

ESTADO DEL ARTE DE LAS INVESTIGACIONES SOBRE LAS CENTRALES HIDROELECTRICAS EN COLOMBIA Y SU IMPACTO AMBIENTAL

**CARLOS ANTONIO ACERO DUCUARA
JEFERSON SANCHEZ CADENA**



**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIPLOMADO DE HIDROTECNIA
BOGOTÁ
2017**

**ESTADO DEL ARTE DE LAS INVESTIGACIONES SOBRE LAS
CENTRALES HIDROELECTRICAS EN COLOMBIA Y SU
IMPACTO AMBIENTAL**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO CIVIL**

**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIPLOMADO DE HIDROTECNIA
BOGOTÁ
2017**

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	8
LISTA DE FIGURAS	9
INTRODUCCIÓN	5
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
2. OBJETIVOS	7
2.1 OBJETIVO GENERAL	7
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
3. JUSTIFICACION	8
4. DISEÑO METODOLOGICO	9
4.1 ENFOQUE	9
4.2 TIPO DE INVESTIGACION	¡Error! Marcador no definido.
4.3 POBLACIÓN Y MUESTRA	¡Error! Marcador no definido.
4.4 FASES DE INVESTIGACIÓN	¡Error! Marcador no definido.
4.5 ANÁLISIS DE DATOS	11
5. MEGA EMBALSES DE GENERACION ELECTRICA Y SUS IMPACTOS AMBIENTALES	12
5.1 IMPACTOS AMBIENTALES GENERALES DE LOS MEGA EMBALSES CON CENTRALES HIDROELÉCTRICAS	13
5.1.1 Etapa de construcción	14
5.1.2 Etapa de operación	15
5.2 CARACTERIZACION Y VALORACION DE IMPACTOS AMBIENTALES ESPECÍFICOS EN CENTRALES HIDROELÉCTRICAS EVALUADAS	17
5.2.1 Central hidroeléctrica Sogamoso	18
5.2.2 Central hidroeléctrica Betania	22
5.2.3 Central hidroeléctrica Urra I	27
5.2.4 Central hidroeléctrica de Guavio	32
6. ANÁLISIS DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS POR CADA CENTRAL HIDROELECTRICA	36
6.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS	40
7. CONCLUSIONES	42
8. RECOMENDACIONES	44
9. BIBLIOGRAFIA	45

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Cuadro resumen de población y muestra	9
Tabla 2: Daños al medio ambiente en la construcción	14
Tabla 3: Daños al medio ambiente durante el llenado y operación	15
Tabla 4: Hidroeléctrica Ituango	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 5: Hidroeléctrica Betania	24
Tabla 6: Impactos ambientales Represa Betania	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 7: Área de influencia hidroeléctrica el Quimbo ..	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 8: Hidroeléctrica el Quimbo	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 9: Comunidades afectadas por la hidroeléctrica El Quimbo	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 10: Hidroeléctrica Urrá.....	29
Tabla 11: Impactos ambientales Represa Urrá.....	31
Tabla 12: Hidroeléctrica del Guavio	33
Tabla 13: Impactos ambientales Hidroeléctrica del Guavio	35
Tabla 14. Características generales de la central hidroeléctrica Sogamoso.....	38
Tabla 15. Características generales de la central hidroeléctrica Ituango	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 16. Características generales de la central hidroeléctrica Betania	38
Tabla 17. Características generales de la central hidroeléctrica El Quimbo...	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 18. Características generales de la central hidroeléctrica Urra	39
Tabla 19. Características generales de la central hidroeléctrica El Guavio	39
Tabla 20. Resultado de los criterios ambientales	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localización central hidroeléctrica Sogamoso	19
Figura 2: Central Hidroeléctrica Sogamoso	21
Figura 3: Localización hidroeléctrica Ituango	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4: Hidroeléctrica Ituango	¡Error! Marcador no definido.
Figura 5: Hidroeléctrica Betania.....	24
Figura 6: Localización central hidroeléctrica el Quimbo	¡Error! Marcador no definido.
Figura 7: Hidroeléctrica el Quimbo.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 8: Localización Central Hidroeléctrica Urrá	28
Figura 9: Hidroeléctrica Urrá.....	28
Figura 10: Hidroeléctrica del Guavio	32
Figura 11: Hidroeléctrica del Guavio	33

INTRODUCCIÓN

Actualmente en Colombia la generación de energía eléctrica a partir de hidroeléctricas es considerado como uno de los sectores con mayor importancia y sensibilidad en temas económicos y sociales, ya que por medio de generación de electricidad se impulsa el crecimiento de las industrias y desarrollo de las ciudades, significando para el país uno de sus principales pilares económicos.

Por medio de las centrales hidroeléctricas, en nuestro país se produce el 69,93% de la energía eléctrica, que corresponde a una capacidad efectiva neta mensual de 11,606.4 MW, esto hace parte del progreso de las ciudades como mejora de la calidad de vida de la población. Estas centrales se distribuyen a lo largo del territorio nacional, teniendo en cuenta que su construcción genera grandes impactos ambientales.

El proceso de construcción al igual que la operación de las centrales hidroeléctricas es bastante complejo, ya que tiene efectos adversos sobre el ambiente a causa de las grandes áreas que deben ser inundadas, sumado a la captación del recurso hídrico que desencadena la destrucción de los hábitats generando desplazamiento de fauna, y la tala de árboles que aumenta los procesos de erosión, entre otros, que cambian por completo el equilibrio de los ecosistemas.

Por lo anterior, se elabora el presente trabajo enfocado a realizar una recopilación de investigaciones acerca de centrales hidroeléctricas en Colombia, para contrastarlas con investigaciones sobre los impactos ambientales causados por la construcción de dichas centrales hidroeléctricas.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad las centrales hidroeléctricas en Colombia generan el 69,93% del total de energía eléctrica producida en el país, lo cual equivale a una capacidad efectiva neta mensual de 11,606.4 MW¹, convirtiéndolas en la principal fuente de generación eléctrica, es por ello por lo que la construcción de centrales hidroeléctricas a lo largo de todo el territorio le ha significado al país encaminarse a ser líder en cuanto a generación de energía.

La implementación, operación y puesta a punto de una obra de este tipo trae consigo crecimiento económico, sin embargo, contrario a lo que se piensa la construcción de estos proyectos también implican una serie de impactos negativos sobre los ecosistemas que se traduce principalmente en el detrimento o pérdida de bienes y servicios ambientales.

Colombia posee un número reducido de grandes represas que superan los 15 metros, estas aprovechan la energía hidráulica teniendo en cuenta que el potencial promedio anual en macrocuencas es de 52,658 MW², la necesidad de aprovechar el potencial hidroenergético a lo largo del territorio, pone en evidencia en la actualidad la necesidad de recopilar información que reúna e informe sobre las características de las centrales hidroeléctricas de embalse, así como los impactos ambientales producidos durante la operación, por esto la pregunta orientadora del presente documento es:

¿Cuáles son los impactos ambientales producidos por los grandes embalses destinados a la generación de energía eléctrica?

¹ SISTEMA DE INFORMACION ELECTRICO COLOMBIANO. Informe mensual de variables de generación y del mercado eléctrico colombiano –diciembre de 2016 [en línea]. <http://www.siel.gov.co/portals/0/generacion/2016/Segui_variables_dic_2016.pdf> [Citado en 11 de abril de 2017]

² IDEAM. Estado de la evaluación del potencial hidroenergético de Colombia [en línea]. <<https://mundoroto.files.wordpress.com/2011/10/presentacion3b3n-potencial-hidro-energetico-colombia.pdf>> [Citado en 5 de mayo de 2017]

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Señalar los posibles impactos ambientales generados por centrales hidroeléctricas en Colombia.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Recopilar información secundaria a través de bibliografía sobre centrales hidroeléctricas en el territorio nacional.

Identificar a través de fuentes documentales, los impactos ambientales generados por centrales hidroeléctricas en Colombia.

Cotejar la información consultada de las fuentes documentales

3. JUSTIFICACION

La energía hidroeléctrica es muy importante, en respuesta a que produce la mayor parte de energía eléctrica del país, de manera relativamente económica, con recursos hídricos que en teoría son renovables sin aportar al medio ambiente emisiones de dióxido de carbono ni de otros contaminantes. Sin embargo, la construcción y operación genera un impacto ambiental negativo, dado que con el tiempo se produce un cambio en el ciclo normal de los ecosistemas.

Los impactos ambientales identificados en el presente documento, fueron causados por las centrales hidroeléctricas Sogamoso, Betania, Urra I y Guavio. Donde a causa de la pésima calidad del agua, la cual se presta proliferación de vectores de enfermedades, pérdida de cobertura y cambios en la cobertura vegetal, aumento de la demanda de oxígeno³,

El presente documento tiene como fin determinar los impactos ambientales de las centrales hidroeléctricas existentes, en su etapa de operación para que no se repita casos como el Quimbo e Hidrohituango, donde de acuerdo con el plan de manejo ambiental, dentro del área de influencia directa e indirecta tiene al menos 27 impactos sobre el medio físico, biótico y social⁴.

³ BERMUDEZ, Carlos. Participación ciudadana y acción colectiva de los ciudadanos rurales del municipio de Ituango en la primera fase de construcción de la central hidroeléctrica pescadero Ituango, 2007-2011. Medellín. 2012. Trabajo de Grado

⁴ AMAYA, Juan. Descripción analítica del proceso de construcción del proyecto hidroeléctrico el Quimbo. Trabajo de Grado para optar al título de Sociólogo: Facultad de ciencias sociales. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2015. 116 p.

4. DISEÑO METODOLOGICO

4.1 ENFOQUE

Este documento se desarrolla debido a la falta de comparación de los impactos producidos en las grandes centrales hidroeléctricas con el fin de establecer semejanzas y diferencias entre los mismos.

El presente trabajo de investigación presenta un enfoque cualitativo, ya que con la información recopilada de fuentes documentales primarias y secundarias, se describirán los daños causados al medio ambiente debido a la construcción de embalses destinados a la generación de energía eléctrica.

En alcance del presente documento es el análisis de 4 mega embalses que se encuentran en etapa de operación, cuyo volumen de agua embalsada supera el 1.000'000.000 m³.

Tabla 1: Cuadro resumen de población y muestra

CENTRAL HIDROELECTRICA	VOLUMEN DEL EMBALSE (M ³)	UBICACIÓN
Sogamoso	4800 millones de m3 de agua	Zona nororiental de Colombia, en el departamento de Santander.
Betania	1971 millones de m3 de agua	Ubicada sobre el río Magdalena, a unos 30 kilómetros al sur de Neiva, capital del departamento del Huila.
Urra I	1600 millones de m3 de agua	Está localizada al sur del departamento de Córdoba en el noroccidente colombiano, a una distancia de 110 kilómetros desde Montería.

Guavio	1043 millones de m3 de agua	Está localizada a 120 km al noroccidente de Bogotá, en el departamento de Cundinamarca en Colombia.
--------	-----------------------------	---

Fuente: Elaboración propia.

Para el presente estudio se tuvieron en cuenta múltiples investigaciones, entre ellos se encontraron dos documentos técnicos con los cuales se compilaron las características técnicas de los proyectos que forman mega embalses para el aprovechamiento hidroeléctrico, de igual manera se consultaron diversas investigaciones científicas con fuentes documentales acerca del impacto ambiental producido por las mismas.

Para efectos académicos y datos principales acerca de las represas en Colombia se incluye información que fue posible recopilar; “(i) En nuestro país existen aproximadamente 90 presas pequeñas asociadas generalmente con Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, (ii) actualmente existe aproximadamente 40 grandes presas, (iii) de las cuales ocho represas cuyo volumen de agua embalsada supera los 1.000’000.000 m³ y son destinadas para la generación de energía eléctrica⁵”

4.2 INFORMACION SECUNDARIA CONSULTADA

I. Revisión documental

Consistió en la búsqueda y recopilación de la siguiente información:

⁵ RODRÍGUEZ, Roger. Consecuencias ambientales por falla o rotura de presas en el marco del análisis de riesgos. Maestría en Ingeniería Civil énfasis: Profundización en recursos hidráulicos y medio ambiente. Bogotá D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería. Facultad de Ingeniería civil., 2014. 97 p.

- Estudio del Sector de Energía Eléctrica DNP 1979.
- Estudio Nacional del Agua.
- Investigaciones y estudios de centrales hidroeléctricas en Colombia.
- Investigaciones y documentación de proyectos que forman embalse para el aprovechamiento hidroeléctrico en Colombia.
- Documentación de la caracterización de Impactos Ambientales generados por la construcción de grandes centrales hidroeléctricas en el país.

II. Procesamiento de la información

Una vez obtenida la información listada, se realizó el estudio de la misma teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- Identificación del estado actual de los desarrollos de proyectos hidroeléctricos con embalse.
- Caracterización de Impactos ambientales identificados en los mega embalses.

III. Análisis de la información

Contempló la identificación de impactos ambientales, permitiendo el análisis para determinar las incidencias ambientales por la construcción de las grandes centrales hidroeléctricas de embalse.

4.3 ANALISIS DE DATOS

El análisis fue aplicado a los mega embalses destinados para la generación de energía eléctrica con el objeto de evaluar sus condiciones actuales, así como su situación ambiental, relacionando las investigaciones de centrales hidroeléctricas con estudios de daños a los ecosistemas producidos por su construcción, para facilitar información que permita mejorar la planeación de este tipo de proyectos

hidroeléctricos, tomando decisiones acertadas disminuyendo al máximo los impactos ambientales.

5. MEGA EMBALSES DE GENERACION ELECTRICA Y SUS IMPACTOS AMBIENTALES

La instalación, operación y puesta a punto de una central hidroeléctrica con gran cantidad de agua embalsada, trae consigo un conjunto de impactos sobre el medio ambiente los cuales son generalmente negativos. Es por ello, que para llevar a cabo dichos proyectos se debe tramitar su licencia ambiental, con el fin de llevar un óptimo seguimiento a las actividades que se realicen, evaluando los efectos naturales producidos concretamente las presas y los embalses.

En el caso del presente trabajo de investigación, las centrales hidroeléctricas evaluadas fueron construidas para retener un volumen de agua mayor que 1.000'000.000 m³, algunas de ellas fueron construidas hace más de 20 años por lo cual les hizo una adecuada revisión al daño que pudieron provocar al medio ambiente.

Al ser expedida la ley 99 de 1993, los proyectos hidroeléctricos fueron amparados por un régimen de transición. Esto significa que las centrales hidroeléctricas que se encontraban en operación tuvieron que exhibir un Plan de Manejo Ambiental ante el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (para esa época el MMA– Ministerio de Medio Ambiente), con la finalidad que esta entidad lo evaluara y lo fijara como herramienta de control y seguimiento.

El cuestionamiento a megaproyectos para la creación de embalses de más de 100 km² radica en que estos causan problemáticas como la pérdida irreversible de ecosistemas terrestres productivos, sustituyéndolos por ecosistemas acuáticos que conlleva problemas ambientales múltiples.

5.1 IMPACTOS AMBIENTALES GENERALES DE LOS MEGA EMBALSES CON CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Los embalses son ecosistemas equivalentes a lagos semiartificiales cuyos impactos ambientales se deben tener en cuenta en las etapas de planeamiento, construcción y operación de proyectos hidroeléctricos de esta magnitud, por lo cual es indispensable mencionar características ecológicas básicas de los embalses:

Las variaciones de nivel son mucho más acentuadas, frecuentes e irregulares en períodos cortos y tasas de renovación más elevadas que los lagos, la principal diferencia respecto a los lagos es que, mientras estos suelen desaguar por la superficie, la descarga del agua en las represas sucede en el intermedio o en la profundidad. La biota es variada en los embalses, no obstante, la diversidad de las represas semiartificiales es inferior que la de cuerpos de agua naturales con una composición distinta⁶.

La construcción de una represa y la formación del embalse pueden afectar una serie de procesos y elementos del territorio de tipo ecológico, ya que los grandes proyectos hidroeléctricos se relacionan con el potencial de causar impactos ambientales irreversibles sobre el área de influencia de la presa que se extiende desde los límites superiores de la captación incluyendo la cuenca hidrológica aguas abajo de la represa, las áreas inundables pueden ser áreas fértiles de tierras destinadas a la agricultura⁷.

⁶ MÁRQUEZ, German Y GUILLOT, Gabriel. Proyecto Estudios Ecológicos de Embalses Colombianos: Etapa Prospectiva. Informe Final presentado a FEN – Colombia – Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, 1989.

⁷ BUSTAMANTE, Carlos. Efectos ambientales generados por la construcción y operación de un embalse. Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Civil: Facultad de ingeniería. Sincelejo: Universidad de Sucre. Departamento de Ingeniería civil., 2008. 61 p.

Los impactos causados por la retención de agua tienen que ser examinados analizando el comportamiento del medio ambiente durante la construcción y la operación del proyecto hidroeléctrico de embalse.

5.1.1 Etapa de construcción

Es de suma importancia conocer los impactos que se originan en la ejecución de este tipo de proyectos de infraestructura, porque de esta manera se puede establecer medidas para mitigar y prevenir el daño al medio ambiente durante el proceso constructivo.

En la tabla numero dos se relacionan los impactos ambientales generados a causa de la construcción de los mega embalses.

Tabla 2: Daños al medio ambiente en la construcción

MEDIO AFECTADO	IMPACTOS
Impactos sobre el medio físico	• Disminución de caudales de fuentes de agua, que van a ser captadas para consumo humano e industrial (Todas las actividades). • Disminución de aguas superficiales, por abastecimiento de los niveles freáticos (Construcción de los túneles). • Afectación físico-química de fuentes de agua por vertimiento de aguas residuales de tipo doméstico e industrial (Todas las obras). • Afectación de calidad de agua por incremento de sedimentos (Construcción de infraestructura). • Alteración de calidad del aire, por incremento en la concentración de material particulado, gases y ruido en el área. • Pérdida del recurso suelo. • Potenciación procesos de inestabilidad y erosión, en etapa de construcción de las vías e infraestructura. • Alteración y pérdida de suelos, (Construcción de vías e infraestructura).
El Medio Biótico	• Pérdida de cobertura vegetal, en áreas ocupadas por las obras de infraestructura. • Muerte y desplazamiento de fauna terrestre, por aspectos como atropellamiento, en construcción de vías.

Fuente: Tomado y adaptado de BUSTAMANTE⁸.

5.1.2 Etapa de operación

Debido a que los sistemas hidroeléctricos se basan en la influencia de los afluentes, los impactos generados en la construcción y operación de represas se pueden evidenciar en los cuerpos de agua. Esto quiere decir que los impactos más relevantes se ven reflejados sobre el componente abiótico y corresponden a los cambios morfológicos del cauce y alteración de los lechos de los ríos.

En la tabla tres se relacionan los impactos ambientales generados a causa del llenado y operación de los mega embalses.

Tabla 3: Daños al medio ambiente durante el llenado y operación

MEDIO AFECTADO	IMPACTOS
Impactos Sobre El Medio Físico	• Afectación de las condiciones batimétricas del embalse. • Cambio morfológico y degradación del lecho del río aguas abajo del sitio de presa. • Generación de inestabilidad y erosión en los taludes del embalse. • Alteración de la calidad del agua en el embalse.
El Medio Biótico	• Pérdida de cobertura vegetal y ecosistemas, por el llenado del embalse. Fragmentación de ecosistemas. • Pérdida de hábitats de fauna silvestre por el llenado del embalse. Profusión de macrofitas acuáticas. • Formación de nuevos hábitats acuáticos • Afectación comunidades hidrobiológicas; destrucción de la subienda de especies reofilicas. • Desplazamiento de fauna silvestre.

Fuente: Tomado y adaptado de BUSTAMANTE⁹.

⁸ Ibid., p. 24

⁹ BUSTAMANTE, Carlos. Efectos ambientales generados por la construcción y operación de un embalse. Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Civil: Facultad de ingeniería. Sincelejo: Universidad de Sucre. Departamento de Ingeniería civil., 2008. 61 p.

5.1.2.1 En la zona aguas arriba

Una de las principales afectaciones es el aumento del nivel freático de los terrenos cercanos al proyecto hidroeléctrico, pudiendo generar consecuencias directas sobre la vegetación circunlacustre.

5.1.2.2 En la zona inundada

Teniendo en cuenta que las zonas de valle, de ladera y de montaña cambian el uso del suelo y las prácticas agrícolas, estas son convertidas en un cuerpo de agua artificial que elimina la cobertura boscosa a causa de la inundación provocando descomposición orgánica en el embalse, lo que genera deficiencias en la cantidad de oxígeno disuelto.

El cambio del río a lo largo reduce notablemente la diversidad de especies afectando la fauna terrestre a causa de la destrucción de sus hábitats, la instalación de una infraestructura ajena a los sistemas naturales también podría provocar inestabilidad de taludes a causa de la erosión originada por el oleaje y por la variación frecuente de los niveles de agua, otros impactos producidos son:

- Evaporación de embalses e incremento en la humedad atmosférica
- Estratificación de temperaturas en el embalse, lo que a su vez es origen de una gama de cambios sobre la calidad del agua.

Estos impactos son de difícil predicción y dependen del tipo de presa, del flujo de agua en el embalse, de la velocidad del viento, y de la radiación solar, el paisaje también sufre afectaciones importantes y esto influye en la calidad de vida y el bienestar de la sociedad¹⁰.

¹⁰ Hernández, Camilo. Análisis ambiental de las grandes centrales hidroeléctricas de Colombia aplicando metodología multiobjetivo. Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Ambiental y Sanitario: Facultad de ingeniería. Bogotá: Universidad de la Salle. Programa de ingeniería ambiental y sanitaria, 2011. 120 p.

5.1.2.3 En la zona aguas abajo

La construcción de proyectos hidroeléctricos trae consigo disminución del río aguas abajo del sitio de presa, alterando el régimen de los caudales, erosionando el cauce a causa de la retención de sedimentos aguas arriba afectando la calidad del agua descargada aguas abajo con temperaturas inadecuadas provocando la posible eliminación de nutrientes en el contenido de agua impactando la biota, peces, agroecosistemas.

Cuando se presentan temporadas de lluvias muy intensas, se incrementan los niveles de agua haciendo que las presas superen su capacidad de almacenamiento, obligando la apertura de las compuertas lo cual aumenta los niveles de agua que se trasfiere en las zonas bajas de los embalses, desencadenando grandes inundaciones que terminan por afectar las actividades agropecuarias, antrópicas y el desarrollo de las poblaciones, ocasionando pérdidas humanas.

Los impactos anteriormente mencionados, deben ser estudiados con mayor detenimiento ya que cada embalse tiene sus características particulares y deben ser evaluados de manera individual para definir la magnitud e importancia de los efectos relacionados a cada proyecto de aprovechamiento del recurso hídrico para la generación de energía eléctrica¹¹.

5.2 CARACTERIZACION Y VALORACION DE IMPACTOS AMBIENTALES ESPECÍFICOS EN CENTRALES HIDROELÉCTRICAS EVALUADAS

Se evaluaron los impactos ambientales para cada proyecto hidroeléctrico, teniendo en cuenta que se incluyeron los daños al medio ambiente con mayor relevancia, los cuales se identificaron y clasificaron de acuerdo con su gravedad.

¹¹ Ibid., p. 74

5.2.1 Central hidroeléctrica Sogamoso¹²

Está ubicado en la zona nororiental de Colombia, en el departamento de Santander el conjunto de obras que conforman el proyecto se encuentra ubicado en el cañón donde el río Sogamoso cruza la serranía de La Paz, 62 kilómetros después de la confluencia de los ríos Suarez y Chicamocha y 75 kilómetros antes de su desembocadura en el río Magdalena. La presa y el embalse se localizan en jurisdicción de los municipios de Betulia, Girón, Zapatoca, San Vicente de Chucuri, los Santos, y Lebrija, aguas abajo dentro del área de influencia se encuentran los municipios de Barrancabermeja, Puerto Wilches y Sabana de Torres.

El Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso se empezó a construir en febrero del año 2009 y alcanzó su máxima capacidad el 20 de diciembre de 2014, utilizando las aguas del río Sogamoso para la generación de energía eléctrica (ver tabla 4).

Este embalse alcanzo su capacidad máxima el 27 de abril del año 2017, haciéndose necesario abrir las 4 compuertas del embalse Topocoro, liberando 346 m³/s en tan solo 50 cm de apertura de compuerta, se considera que en el futuro va a ser necesario nuevamente liberar las excedencias de agua, ya que recepciona 2000 m³/s de aguas provenientes de los departamentos de Boyacá y Santander.

Tabla 3: Zonas de influencia Hidrosogamoso

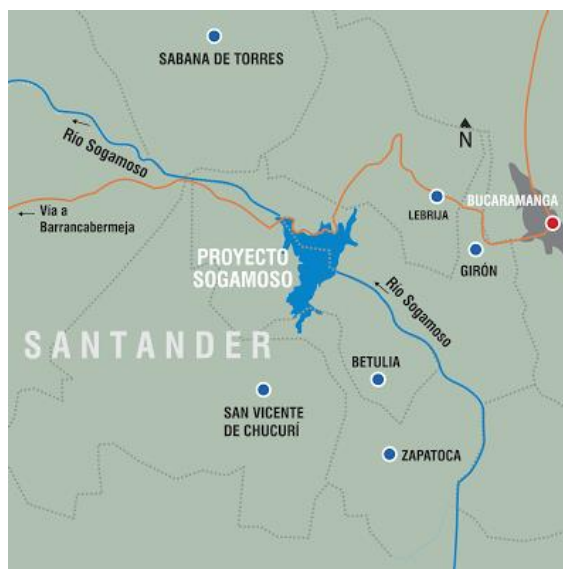
Municipio	Área (hectáreas)				Participación	
	Zona de embalse	Zona de protección	Zonas inestables	Zona de obras	Total hectáreas	%
BETULIA	3346	639	532	246	4763	45.70
GIRRÓN	2557	737	409	8	3711	35.61
ZAPATOCA	745	600	0	0	1345	12.90
LOS SANTOS	150	176	0	0	326	3.13
SAN VICENTE DE CHUCURI	135	139	0	0	274	2.63
LEBRIJA	1	2.5	0	0	3.5	0.03

¹² ISAGEM. Central Hidroeléctrica Sogamoso [en línea]. <<https://www.isagen.com.co/comunicados/Sogamoso2015.pdf>> [citado en 17 de mayo de 2017]

TOTALES	6934	2293.5	941	254	10422.5	100.0
----------------	-------------	---------------	------------	------------	----------------	--------------

Fuente: Tomado de BAUTISTA ¹³.

Figura 1: Localización central hidroeléctrica Sogamoso



Fuente: Consejo Colombiano de Eficiencia Energética.

Tabla 4: Hidrosogamoso

PRESA LATORA	La presa es una estructura bastante robusta del tipo de gravas con cara de concreto. El volumen de los rellenos para su construcción es de 9 millones de m3 y los materiales provienen de zonas de explotación de gravas naturales. Su nombre proviene del dialecto de la comunidad indígena Yariguíes que antiguamente habitaba la región y significa “sitio que domina el río”.
--------------	---

¹³ BAUTISTA, Laura. evaluación ambiental estratégica del componente abiótico en el proyecto hidroeléctrico sobre el río Sogamoso “Hidrosogamoso”. Trabajo de Grado para optar al título de especialista en planeación ambiental y manejo integral de recursos naturales: Facultad de ingeniería. Bogotá: Universidad militar Nueva Granada. Programa de ingeniería ambiental, 2015. 20 p.

EMBALSE TOPOCORO	El embalse almacena el agua que se utiliza para la generación de energía eléctrica. Su extensión es cercana a las 7.000 hectáreas. El nombre Topocoro proviene del dialecto de la comunidad indígena Guane que antiguamente habitaba la región y conocía a Betulia como Topocoro.
VERTEDERO	El vertedero es una estructura que sirve para evacuar los excesos de agua cuando se presenten crecientes que superen la capacidad de almacenamiento del embalse. El canal tiene 72 m de ancho, 354 m de longitud y finaliza con un deflector tipo salto de esquí. Para descargar el agua de manera controlada cuenta con cuatro compuertas radiales de 15 m de ancho y 20 m de alto.
ACCESO A LA CASA DE MÁQUINAS	Estructura subterránea en la que se encuentran instaladas las tres unidades de generación más grandes del país con 15 m de diámetro y 2.618 toneladas cada una. La central se conecta a la subestación sogamoso 230 kV que, mediante tres líneas de transmisión, entrega la energía al Sistema Interconectado Nacional (SIN)
TÚNEL DE DESCARGA	Al finalizar el proceso de producción de energía, el agua utilizada por las unidades de generación regresa al río en su totalidad por esta estructura sin sufrir transformaciones en el proceso.

Fuente: Tomado y adaptado de ISAGEM¹⁴.

Características generales¹⁵

- Volumen de embalse: 4800 millones de m³ de agua
- Cota: 320 msnm
- Altura de la presa: 190 metros
- Longitud de cresta: 345 metros

¹⁴ ISAGEM. Central Hidroeléctrica Sogamoso [en línea]. <<https://www.isagen.com.co/comunicados/Sogamoso2015.pdf>> [citado en 17 de mayo de 2017]

¹⁵ Ibíd., ISAGEM [en línea]. <<https://www.isagen.com.co/comunicados/Sogamoso2015.pdf>> [citado en 17 de mayo de 2017]

- Tipo de turbina: Francis
- Numero de turbinas: 3
- Capacidad total instalada: 820 MW
- Producción anual de energía: 5.056 GWh
- Compuertas: Radiales de 15 m de ancho y 20 m de alto.
- Tiempo de construcción: 6 años
- El caudal medio natural: 471,5 m³/s
- Área de influencia directa: 10422.5 Ha

Figura 2: Central Hidroeléctrica Sogamoso



Fuente: ISAGEM.

En el documento “estudio histórico sobre los territorios de San Vicente de Chucurí y Betulia que serán inundados por la proyectada hidroeléctrica sobre el río Sogamoso 1980-1992”, se evidencia la situación de DDHH e impactos ambientales generados por la hidroeléctrica. Entre los causales del deterioro de los ecosistemas se encuentra el vertimiento de aguas residuales de tipo doméstico e industrial.

El vertimiento de residuos químicos explosivos, aceites y otros combustibles que fueron requeridos para la construcción de las obras que conforman la central hidroeléctrica, las cuales que contaminan el río Sogamoso y las quebradas aledañas han disminuido la pesca.

Caso puntual del deterioro ambiental al que se ha sometido la región es la quebrada las Colonias, que anteriormente era un sitio turístico y de paseos de toda la comunidad aledaña, los pozos naturales han recibido grandes cantidades de

escombros y tierra producto de la construcción de la presa y obras civiles, el ingreso a éstos y la carretera a la vereda Marta han sido cerrados, durante la construcción de las obras, el agua de la quebrada baja llena de tierra por el relleno que se hizo, a causa de la inundación de alrededor de 7.000 hectáreas en las zonas más productivas, lo cual conlleva a la pérdida de bosques y por consiguiente el hábitat de la fauna silvestre, el deterioro de las cuencas adyacentes al río y las ciénagas y humedales alimentados por el río Sogamoso, lo anteriormente expuesto deja en evidencia la grave degradación de los ecosistemas silvestres y acuáticos, alrededor de la zona afectada se cuentan alrededor 71 especies afectadas directamente.

La calidad del aire se vio afectada a causa del paso frecuente de los vehículos, volquetas, máquinas y camiones de transporte de escombros y materiales durante la construcción de la represa ocasionando enfermedades respiratorias por otra parte los ruidos de las explosiones llegaron hasta las viviendas produciendo enfermedades auditivas, especialmente en los sectores de las veredas La Playa y Marta, los más cercanos a las obras del proyecto.

El diagnóstico biofísico ambiental de Santander confirma que el valle del río Magdalena en el departamento de Santander sobre la cordillera oriental, posee amenaza sísmicas complejas y sísmicamente activas, así, es por esto que se vuelve preocupante la estabilidad de la estructura de la presa a causa por la intensidad y frecuencia de los sismos¹⁶

5.2.2 Central hidroeléctrica Betania

la Hidroeléctrica de Betania está ubicada sobre el río Magdalena, a unos 30 kilómetros al sur de Neiva, capital del departamento del Huila, en jurisdicción de los municipios de Yaguará, Hobo y Campoalegre. La represa de Betania se encuentra

¹⁶ NOVOA, Diana y PARDO, Carlos. Estudio Histórico sobre los territorios de San Vicente de Chucurí y Betulia que serán inundados por la proyectada hidroeléctrica sobre el río Sogamoso 1980-1992. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

en la desembocadura del río Yaguara con en el río Magdalena, este proyecto, financiado por la nación, fue inaugurado el 4 de septiembre de 1987 cinco años después la central hidroeléctrica de Betania a causa de la crisis del sector energético a la empresa chilena Endesa en asocio con la Corporación Financiera del Valle compraron el 99,9% de Betania¹⁷.

Figura 4: Localización Central Hidroeléctrica de Betania



Fuente: <https://goo.gl/EN9GAQ>.

El embalse de Betania es una monumental obra acuática del hombre, para construir el embalse fue necesario cortar el libre caudal de Río Magdalena y Yaguará, mediante la excavación de los dos túneles de desviación de 10 metros de diámetro interno, para esto se utilizó una gran cantidad de dinamita, cuyas explosiones fueron adelantadas a la entrada y salida simultáneamente, colocándose una sección transversal circular de concreto de 1 metro de espesor a lo largo de sus 600 metros de longitud, para estos túneles se requirieron 5000 toneladas de acero de refuerzo.

¹⁷ AMAYA, Juan. Descripción analítica del proceso de construcción del proyecto hidroeléctrico el Quimbo. Trabajo de Grado para optar al título de Sociólogo: Facultad de ciencias sociales. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2015. 116 p.

Figura 3: Hidroeléctrica Betania



Fuente: <https://goo.gl/Rc7mm6>.

La represa de Betania se encuentra localizada sobre la cuenca alta del río Magdalena a una altura de 557 msnm. Está ubicada a 35 km de la ciudad de Neiva, al Suroccidente del departamento del Huila, bajo la jurisdicción de los municipios de Campoalegre, Hobo y Yaguará, el área de influencia directa corresponde a los municipios de Hobo, Yaguará, Campoalegre y Gigante en el departamento del Huila, zona comprendida hasta la cota 564 msnm o área de seguridad. El área de influencia indirecta corresponde a los municipios ribereños de la cuenca del río Magdalena los municipios de Garzón, Palermo, La Argentina, Yaguará, Gigante, Salado blanco, Pital, Neiva, Aipe, Villavieja¹⁸.

Tabla 4:Hidroeléctrica Betania

PRESA	La presa fue diseñada de tipo terraplén homogéneo, con un núcleo impermeable y fue construida 200 metros abajo de la confluencia del río Yaguará con el Magdalena, en el sitio Tumburagua, y para el efecto, hicieron un relleno de 100 metros de altura, por 670 de longitud con arena compactada. Un ancho de corona de 10 metros, 6.2 millones de metros cúbicos de volumen.
-------	---

¹⁸ ANGULO, Juan. Estudio comparativo entre los embalses de Betania y el Quimbo, debido a los posibles problemas de Eutrofización. Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Civil: Facultad de Ingeniería Civil. Bogotá: Fundación Universitaria Agraria de Colombia, 2014. 79 p.

DIQUES	Un dique de cierre de 32 metros de altura y 176 de longitud; su volumen total es de 887 mil metros cúbicos con un núcleo impermeable vertical. En la margen derecha del embalse se construyeron 4 diques, entre el estribo derecho y la Serranía Seboruco.
VERTEDERO	El vertedero principal está ubicado en la margen derecha y tiene una capacidad de descarga de 12.000 metros cúbicos por segundo, el auxiliar ubicado un poco más a la derecha, entra en acción cuando aparece con 3 metros de sobrecarga sobre el nivel máximo normal del embalse.
CASA DE MÁQUINAS	Está construida por estructura de hierro y concreto; tiene las siguientes dimensiones: Altura: 52.0 metros, Ancho: 39.6 metros, Longitud: 99.0 metros. Internamente la casa está dividida en 3 pisos
TÚNELES DE CONDUCCION	La captación de las aguas del embalse se toma por medio de 3 túneles provistos de rejas coladeras, 2 pasos de compuertas, una principal de ruedas y otra deslizante auxiliar, en cada uno de los túneles. Se construyen tres túneles de conducción de 570 metros de longitud y 8 metros de diámetro interno, estos túneles conducirla el agua a la casa de máquinas.

Fuente: Tomado y adaptado de ANGULO ¹⁹.

Características generales²⁰

- Volumen de embalse: 1971 millones de m³ de agua
- Cota: 561,2 msnm
- Altura de la presa: 91 metros
- Longitud de cresta: 670 metros
- Tipo de turbina: Francis
- Numero de turbinas: 3
- Capacidad total instalada: 540 MW
- Producción anual de energía: 2,304 GWh
- Tiempo de construcción: 7 años
- El caudal medio natural: 438 m³/s
- Área de influencia directa: 7.400 Ha

¹⁹ ANGULO, Juan. Estudio comparativo entre los embalses de Betania y el Quimbo, debido a los posibles problemas de Eutrofización. Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Civil: Facultad de Ingeniería Civil. Bogotá: Fundación Universitaria Agraria de Colombia, 2014. 79 p.

²⁰ Ibid., p. 58

5.2.2.1 Impacto ambiental hidroeléctrica Betania

La central hidroeléctrica de Betania ha presentado afectaciones aguas abajo de la represa en municipios como Aipe, Villavieja, Pital, Salado blanco, Gigante, Yaguará, Palermo y Garzón entre otros a causa de inundaciones por de la apertura de compuertas en épocas de lluvia. Por ejemplo, en el año 1999 la represa tuvo que aumentar las descargas al río Magdalena hasta 1000 metros cúbicos por segundo por posible rompimiento de la presa; a causa de las inundaciones se han presentado deslizamientos, un claro ejemplo de esto sucedió en el año 2001 a causa del represamiento del lodo en el sector Betania se presentó un deslizamiento en el río Playero dejando a 3000 damnificados incluyendo pobladores del municipio del Playón y otros municipios cercanos²¹

La Universidad Nacional de Colombia y el Instituto Nacional de Recursos Naturales realizaron estudios sobre calidad del agua en los primeros meses de operación , este estudio determinó que habría una contaminación del agua afectando la producción pesquera aguas abajo, dichos estudios no estaban lejos de lo que efectivamente pasó, ya que una vez se llenó el embalse, surgieron especies de fitoplancton en el agua, lo que significa que hay los nutrientes suficientes en el agua para la proliferación de estos organismos, los cuales mediante procesos de sedimentación terminan en el fondo dando origen a procesos de eutrofización, creando un ambiente anóxico²², lo cual provocó en la represa de Betania una gran mortandad de peces causada por procesos de eutrofización, otros impactos ambientales se pueden apreciar en la tabla 5.

²¹ Peña, Gina. Determinación de las afectaciones por inundaciones aguas abajo de la represa de Betania a partir de 1987 mediante la implementación de indicadores de seguimiento. Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Ambiental: Facultad de medio ambiente y recursos naturales. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2016. 87 p.

²² ANGULO, Juan. Estudio comparativo entre los embalses de Betania y el Quimbo, debido a los posibles problemas de Eutrofización. Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Civil: Facultad de Ingeniería Civil. Bogotá: Fundación Universitaria Agraria de Colombia, 2014. 79 p.

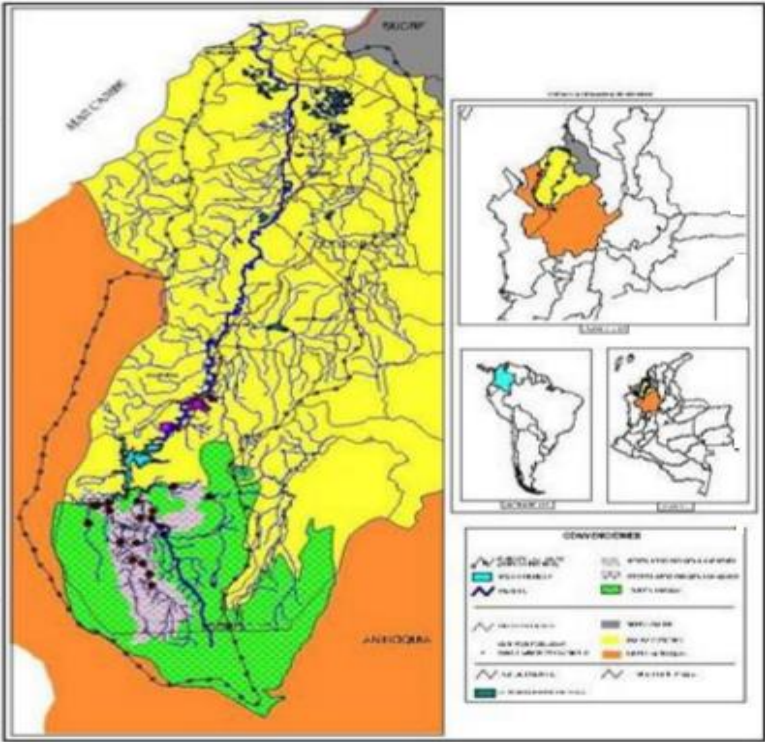
5.2.3 Central hidroeléctrica Urrá I

La Central hidroeléctrica Urrá está localizada al sur del departamento de Córdoba en el noroccidente colombiano, a una distancia de 110 kilómetros desde Montería. La principal fuente de abastecimiento de agua la constituye el río Sinú y sus afluentes que nacen en el Parque Nacional Natural Paramillo; las obras principales del proyecto multipropósito de Urrá, se encuentran localizadas sobre el río Sinú, 60 km al sur del municipio de Tierralta²³ (Ver figura 8).

En Julio 22 de 1993 comienza la construcción la hidroeléctrica Urrá I, cuyas ventajas traería amortiguación de crecientes motivadas por grandes precipitaciones presentadas en el parque natural Paramillo, confiabilidad al sistema de alimentación eléctrica de la ciudad de Montería y municipios vecinos, aporte de potencia instalada al sistema energético nacional, la central fue inaugurada el 1 de julio del año 2000, posteriormente a ello se amplió la capacidad de almacenamiento de agua en el embalse con lo cual se incrementó en 2 metros el rebosadero, estas obras fueron culminadas el 1 de julio de 2009.

²³ URRÁ S.A.E.S.P. Localización [en línea]. <<http://urra.com.co/localizacion/>> [citado en 24 de mayo de 2017]

Figura 4: Localización Central Hidroeléctrica Urrá



Fuente: <https://goo.gl/r3mpYB>.

Figura 5: Hidroelectrica Urrá I



Fuente: urra.com.co.

La central hidroeléctrica Urrá I es operada por la empresa Emec S.A.S, cuenta con una sala especializada donde se coordinan y ejecutan las maniobras de control de la central hidroeléctrica, desde allí se controlan todos los equipos que son necesarios para su correcto funcionamiento.

Tabla 5: Hidroelectrica Urrá I

PRESA	Conformada por un terraplén zonificado con núcleo central de gravas arcillosas y espaldones de gravas limpias. Su altura es de 73 metros, terminando en una cresta de 660 metros de longitud y 12 metros de ancho.
DIQUE AUXILIAR	Localizado sobre la margen derecha del Río Sinú y contiguo a la presa. Posee una altura de 50 metros y una longitud de 600 metros.
REBOSADERO	Localizado sobre la margen derecha del Río Sinú. Su capacidad máxima de descarga es de 9.500 m ³ /s, longitud de 196.4 metros con vertedero de ancho variable entre 120 metros en la cresta hasta 80 metros en la entrada al río.
CASA DE MÁQUINAS	De tipo superficial. Alberga cuatro conjuntos turbina-generador tipo Francis de 85 MW por unidad. Tiene una altura de 44 metros y 130 metros de largo. La conducción de agua desde el embalse hasta las turbinas se realiza por cuatro túneles de carga con blindaje de acero, cada uno de los cuales tiene 6,5 metros de diámetro y 215 metros de longitud.
CANAL DE DESCARGA	El agua una vez turbinada sale a través de un sistema de compuertas correspondientes a dos por cada unidad. El canal conduce el agua turbinada nuevamente al río y su caudal máximo evacuado es de 700 m ³ /s.

Fuente: Tomado y adoptado Urra S.A.E.S.P²⁴

Características generales²⁵

- Volumen de embalse: 1600 millones de m³ de agua
- Cota: 130.5 msnm
- Altura de la presa: 73 metros
- Longitud de cresta: 660 metros
- Tipo de turbina: Francis

²⁴ URRÁ S.A.E.S.P. Localizacon [en línea]. < <http://urra.com.co/descripcion-tecnica/> > [citado en 25 de mayo de 2017]

²⁵ URRÁ S.A.E.S.P. Localizacon [en línea]. < <http://urra.com.co/> > [citado en 25 de mayo de 2017]

- Numero de turbinas: 4
- Capacidad total instalada: 336 MW
- Producción anual de energía: 930 GWh
- Tiempo de construcción: 7 años
- El caudal medio natural: 700 m³/s
- Área de influencia directa: 8.038 Ha

5.2.3.1 Impacto ambiental hidroeléctrica Urrá I²⁶

Los impactos ambientales producidos por la central hidroeléctrica comenzaron antes de su construcción a causa del aumento de la población en zona de conservación debido al proceso licitatorio para la ejecución del proyecto, el asentamiento de personas en el parque de conservación natural ocasiono la pérdida y deterioro de los ecosistemas dentro del parque nacional natural Paramillo a causa de actividades humanas como la extracción de madera para uso doméstico y comercial.

Con la entrada en operación del proyecto hidroeléctrico, se modificó el régimen de caudales debido a la tendencia de almacenar agua en los meses de lluvias y realizar mayores descargas en la temporada de aguas bajas con la finalidad de la generación de energía, lo cual originó un cambio en la dinámica del río aguas abajo tanto en verano como en invierno.

Así mismo se produjo la aceleración de procesos de eutrofización por el llenado del embalse debido a que no se retiró en su totalidad la biomasa presente en la zona lo cual ocasiono un proceso de eutrofización motivado por un aumento en las concentraciones de fósforo y nitrógeno, también aumento la temperatura del agua y disminución del oxígeno disuelto por el llenado del embalse esto se debe a que

²⁶ NEIRA, Katherin y NEUSA, Kevin. Formulación de medidas de compensación por afectación de ecosistemas generada por la central hidroeléctrica Urra I en el Parque Nacional Natural Paramillo (PNNP) – Departamento de Córdoba. Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Ambiental: Facultad del medio ambiente y recursos naturales. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2016. 153 p.

las temperaturas bajas favorecen la solubilidad del oxígeno en el agua. Por esta razón, se puede inferir que la temperatura del embalse ha ido aumentando progresivamente en relación inversa al comportamiento del oxígeno.

Los cambios en las descargas del caudal desencadenan impactos aguas abajo, disminuyendo la población animal y vegetal por el llenado del embalse. Los cambios agua abajo como la disminución en la disponibilidad de habitat para peces, disminución de la cubierta vegetal, disponibilidad de agua para animales terrestre en algunos periodos del año, disminuyendo la disponibilidad de alimento para los animales, alterando el balance ecológico y otros impactos ambientales que se pueden evidenciar en la siguiente tabla.

Tabla 6: Impactos ambientales Represa Urrá I.

MEDIO	IMPACTO
Abiótico	Alteración de la calidad del agua.
	Sedimentación y riesgos en la navegación.
	Inundaciones y crecientes.
	Procesos erosivos de bancas y taludes en la periferia del embalse.
	Afectación de la movilidad de las comunidades asociadas al embalse.
Biótico	Afectación del proceso de subienda por construcción de la presa.
	Afectación del recurso íctico, debido a la sedimentación en las colas del embalse.
	Afectación del recurso pesquero.
	Pérdida de la cobertura vegetal.
	Pérdida de la conectividad ecosistémica.
	Aparición de macrófitas acuáticas.
Socioeconómico	Desinformación y falta de comunicación.
	Pérdida de seguridad alimentaria.
	Pérdida de conectividad.
	Accidentalidad.
	Pérdida del uso y goce de los terrenos inundados.
	generación de empleo.
	Afectación sobre el medio

Fuente: Tomado de HERNANDEZ²⁷.

5.2.4 Central hidroeléctrica de Guavio²⁸

La hidroeléctrica del Guavio, está localizada a 120 km al noroccidente de Bogotá, en el departamento de Cundinamarca en Colombia, se encuentra entre los municipios de Ubalá, donde se localiza la presa, y Mámbita, donde está ubicada la casa de máquinas. La central hidroeléctrica represa las aguas de los ríos Guavio, Batatas y Chivor.

Figura 6: Hidroeléctrica del Guavio



Fuente: <https://goo.gl/3qEGaJ>.

La central hidroeléctrica del Guavio comienza a construirse en el año de 1981, fue inaugurada el 30 de marzo de 1990. Esta central posee un salto de 1100 metros

²⁷ HERNANDEZ, Camilo. Análisis ambiental de las grandes centrales hidroeléctricas de Colombia aplicando metodología multiobjetivo. Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Ambiental y sanitario: Facultad Ingeniería. Bogotá: Universidad de la Salle, 2011. 120 p

²⁸ INGETEC. Guavio [en línea]. <https://www.ingetec.com.co/index.php?option=com_k2&view=item&id=28:guavio&Itemid=35&lang=es> [citado en 25 de mayo de 2017]

entre el embalse y la central subterránea a través de un túnel de carga de quince kilómetros de longitud, posee una descarga de fondo para drenar el sedimento, la cual fue gravemente averiada el día del primer rebose.

Figura 7: Hidroeléctrica del Guavio



Fuente: <https://goo.gl/XN1FWE>.

Tabla 7: Hidroeléctrica del Guavio

PRESA	Presa de enrocado con núcleo de arcilla tiene una altura de 247 metros sobre el lecho del río Guavio.
TUNELES DE DESVIACION	Cuenta con dos tuneles de dos kilómetros cada uno para desviación al embalse de los ríos Batatas y Chivor.
REBOSADERO	Conformado por una estructura de concreto de 34 metros de altura y 2 tuneles de 527 metros de longitud cada uno, cuyo diámetro es de 11 metros revestidos en concreto controlado mediante compuertas.
CENTRAL SUBTERRANEA	Central subterránea para una generación final de 1600 MW, de los cuales se instalaron 1000 MW en la etapa inicial, la caverna de máquinas de dimensiones en planta de 234 m por 17 m y de una altura de 35 m.
TUNEL DE FUGA	El túnel de fuga tiene una longitud de cinco kilómetros que restituye los caudales utilizados por la central hidroeléctrica al cauce del río Guavio.

Fuente: Tomado y Adaptado de HERNANDEZ²⁹.

Características generales³⁰

- Volumen de embalse: 1043 millones de m³ de agua
- Cota: 1630 msnm
- Altura de la presa: 243 metros
- Longitud de cresta: 390 metros
- Tipo de turbina: Pelton
- Numero de turbinas: 8
- Capacidad total instalada: 1200 MW
- Producción anual de energía: 5890 GWh
- Tiempo de construcción: 9 años
- Área de influencia directa: 15.000 Ha

5.2.4.1 Impacto ambiental hidroeléctrica del Guavio

Los impactos ambientales producidos por la central hidroeléctrica han ocasionado variaciones fundamentales en las condiciones pre-existentes a su creación; y en los estudios del impacto ambiental deben ser tenidos en cuenta; especialmente en los últimos tiempos, en los cuales se cuenta con normas precisas expedidas y reguladas por el ministerio del medio ambiente.

El análisis completo de todos los factores ecológicos y de impacto ambiental pertenece a otras disciplinas, los tópicos más importantes son los siguientes:

- Redistribución de los caudales
- Variación de régimen de niveles en el río
- Creación de flujos
- Variaciones térmicas del agua
- Variaciones químicas del agua
- Variaciones biológicas en el embalse

²⁹ HERNANDEZ, Camilo. Análisis ambiental de las grandes centrales hidroeléctricas de Colombia aplicando metodología multiobjetivo. Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Ambiental y sanitario: Facultad Ingeniería. Bogotá: Universidad de la Salle, 2011. 120 p

³⁰ INGETEC. Guavio [en línea]. <https://www.ingetec.com.co/index.php?option=com_k2&view=item&id=28:guavio&Itemid=35&lang=es> [citado en 25 de mayo de 2017]

- Depositación de sedimentos y variación del relieve
- Variaciones en el color, sabor y transparencia del agua
- Elevación del nivel de aguas freáticas

Tabla 8: Impactos ambientales Hidroeléctrica del Guavio

MEDIO	IMPACTO
Abiótico	Afectación de la capacidad del embalse y la vida útil del proyecto, por aportes de sedimento de las cuencas aportantes.
	Contaminación de las aguas del embalse por la recepción de aguas residuales (modificación de las propiedades (físicoquímicas)
	Erosión superficial e inestabilidad geotécnica (deslizamientos de los taludes dentro de la ronda del embalse)
Biótico	Deforestación de la zona de influencia del embalse (pérdida de suelo y aceleración de procesos erosivos)
Socioeconómico	Deterioro de vías de comunicación.
	Cambios en precios de las tierras.
	Expectativas en el ambiente de actividad laboral.
	Alteración de las relaciones de coordinación con la comunidad y autoridades locales.
	Cambios en el desarrollo turístico.
	Cambios en los asentamientos humanos y en los flujos migratorios de la población en las áreas de influencia regional.
	Daños en cultivos por descargas del rebosadero.

Fuente: Tomado de HERNANDEZ³¹.

³¹ HERNANDEZ, Camilo. Análisis ambiental de las grandes centrales hidroeléctricas de Colombia aplicando metodología multiobjetivo. Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Ambiental y sanitario: Facultad Ingeniería. Bogotá: Universidad de la Salle, 2011. 120 p

6. ANÁLISIS DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS POR CADA CENTRAL HIDROELECTRICA

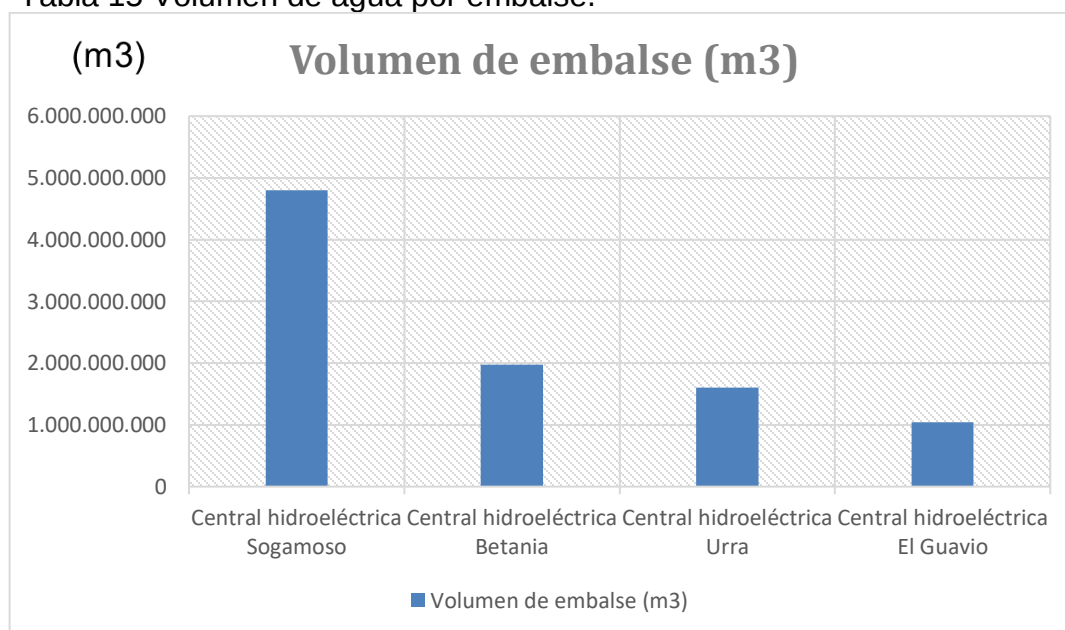
A continuación, se mostrarán las características generales de cada central hidroeléctrica que permitirán identificar factores que ayuden al resultado de los impactos y criterios ambientales.

Tabla 14 características generales.

CENTRALES HIDROELECTRICAS	Volumen de embalse (m3)	Capacidad total instalada (MW)	Producción anual GWh	Numero de turbinas
Central hidroeléctrica Sogamoso	4.800.000.000	820	5.056	3
Central hidroeléctrica Betania	1.971.000.000	540	2.304	3
Central hidroeléctrica Urra	1.600.000.000	336	930	4
Central hidroeléctrica El Guavio	1.043.000.000	1.200	5.890	8

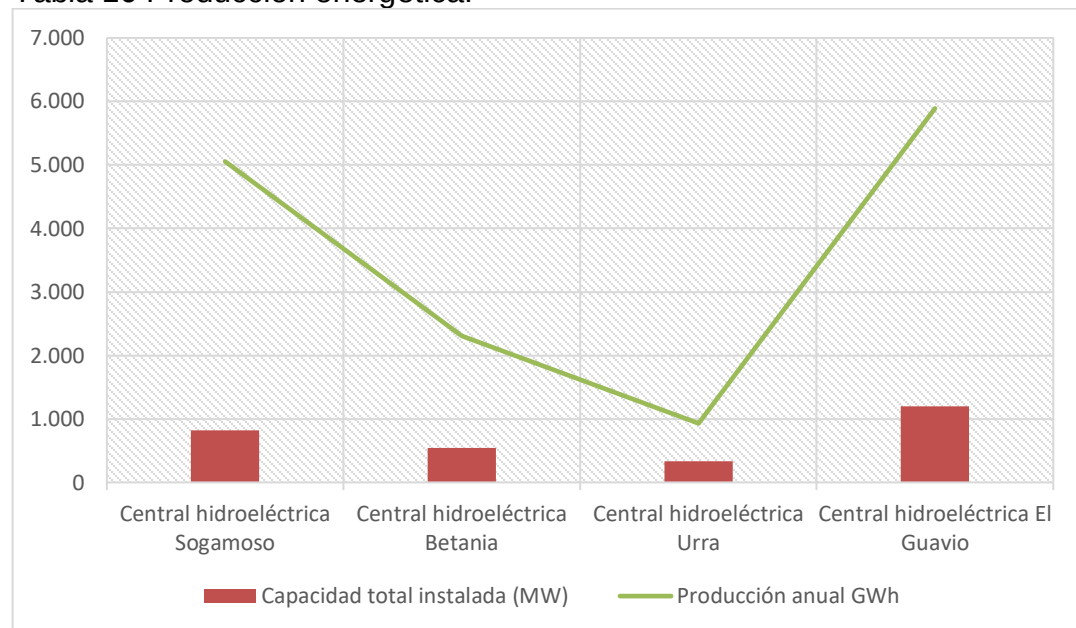
Fuente: Propia.

Tabla 15 Volumen de agua por embalse.



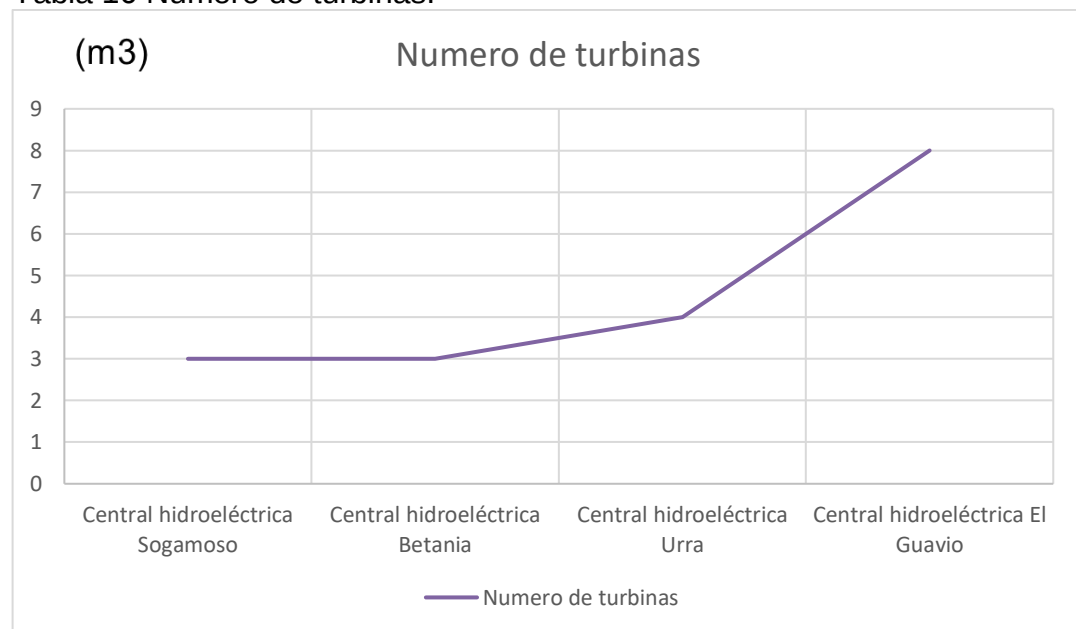
Fuente: Propia

Tabla 16 Producción energética.



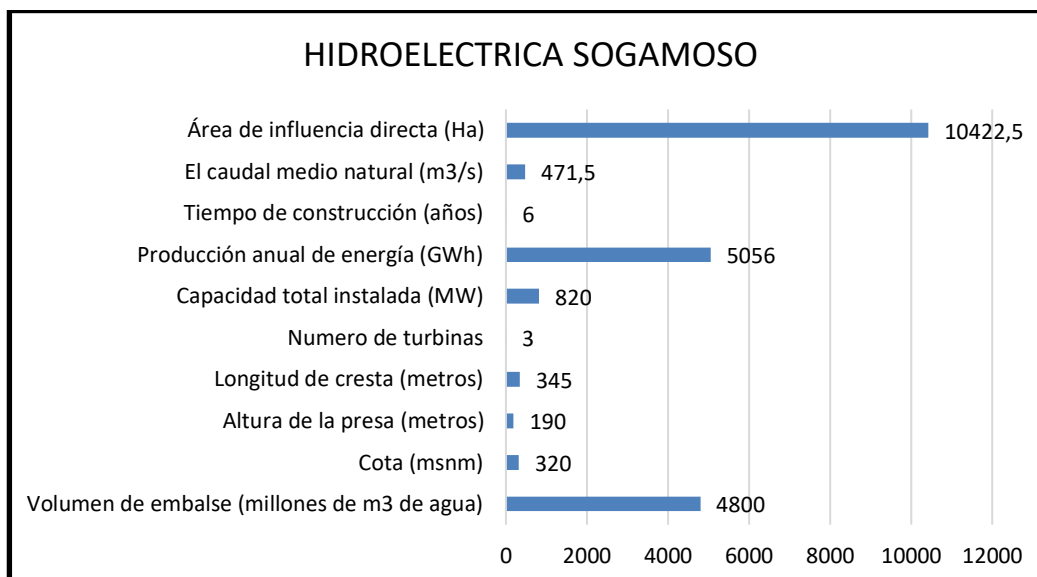
Fuente: Propia

Tabla 16 Numero de turbinas.



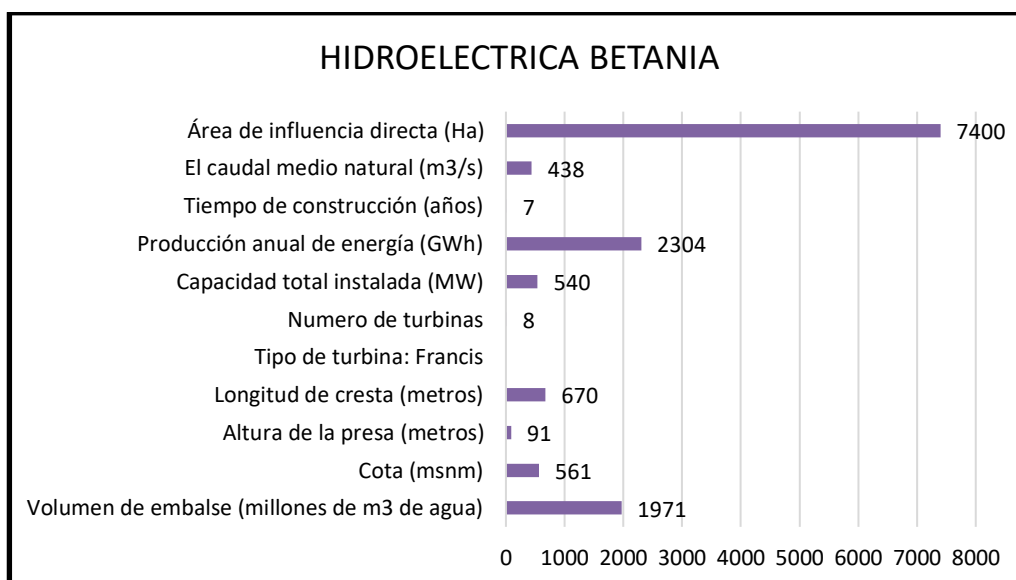
Fuente: Propia

Tabla 9. Características generales de la central hidroeléctrica Sogamoso



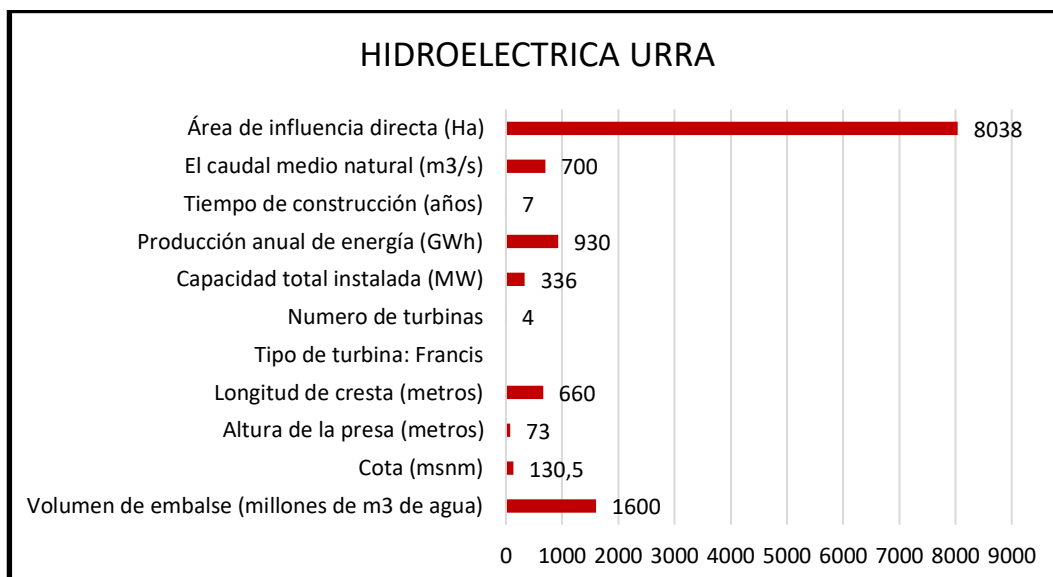
Fuente: Propia.

Tabla 10. Características generales de la central hidroeléctrica Betania



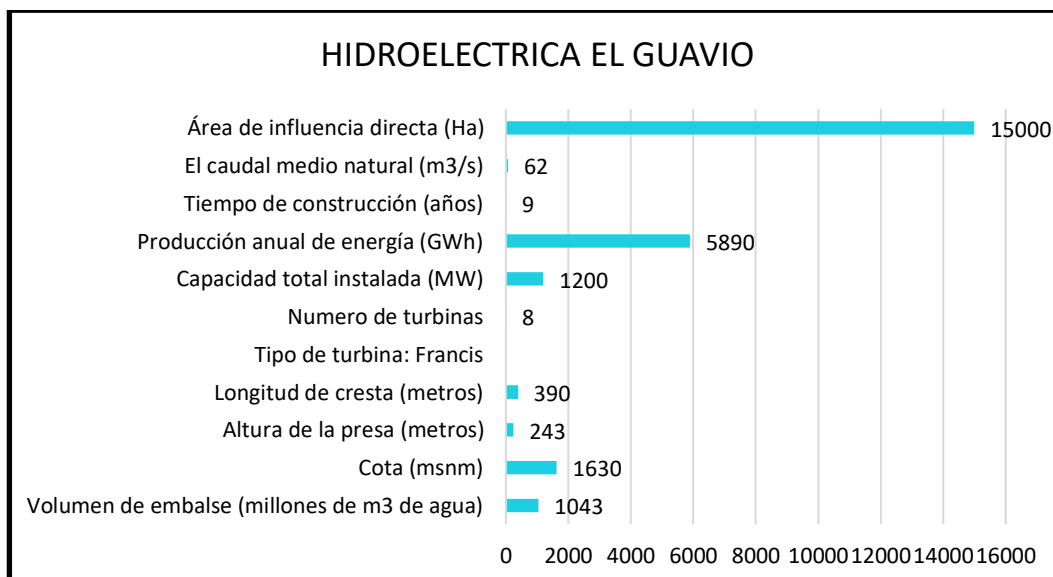
Fuente: Propia.

Tabla 11. Características generales de la central hidroeléctrica Urra



Fuente: Propia.

Tabla 12. Características generales de la central hidroeléctrica El Guavio



Fuente: Propia.

Criterios Ambientales:

- I. Superficie del embalse (Ha/MW)
- II. Tiempo de retención (Días)
- III. Biomosas inundada (Ton/Ha)
- IV. Longitud de río embalsado (Km)
- V. Longitud lecho seco (Km)
- VI. Numero de afluentes aguas abajo
- VII. Estratificación del embalse
- VIII. Vida útil del embalse (años)
- IX. Vías de acceso (Km)
- X. Personas a reasentar (Hab.)

Tabla 13. Resultado de los criterios ambientales

CENTRALES HIDROELECTRICAS	CRITERIOS AMBIENTALES									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Central hidroeléctrica Sogamoso	8	84,8	0,0498	17,0	2,8	14	Estratificación	80	16	19
Central hidroeléctrica Betania	14	39,3	0,0091	23	2,1	3	Estratificación	50	1,6	1
Central hidroeléctrica Urra	22	46,9	0,012	31,5	1,5	1	Estratificación	50	13	18
Central hidroeléctrica El Guavio	1	168,3	0,1351	14	0,8	4	Estratificación	50	11,4	1

Fuente: Tomado y adaptado de ANÁLISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGÍA MULTIOBJETIVO.

6.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez aplicados los criterios ambientales (Ver tabla 20), se puede analizar que estos impactos ambientales fueron plasmados sin tener en cuenta la eficiencia en generación de energía y el beneficio económico que trae consigo la instalación de centrales hidroeléctricas de gran magnitud, por lo tanto, se hace evidente que cada uno de los criterios están enfocados en prevenir el daño al medio ambiente y regular más la ejecución de este tipo de proyectos. Después de verificar los resultados obtenidos, se puede reafirmar que los proyectos mayores o de gran tamaño siempre van a provocar un impacto ambiental más significativo que los proyectos con menor

generación. Sin embargo, para realizar la evaluación se tuvieron en cuenta sólo dos de los criterios, estos fueron: la superficie del embalse y las personas a reasentar, ya que estos se pueden asociar al impacto ambiental y social que genera cada proyecto, además se incluyó la potencia de generación la cual se puede tomar como un impacto económico para realizar un análisis más completo.

Si bien durante la construcción se generan los impactos más tangibles sobre el ambiente, deben considerarse medidas de control y seguimiento más allá de la vida útil del proyecto, encabezadas por las autoridades ambientales que permitan controlar o mitigar posibles impactos ambientales.

En proyectos de gran envergadura como son las centrales hidroeléctricas, y teniendo en cuenta la afectación no solo a nivel local sino también a nivel regional, las evaluaciones ambientales deben extenderse tanto como sea necesario y considerar todas aquellas implicaciones sobre los ecosistemas más allá del área de influencia puntual y directa, como corredores biológicos, tránsito de aves migratorias, fuente de alimentación de mamíferos y demás aspectos que no se evidencian en sitios puntuales.

Si bien los proyectos hidroeléctricos contribuyen al desarrollo económico del país, es importante poner en cuestión si supliendo las necesidades energéticas del país, es indispensable la construcción de más generadoras de energía de gran tamaño, o por el contrario es más viable ambiental y socialmente la construcción de mayor número de pequeñas centrales hidroeléctricas.

7. CONCLUSIONES

La construcción de los mega embalses se relaciona con cambios ambientales irreversibles en el área geográfica de influencia y, por lo tanto, por su potencial para causar impactos ambientales importantes. Este documento en su afán de ubicar el problema dentro del contexto más amplio posible, con la finalidad de conocer los impactos producidos en las áreas circundantes de embalses que superan el 1000'000.000 m³ , los cuales deben manejarse o controlarse para lograr un desarrollo sustentable, es importante resaltar que hay impactos ambientales en común, los cuales producen la degradación del ecosistema durante las etapas de construcción y operación de una presa, lo cual se manifiesta en el deterioro de la calidad del agua y aumento de las tasas de sedimentación del reservorio. Por esto es fundamental que los proyectos hidroeléctricos sean planificados y manejados considerando el estado inicial del régimen hidrológico, estado de la cuenca del río y los planes regionales de desarrollo, teniendo en cuenta las áreas superiores de captación sobre la presa y las áreas de la cuenca hidrográfica aguas abajo.

Además las construcciones de los embalses estudiados en el presente documento, mostraron que desde las primeras etapas de construcción los estudios del proyecto ya identificaban impactos ambientales tanto aguas arriba como aguas abajo de la represa.

Por otra parte, el principal impacto ambiental observado en los embalses estudiados, es la pérdida de peces a causa de que la biomasa que no fue retirada en su totalidad, aumentando la demanda de oxígeno produciendo una deficiencia en los niveles de este elemento en el agua, limitando las formas de vida dentro de la cuenca.

Así, Un impacto importante y que se debe tener en cuenta en este tipo de proyectos es el bloqueo a los peces migratorios por las obras construidas, ya que si bien es cierto no se presenta en todos los proyectos si se debe tener en cuenta en el análisis ambiental de cada proyecto.

Las evaluaciones de impacto ambiental de los proyectos deben considerar escenarios más allá de los contemplados, para abarcar la mayor cantidad de afectaciones que se generan, tanto en las etapas de construcción como operación.

Sin embargo, al comparar proyectos y priorizarlos con base en su eficiencia energética y los efectos sobre el medio ambiente, en todos los casos se presentan cambios en el régimen hidrológico modificando los hábitats naturales aguas abajo.

En cuanto a la identificación y clasificación de los impactos ambientales realizados, se concluye que el recurso más afectado es el agua, ya que es la materia prima para la generación de energía en este tipo de actividad, ocasionando un deterioro sobre la fauna acuática de las áreas de influencia, seguido de la disminución de la cobertura vegetal.

8. RECOMENDACIONES

Para futuras investigaciones se hace necesario de antemano realizar investigaciones acerca del estado actual de las características técnicas y capacidad de la represa Betania con el fin de contrastar de una mejor manera la actualidad de dicha central hidroeléctrica, esto a causa de que no hay fuentes primarias de información.

De igual manera se recomienda determinar los impactos ambientales de los mega embalses por medio de criterios ambientales para proyectos hidroeléctricos estipulados por el Banco Mundial, en su documento “Good Dams and Bad Dams”, determina criterios como: superficie del embalse, tiempo de retención del agua en el embalse, biomasa inundada, longitud del río represado o embalsado, longitud lecho seco, número de afluentes aguas abajo, probabilidad de estratificación del embalse, vida útil del embalse, vías de acceso, personas a reasentar.

También se recomienda realizar un proyecto de grado que analice ambientalmente los nuevos proyectos, que se encuentren actualmente en la etapa de construcción y que cuenten con licencia ambiental, para con ello, identificar los impactos que se generan por la ejecución de las actividades.

Por último, se recomienda hacer un estudio riguroso de los actuales embalses de menos capacidad de almacenaje de agua, incluyendo las presas cuya finalidad son el abastecimiento de agua y el riego de cultivos, con el fin de identificar si es más viable restringir la construcción de mega embalses reemplazándolos por muchas más presas de menor volumen de agua que igualen la capacidad instalada de una grande.

9. BIBLIOGRAFIA

AMAYA, Juan. Descripción analítica del proceso de construcción del proyecto hidroeléctrico el Quimbo. Trabajo de Grado para optar al título de Sociólogo: Facultad de ciencias sociales. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2015. 116 p.

ANGULO, Juan. Estudio comparativo entre los embalses de Betania y el Quimbo, debido a los posibles problemas de Eutrofización. Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Civil: Facultad de Ingeniería Civil. Bogotá: Fundación Universitaria Agraria de Colombia, 2014. 79 p

BAUTISTA, Laura. evaluación ambiental estratégica del componente abiótico en el proyecto hidroeléctrico sobre el río Sogamoso "Hidrosogamoso". Trabajo de Grado para optar al título de especialista en planeación ambiental y manejo integral de recursos naturales: Facultad de ingeniería. Bogotá: Universidad militar Nueva Granada. Programa de ingeniería ambiental, 2015. 20 p.

BERMUDEZ, Carlos. Participación ciudadana y acción colectiva de los ciudadanos rurales del municipio de Ituango en la primera fase de construcción de la central hidroeléctrica pescadero Ituango, 2007-2011. Medellín. 2012. Trabajo de Grado.

BUSTAMANTE, Carlos. Efectos ambientales generados por la construcción y operación de un embalse. Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Civil: Facultad de ingeniería. Sincelejo: Universidad de Sucre. Departamento de Ingeniería civil., 2008. 61 p.

EMGESA. Emgesa apaga la Central Hidroeléctrica El Quimbo [en línea]. <<http://www.proyectoelquimboemgesa.com.co/site/Prensa/Comunicados/EmgesaapagaLaCentralHidroel%C3%A9ctricaElQuimbo.aspx>>

EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLIN. Hidroeléctrica Ituango [en línea]. <https://www.epm.com.co/site/portals/landing/ituango/Hidroelectrica_Ituango/files/assets/common/downloads/publication.pdf>

HERNANDEZ, Camilo. Análisis ambiental de las grandes centrales hidroeléctricas de Colombia aplicando metodología multiobjetivo. Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Ambiental y Sanitario

HIDROITUANGO. Actualización estudio de impacto ambiental [en línea]. <<http://www.hidroituango.com.co/index.php/estudios-realizados>>

IDEAM. Estado de la evaluación del potencial hidroenergético de Colombia [en línea]. <<https://mundoroto.files.wordpress.com/2011/10/presentacion-potencial-hidro-energetico-colombia.pdf>>

IGLESIAS, Santiago. Guía de impacto ambiental para centrales hidroeléctricas. Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero eléctrico: Facultad de ingeniería. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. Programa de tecnología eléctrica, 2011. 55 p.

INGETEC. Guavio [en línea]. https://www.ingetec.com.co/index.php?option=com_k2&view=item&id=28:quavio&Itemid=35&lang=es

ISAGEM. Central Hidroeléctrica Sogamoso [en línea]. <<https://www.isagen.com.co/comunicados/Sogamoso2015.pdf>>

MÁRQUEZ, German Y GUILLOT, Gabriel. Proyecto Estudios Ecológicos de Embalses Colombianos: Etapa Prospectiva. Informe Final presentado a FEN – Colombia – Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, 1989.

MORENO, Liliana. Territorios y pobladores rurales bajo la política pública minero-energético-ambiental: el caso del proyecto hidroeléctrico el quimbo. Trabajo de Grado para optar al título de Magíster en Desarrollo rural: Facultad de estudios rurales y ambientales. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2013. 114 p.

NEIRA, Katherin y NEUSA, Kevin. Formulación de medidas de compensación por afectación de ecosistemas generada por la central hidroeléctrica Urra I en el Parque Nacional Natural Paramillo (PNNP) – Departamento de Córdoba. Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Ambiental: Facultad del medio ambiente y recursos naturales. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2016. 153 p.

NOVOA, Diana y PARDO, Carlos. Estudio Histórico sobre los territorios de San Vicente de Chucurí y Betulia que serán inundados por la proyectada hidroeléctrica sobre el río Sogamoso 1980-1992. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

PEÑA, Gina. Determinación de las afectaciones por inundaciones aguas abajo de la represa de Betania a partir de 1987 mediante la implementación de indicadores de seguimiento. Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Ambiental: Facultad de medio ambiente y recursos naturales. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2016. 87 p.

RODRÍGUEZ, Roger. Consecuencias ambientales por falla o rotura de presas en el marco del análisis de riesgos. Maestría en Ingeniería Civil énfasis: Profundización en recursos hidráulicos y medio ambiente. Bogotá D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería. Facultad de Ingeniería civil., 2014. 97 p.

SISTEMA DE INFORMACION ELECTRICO COLOMBIANO. Informe mensual de variables de generación y del mercado eléctrico colombiano –diciembre de 2016 [en línea]. http://www.siel.gov.co/portals/0/generacion/2016/Segui_variables_dic_2016.pdf

UPME. Proyecto Central Hidroeléctrico El Quimbo [en línea]. <http://www.upme.gov.co/Convoca2009/052009/DocumentosF/Anexo%20B%20Presentacion%20EMGESA%20Proyecto%20Hidroelectrico%20El%20Quimbo.pdf>

URRA S.A.E.S.P. Localización [en línea]. < <http://urra.com.co/descripcion-tecnica/>>