hidrológico, erosión del suelo, cambio climático, el ambiente y ecosistemas. Además los actores en la cuenca, el uso del territorio, otros usos del agua, gestión de riesgos contra inundaciones, navegabilidad, pesca, turismo, etc. [3]

Metodología

De acuerdo a Peviani (2015) no existe un sólo método para recuperar la capacidad de un embalse, los mejor es la combinación de intervenciones guiadas desde un proyecto de gestión que permita: remoción mecánica eficiente, transito de sedimentos durante el proceso de operación de turbinas y presa de la central, dilución del flujo mínimo de sedimentos, con un mínimo impacto al ambiente. De manera complementaria Morris (2015) plantea que para lograr una gestión sostenible de sedimentos se debe evaluar: cambios operacionales, cambios estructurales, alcances de monitoreo de la actividad y de aspectos e impactos ambientales. Finalmente

se evaluaron los siguientes aspectos: 1) Evaluación del contexto 2) Posible reducción de influjo de sedimentos, 3) Tránsito de sedimentos durante la operación de la central, 4) adaptación a la sedimentación. 5) Monitoreo y 6) trámites ambientales.

Implementación

Teniendo en cuenta los aspectos planteados en la metodología, a continuación se describen las actividades desarrolladas en cada uno de ellos:

1. Evaluación del contexto: para ello se tuvo en cuenta toda la información secundaria y primaria de las características biofísicas y socioeconómicas de la cuenca del río Anchicayá (unidad de análisis), que EPSA ha compilado y levantado durante los últimos 15 años en aspectos como: hidrología, hidráulica, estudios de riesgos, calidad del agua, recursos hidrobiológicos, mapas de actores y uso actual y potencial del territorio, así como las características socioeconómicas y culturales.

2. Posible reducción del influjo de sedimentos: Se evaluó este aspecto teniendo en cuenta la gestión de la cuenca alta en cuanto a la reducción de sedimentos así como estructuras para atrapar sedimentos aguas arriba del embalse.

3. Tránsito de sedimento durante la operación de la central: en este ítem se evaluaron las condiciones actuales de los equipos electromecánicos (ver tabla I), suministro de energía eléctrica y los diferentes elementos que permiten el tránsito de sedimentos en el embalse.

4. Adaptación a la sedimentación: Se evaluaron los diferentes procedimientos para la operación de equipos electromecánicos, es decir se realizó una revisión al detalle de los procedimientos de operación tanto de los horarios y estrategias de trabajo como la calidad y eficiencia del recurso humano responsable de la operación en el embalse.

5. Monitoreo: el monitoreo se programó teniendo en cuenta aspectos hidráulicos (batimetría), eficiencia en las diversas actividades para el tránsito de sedimentos en especial el dragado; en cuanto al componente ambiental se definió el siguiente monitoreo a corto plazo.

5.1 Estaciones de muestreo: se establecieron cuatro estaciones: cola del embalse, Pie de torre de toma, tramo reducido y después de la descarga de la casa de máquinas.

5.2 Parámetros a considerar: para evaluar los parámetros se dividieron en dos grupos a saber: el primer grupo (Grupo 1) se compone de los parámetros susceptibles de medir en campo y el segundo grupo (Grupo 2) se compone de los parámetros que se deben medir en condiciones de laboratorio; en este sentido se distribuyen así:

- Grupo 1: pH, temperatura, OD, conductividad, turbiedad, sólidos sedimentables (cono imhoff) y color.
- Grupo 2: Fosfatos (fosforo total), nitritos, nitratos (nitrógeno total), hidrocarburos, mercurio, sulfatos, DBO, Sólidos Suspendidos Totales (SST), COT, ácido sulfhídrico, así como coliformes fecales y totales.

5.3 Intensidad y periodicidad: al inicio de actividades se deben tomar muestras de manera simultánea en las cuatro estaciones de monitoreo de la siguiente manera:

- Etapa 1.
 - a) Grupo 1: durante siete días, tres veces al día: al inicio de operaciones, al intermedio de la operaciones y al finalizar las operaciones.
 - b) Grupo 2: día de por medio desde el inicio de las actividades, para un total de cuatro muestras, tres veces al día: al

inicio de operaciones, al intermedio de la operaciones y al finalizar las operaciones.

- Etapa 2.
- a) Grupos 1 y 2: Al término de la etapa 1, se continúa con el muestreo de manera simultánea ambos grupos durante seis meses. Los primeros tres meses se realizarán dos muestras por mes y en los tres meses restantes se realizará una muestra por mes. En todos los casos la muestra se tomará durante la operación intermedia.

El monitoreo a largo plazo incluye diez (10) estaciones de muestreo que van desde la cola del embalse hasta la desembocadura del río Anchicayá en el océano pacífico, más de 34 parámetros fisicoquímicos del agua, estudios hidrológicos e hidráulicos y el componente hidrobiológico con los siguientes grupos: peces, fito y zoo plancton, perifiton, macrofitas acuáticas y macroinvertebrados acuáticos, así como el desarrollo de un estudio que permita conocer la relación de estas variables con el conocimiento ancestral local desde un enfoque etnobiológico. Este monitoreo tiene una duración de dos años con una periodicidad bimestral que permita obtener datos en diferentes condiciones hidrológicas del río Anchicayá.

6. *Trámites ambientales:* La CHBA actualmente cuenta con plan de manejo ambiental (PMA) aprobado por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) bajo las Resoluciones: 1533 de 2015 y 0519 de 2016. En este sentido se evaluó el alcance del trámite ante la ANLA con respecto a las actividades de gestión de sedimentos a desarrollar. Se evidenció que las actividades se enmarcan en lo establecido Resolución No. 0376 del 2 de marzo de 2016 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, es decir que se enmarcan dentro del giro ordinario o cambio

menor, por lo tanto no obliga modificar el PMA.

Resultados

A continuación se presenta una síntesis con resultados relevantes.

1. Evaluación del contexto: De manera general, se podría indicar que la cuenca hidrográfica del río Anchicayá se encuentra localizada en la vertiente occidental de la cordillera occidental, cuyos referentes son su nacimiento en la unidad geomorfológica denominada Farallones de Cali y su desembocadura en el océano pacífico especialmente en la bahía de Buenaventura.

Teniendo en cuenta que su origen geológico es relativamente joven, un relieve con altas pendientes y una precipitación alta (entre los 6.000 y 10.000 mm año), los suelos son muy susceptibles a la erosión, pese a una cobertura de bosque natural del 84.7% [1]. En este sentido se podría inferir que la tasa de sedimentación es muy alta en comparación con otras cuencas del país.

Desde el punto de vista social, la cuenca sólo cuenta con una población aproximada de 9.000 habitantes distribuidos especialmente en su parte alta y baja, donde predominan personas provenientes de la diáspora africana organizados en consejos comunitarios de comunidades negras. En la parte alta de la cuenca predominan mosaicos de pastos para ganadería con el bosque natural y cultivos de Plátano, banano y cacao; en la parte baja predominan mosaicos de bosque natural con cultivos del Bananito, Papachina, Borojó, Caña de Azúcar, Chontaduro, entre otros. Se resalta el gran aporte a la sedimentación en la parte alta y media por actividades como: la minería ilegal, cultivos de uso ilícito, deforestación y el transporte por la vía Simón Bolívar; Antigua carretera que comunica de manera recíproca Cali con Buenaventura, toda vez que los taludes que conforman la vía son susceptibles de

deslizamiento especialmente de temporada de lluvias altas en la cuenca.

La hidrología del río Anchicayá se caracteriza por su régimen torrencial con un caudal promedio de $86 \text{ m}^3/\text{s}$ y mínimo de $26 \text{ m}^3/\text{s}$, el máximo caudal registrado es de $1200 \text{ m}^3/\text{s}$ y el promedio de caudales instantáneos máximos anuales es del $796 \text{ m}^3/\text{s}$. [4]. Los sucesos relacionados con estas características, acrecentadas por el cambio climático y combinadas con los procesos de aporte de sedimentos y otros elementos sólidos al río anteriormente descritos, afectan gravemente la operación y mantenimiento de la central (ver figura 1)



Figura 1. Palizada de creciente súbita en noviembre de 2017, ocasionó: parada de central por una semana, daño en cable de la draga (azul) entre otros.

Desde el punto de vista ecológico se puede considerar que la cuenca y en especial el río Anchicayá tienen una alta resiliencia, lo que le permite una oportuna recuperación a sus condiciones iniciales frente a tensiones ambientales como por ejemplo la contaminación por aguas residuales. Dicha resiliencia está promovida por: una alta cobertura vegetal, una alta biodiversidad tanto terrestre como acuática, una baja densidad poblacional, baja actividad industrial o de operación sostenible y una importante área resguardada como reservas naturales tales como: el Parque Nacional Natural Farallones de Cali, La Reserva Forestal del Pacífico, Reserva Forestal del Anchicayá; sin embargo tensiones ambientales mencionados con anterioridad como: el incremento en la pérdida

de la cobertura vegetal aún en áreas protegidas, la ampliación de los cultivos de uso ilícito, la llegada y/o retorno de más habitantes a la cuenca y la contaminación por minería ilegal entre otros están poniendo en riesgo la capacidad de resiliencia del río Anchicayá.

2. Posible reducción del influjo de sedimentos:

De acuerdo a Morris [2] y Peviani [3] una opción de reducir el influjo de sedimentos es atraparlos aguas arriba del embalse mediante presas de intercepción. En los años 1958 y 1961 se construyeron dos diques: los sectores la Playita y Km 89 respectivamente sobre el río Anchicayá; estos diques fueron rápidamente colmatados y a la fecha no se encuentran en funcionamiento toda vez que en su momento fueron abandonados por la alta demanda de mantenimiento que exigen este tipo de estructuras y los daños a estas por las características de torrencialidad del río.

Para la reducción de sedimentos EPSA en convenio con el Parque Nacional Natural Farallones de Cali han realizado procesos de revegetalización especialmente en microcuencas abastecedoras de agua y/o afectadas por la erosión por pata de vaca. Dicha revegetalización se ha desarrollado en dos procesos: restauración y aislamiento en áreas de 105 Ha y 120 Ha respectivamente (ver figura 2).



Figura 2. Aislamientos para evitar erosión pata de vaca por la actividad ganadera.

3. *Tránsito de sedimento durante la operación de la central:* Como producto de la evaluación de los equipos electromecánicos (ver tabla I), se evidenció la necesidad de: realizar (i) mantenimiento preventivo a los componentes principales al equipo denominado Sawerman y se construyó cabina de insonorización, (ii) el cambio de la Draga (Sistema hidráulico flotante) por un nuevo sistema con las mismas características de flotabilidad y versatilidad, buscando con ello una mayor eficiencia de dragado en términos de consumo de potencia eléctrica por cada metro cúbico de mezcla agua-sedimento dragado. Mientras este cambio se hace, se realizaron mantenimientos preventivos a los componentes principales de la draga y se actualizó el cuarto de control, así mismo se reparó el cable de alimentación del motor el cual dañado por creciente.

En cuanto al equipo denominado Almeja se identificó que actualmente no es eficiente para la actividad de dragar los sedimentos próximos a la torre de toma. Teniendo en cuenta lo anterior se diseñó un nuevo sistema de almeja más seguro y eficiente (ver figura 3)

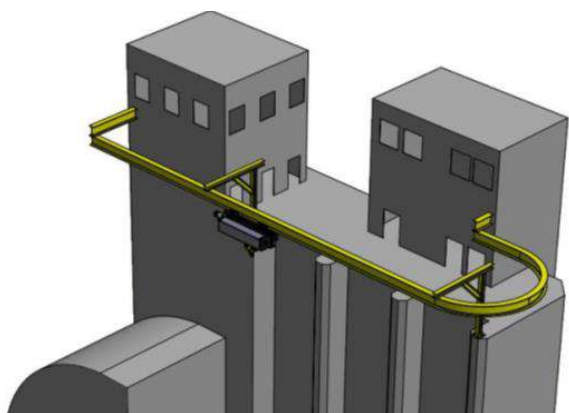


Figura 3. Diseño nuevo sistema de almeja

Este nuevo sistema de almeja además de mejorar la capacidad y tiempo de extracción de sedimentos proporciona una mejor seguridad y salud en el trabajo para los operadores. El sistema consiste en un dispositivo mecánico de acero que posee dos mordazas que se configura en forma de almeja, el cual es accionado por cables a través de un sistema de malacates

electromecánicos que se soporta sobre una estructura metálica anclada a la bocatoma (ver figuras 4 y 5)



Figura 4. Izq. Instalación de nuevo sistema de almeja anclado a bocatoma. Der. Barcaza, antiguo sistema de almeja.



Figura 5. Mordazas (almeja) a instalar en estructura metálica.

Dadas las condiciones de sedimentación del embalse, se evidenció la necesidad de la entrada de operación de un equipo que permita aliviar la carga de los sedimentos sobre la presa. Este equipo adicional de extracción de sedimentos se le denominó “Dragalina” y entró como refuerzo para lograr un mantenimiento adecuado del embalse. Su función principal se centra en mitigar de manera oportuna el alto riesgo de volcamiento y/o deslizamiento de la presa, liberando la presión de la cara de la presa que actualmente se encuentra en contacto con el sedimento.

La Dragalina es un equipo que se soporta sobre pontones flotables o en tierra firme; consiste en

operar una pluma de celosía o brazo con libertad de rotación, el cual mediante un sistema de cables, poleas y malacates alarga u contrae la ubicación de un balde, cucharón o almeja (tiene la capacidad de intercambiar el instrumento de extracción final de acuerdo con la necesidad); al contraerse este arrastra y recoge material de sedimentación del río (ver figura 6)

Toda vez que los equipos funcionan con motores eléctricos y como medida para mejorar su confiabilidad se realizó la actualización del circuito de 4,1 kV y 6,9 kV del embalse así mismo se realizó remplazo de transformadores y la recuperación de la acometida de la draga.



Figura 6. Dragalina en operación.

4. *Adaptación a la sedimentación:* como se ha observado en el transcurso de este documento, la gestión sostenible del sedimento oblige a la modernización del sistema tránsito de sedimentos encaminados al mantenimiento del embalse mediante la reposición y actualización tecnológica de los equipos ya descrito. En este sentido se proyecta que los volúmenes de sedimentos a transitar no sean excedidos frente aquellos que consignados en el plan de manejo ambiental de la central hidroeléctrica del Bajo Anchicayá y que equivalen a 1.093.945 m³/año.

Para lograr lo anterior se redistribuyó la operatividad de los equipos en turnos de trabajo específico; esto permite la reducción en

tiempo y el aumento de la confiabilidad de los sistemas de extracción.

En la figura 7 se enseña la distribución de operación en el embalse y en la tabla II, Se plantea la nueva estrategia de operación para la extracción de sedimentos teniendo en cuenta la totalidad de los equipos electromecánicos y

5. *Monitoreo:* El monitoreo se inició con la operación de la Dragalina y se tomaron como parámetros de referencia el oxígeno disuelto (OD) y el pH y como valores límite o de contingencia 4,0 mg/l y entre 5,5-8,5 respectivamente. Como resultado del monitoreo de calidad de agua se enseñan a manera de resumen en las tablas III y IV.



Figura 6. Distribución de equipos electromecánicos para el tránsito de sedimentos en el embalse

Equipo	Draga	Dragali	Equipo de Arrastre	Almeja	Rastrillo
Capacidad (m ³ /h)	235	31	58	15	1
Estimado de material retirado por año	850.000	74.100	239.616	3.420	900
Horas disponibles de operación (hora/día)	24	24	24	24	24
Horas en mantenimiento, desplazamiento (hora/día)	5,858	13,789	6,345	22,691	10,680
Total horas netas de operación (hora/día)	18,142	10,211	17,655	1,309	13,320
Proporción de sedimentos (%)	70	90	90	67	20
Transporte de sedimentos permitido (m ³ /año)	775.933	74.074	239.614	3.420	900
Transporte de sedimentos permitido incluyendo los equipos de apoyo (m ³ /año)	850.007		239.614	3.420	900
Tránsito Total de sedimentos (m ³ /año)	1.093.942				

Tabla II. Estrategia de operación y cantidad de sedimentos a Transitar por año.

Tabla III. Valores promedio de OD y pH en puesta a punto de operación Dragalina

Río Anchicayá	Entrada Embalse	Salida Embalse
OD: 8 mg/l pH: 7,3	OD: 6,2 mg/l pH: 6,9	OD: 7,8 mg/l pH: 7,0

Tabla IV. Valores promedio de OD y pH durante operación dragalina y equipo de arrastre (Sawerman)

Río Anchicayá	Entrada Embalse	Salida Embalse
OD: 8 mg/l pH: 7,3	OD: 6,2 mg/l pH: 6,9	OD: 7,8 mg/l pH: 7,0

Como se puede observar los parámetros y los valores límite se mantienen en el rango normal para el buen desarrollo de la biota acuática.

6) *Trámites ambientales:* La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales aprobó la propuesta de mantenimiento, reposición y modernización de equipos teniendo en cuenta que las actividades propuestas se enmarcan en lo establecido Resolución No. 0376 del 2 de marzo de 2.016 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, es decir que se enmarcan dentro del giro ordinario o cambio menor.

Conclusiones

- La gestión sostenible de sedimentos (GSS) es una herramienta indispensable para el mantenimiento y la sostenibilidad de la central hidroeléctrica del Bajo Anchicayá
- La GSS contribuye a implementar acciones que minimicen el impacto al ambiente y a las comunidades del área de influencia así como mejorar la seguridad de la presa y ampliar la capacidad del embalse
- La GSS permitió pasar de una mínima capacidad de generación entre 5 y 10 MW a entre 20-37 MW en sólo 2 meses de la implementación de su fase operativa.

Referencias bibliográficas

- [1] Universidad del Valle, Unidad Administrativa Especial de Parques Nacionales y corporación autónoma regional del valle del cauca (CVC). Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Anchicayá. Convenio 168/03. Buenaventura: informe diagnóstico formato digital, 2007. 155 p.
- [2] Morris G. & Porlatín J, (2015) Manejo de Sedimentación en Embalses Hidroeléctricos, 1er taller sobre gestión de sedimentos en embalses en Colombia, Consejo Nacional de Operación, Bogotá. Recuperado de: <https://www.cno.org.co/sites/default/files/documentos/noticias/1-GREGORY%20MORRIS%20-ESP-%20Sedimentaci%C3%B3n%20de%20Embalses-Presentaci%C3%B3n%20CNO-Mayo%202015.pdf>
- [3] Peviani M. (2015) Marco regulatorio, Implementación de programas de manejo sostenible de sedimentos. 1er taller sobre gestión de sedimentos en embalses en Colombia, Consejo Nacional de Operación, Bogotá. Archivo digital EPSA.
- [4] Archivo interno EPSA.

Henry Nelson Vargas Lozano M.Eng, Energías Renovables y Sostenibilidad Energética. Ecólogo. Ambiental Centrales Hidráulicas. Generación Hidráulica EPSA. Experiencia en gestión ambiental y gestión sostenible de centrales hidráulicas.
Tel: (57) (2) 321 0000 Ext: 53047
Celular: (57) 3206178367
Calle 15 No. 29B-30 Autopista Cali-Yumbo
E-mail: hnvargas@celsia.com
Jamundí – Colombia