

**ANÁLISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO**

**ANÁLISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELÉCTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGÍA
MULTIOBJETIVO**

CAMILO ANDRES HERNANDEZ TORRES

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
BOGOTA
2011**

**ANÁLISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO**

**ANÁLISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELÉCTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGÍA
MULTIOBJETIVO**

CAMILO ANDRES HERNANDEZ TORRES

**Proyecto de grado para optar el título de
Ingeniero Ambiental y Sanitario**

**Director
Hernando Amado Baena
Ingeniero Civil
Msc. Centrales Hidroeléctricas**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
BOGOTA
2011**

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

NOTA DE ACEPTACIÓN

Director

Jurado

Jurado

Bogotá D. C., 2011

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

Le dedico este gran logro a Dios por sus bendiciones, a mis Padres, quienes con esfuerzo, compromiso y mucho trabajo me sacaron adelante y que gracias a su amor, cariño, costumbres y buenas enseñanzas han logrado que llegue a ser la persona que soy.

También a mi hermano Oscar, a mis abuelitas Teresa y María del Carmen, a mi tía abuela Clemencia Guzmán, a mis abuelos Q.E.P.D., a mis tíos, primos y demás parte de mi familia, quienes han estado conmigo en cada momento de mi vida, en las buenas y en las malas.

Con orgullo y sentimiento, los quiero mucho!

Camilo Andrés Hernández Torres

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento a:

A Dios por permitirme vivir cada día con las ganas de salir adelante y darme la fuerza y el empeño para realizar cada una de las actividades de este proyecto, a mis Padres por darme su amor y brindarme su apoyo anímico y económico no solo en el desarrollo de este trabajo sino durante toda mi carrera, a Oscar mi querido hermano por su compañía y a toda mi familia por sus buenos deseos.

Un agradecimiento especial a mis maestros en el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Santiago Rolón y Roberto Chiappe, Su ayuda incondicional fue importante en cada uno de los temas trabajados en este proyecto, sus enseñanzas fueron muy útiles para la solución de inquietudes y su experiencia fue la guía para crecer como persona y querer ser un gran profesional. A Stella, Norma, Nubia y demás compañeros del Ministerio, por brindarme su colaboración en todo momento y por hacerme sentir parte de su equipo de trabajo.

Al ingeniero Hernando Amado Baena por aceptar la dirección de este proyecto, sus observaciones fueron fundamentales para encaminarme a realizar un buen trabajo y por el seguimiento dado para el cumplimiento del mismo.

A Jeimy por su compañía y constante apoyo, a Lina por su orientación y a Nicolás, Carol y Roland que además de ser mis mejores amigos han sido como mis hermanos. A mis demás amigos y compañeros que me brindaron su amistad y que de alguna u otra forma compartieron momentos agradables en mi vida universitaria. Finalmente les doy las gracias a todos los profesores de la Universidad de La Salle que compartieron su conocimiento con este servidor.

CONTENIDO

RESUMEN	14
GLOSARIO	16
INTRODUCCION	18
1. DEFINICION DEL PROBLEMA	20
2. JUSTIFICACION	22
3. OBJETIVOS	23
3.1 Objetivo General.....	23
3.2 Objetivos Específicos	23
4. ANTECEDENTES	24
5. MARCO LEGAL	27
6. ENFOQUE CONCEPTUAL	29
6.1 Sector Eléctrico en Colombia.....	29
6.1.1 Organización del Sector Eléctrico	31
6.2 Hidroeléctricidad	31
6.2.1 Sector Hidroeléctrico	32
6.2.2 Situación Actual.....	32
6.2.3 Central Hidroeléctrica.....	33
6.2.4 Características de un Proyecto Hidroeléctrico	33
6.3 Principales Centrales Hidroeléctricas en Colombia	35
6.3.1 Esquemas de los Proyectos.....	36
6.4 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).....	37
6.5 Unidad de Planeación Minero Energética (UPME)	37
6.6 Impacto Ambiental	37
6.7 Estudios Ambientales	38

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

6.7.1	Diagnóstico Ambiental de Alternativas (DAA)	38
6.7.2	Estudio de Impacto Ambiental (EIA).....	39
6.8	Plan De Manejo Ambiental (PMA)	39
7.	METODOLOGIA.....	41
7.1	Fase I: Recopilación De Información.	42
7.2	Fase II: Evaluación De Las Centrales Hidroeléctricas	43
7.3	Fase III: Análisis Ambiental De Las Centrales Hidroeléctricas	44
8.	DETERMINACION DE LOS CRITERIOS AMBIENTALES PARA PROYECTOS HIDROELECTRICOS ESTIPULADOS POR EL BANCO MUNDIAL.....	45
8.1	Criterios Ambientales.....	45
8.1.1	Superficie Del Embalse.	45
8.1.2	Tiempo De Retención Del Agua En El Embalse.....	46
8.1.3	Biomasa Inundada.	46
8.1.4	Longitud Del Rio Represado O Embalsado.....	47
8.1.5	Longitud Lecho Seco.....	47
8.1.6	Numero De Afluentes Aguas Abajo.....	47
8.1.7	Probabilidad De Estratificación Del Embalse	48
8.1.8	Vida Útil Del Embalse.....	48
8.1.9	Vías De Acceso.....	49
8.1.10	Personas A Reasentar	49
8.2	Aplicación de Criterios Ambientales	50
8.3	Análisis de Resultados.....	52
9.	APLICACIÓN METODOLOGIA MULTIOBJETIVO.....	54
9.1	Método de Análisis Propuesto	54
9.2	Definición De Criterios	56

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

9.2.1	Criterios Ambientales	56
9.2.2	Criterios Económicos	56
9.2.3	Criterios Sociales	57
9.3	Matrices de Calificación de los Criterios Considerados	58
9.4	Estructura de Preferencias	61
9.5	Resultados.....	62
9.6	Análisis de Resultados.....	66
9.7	Evaluación de la Metodología Multiobjetivo	67
9.8	Clasificación De Las Grandes Centrales Hidroeléctricas De Colombia	69
10.	IMPACTOS AMBIENTALES DE LAS CENTRALES HIDROELECTRICAS	
	71	
10.1	Impactos Ambientales Generales De Las Centrales Hidroeléctricas	
	71	
10.1.1	Etapa De Construcción	73
10.1.2	Etapa De Llenado y Operación	74
10.2	Impactos Ambientales Específicos De Las Centrales Hidroeléctricas Evaluadas.....	75
10.2.1	Aprovechamiento Hidroeléctrico Porce III	75
10.2.2	Central Hidroeléctrica Calima.....	76
10.2.3	Central Hidroeléctrica De Betania	77
10.2.4	Central Hidroeléctrica Del Alto Anchicayá.....	78
10.2.5	Central Hidroeléctrica Guatapé	78
10.2.6	Central Hidroeléctrica Jaguas	79
10.2.7	Central Hidroeléctrica La Miel I	80
10.2.8	Central Hidroeléctrica La Tasajera	80

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

10.2.9	Central Hidroeléctrica Salvajina	81
10.2.10	Central Hidroeléctrica San Carlos.....	82
10.2.11	Central Hidroeléctrica San Francisco.....	82
10.2.12	Central Hidroeléctrica De Chivor.....	83
10.2.13	Complejo Hidroeléctrico Guadalupe	83
10.2.14	Hidroeléctrica Del Guavio	84
10.2.15	Hidroeléctrica Urra	85
10.3	Clasificación De Impactos Ambientales	85
11.	MEDIDAS DE MANEJO PARA LOS IMPACTOS AMBIENTALES.....	88
11.1	Medidas De Manejo De Impactos En El Medio Abiótico.....	88
11.2	Medidas De Manejo De Impactos En El Medio Biótico.....	89
11.3	Medidas De Manejo De Impactos En El Medio Socioeconómico. ..	90
11.4	Control y Seguimiento.....	91
12.	CONCLUSIONES.....	92
13.	RECOMENDACIONES	94
	BIBLIOGRAFIA.....	95
	ANEXOS.....	99
1.	GRANDES CENTRALES HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA	100
1.1	Aprovechamiento Hidroeléctrico Porce III.....	100
1.2	Central Hidroeléctrica Calima	101
1.3	Central Hidroeléctrica De Betania.....	102
1.4	Central Hidroeléctrica Del Alto Anchicayá	103
1.5	Central Hidroeléctrica Guatapé.....	104
1.6	Central Hidroeléctrica De Jaguas	106
1.7	Central Hidroeléctrica La Miel I.....	107
1.8	Central Hidroeléctrica La Tasajera	108

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

1.9	Central Hidroeléctrica Salvajina	109
1.10	Central Hidroeléctrica San Carlos.....	110
1.11	Central Hidroeléctrica San Francisco.....	112
1.12	Central Hidroeléctrica De Chivor	113
1.13	Complejo Hidroeléctrico Guadalupe	115
1.14	Hidroeléctrica Del Guavio	116
1.15	Hidroeléctrica Urrá	118
2.	INDICADORES AMBIENTALES DEL DOCUMENTO “GOOD DAMS AND BAD DAMS”	119
3.	MATRIZ METODOLOGIA MULTIOBJETIVO	120

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

INDICE DE TABLAS

TABLA N° 1. RESULTADO DE LOS CRITERIOS AMBIENTALES.....	50
TABLA N° 2. EVALUACIÓN DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS.	53
TABLA N° 3. CRITERIOS AMBIENTALES.....	56
TABLA N° 4. CRITERIOS ECONÓMICOS.	57
TABLA N° 5. CRITERIOS SOCIALES.....	57
TABLA N° 6. MATRIZ DE CALIFICACIONES PARA EL ANÁLISIS DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS	59
TABLA N° 7. MATRIZ DE CALIFICACIONES NORMALIZADA	59
TABLA N° 8. ESTRUCTURA DE PREFERENCIAS PARA EL ESCENARIO BÁSICO. .	61
TABLA N° 9. APORTE DE CADA CRITERIO AL RESULTADO FINAL.	64
TABLA N° 10. ORDENAMIENTO DE LOS PROYECTOS. RESULTADOS ESCENARIO BASE.	66
TABLA N° 11. MATRIZ DOFA.....	68
TABLA N° 12. CLASIFICACIÓN DE LAS GRANDES HIDROELÉCTRICAS DE COLOMBIA.....	70
TABLA N° 13. IMPACTOS AMBIENTALES PORCE III.	76
TABLA N° 14. IMPACTOS AMBIENTALES CALIMA.	76
TABLA N° 15. IMPACTOS AMBIENTALES BETANIA.	77
TABLA N° 16. IMPACTOS AMBIENTALES DEL ALTO ANCHICAYÁ.	78
TABLA N° 17. IMPACTOS AMBIENTALES GUATAPÉ.	79
TABLA N° 18. IMPACTOS AMBIENTALES JAGUAS.....	79
TABLA N° 19. IMPACTOS AMBIENTALES LA MIEL I.....	80
TABLA N° 20. IMPACTOS AMBIENTALES LA TASAJERA.	80
TABLA N° 21. IMPACTOS AMBIENTALES SALVAJINA.....	81
TABLA N° 22. IMPACTOS AMBIENTALES SAN CARLOS.	82
TABLA N° 23. IMPACTOS AMBIENTALES SAN FRANCISCO.....	82
TABLA N° 24. IMPACTOS AMBIENTALES DE CHIVOR.	83
TABLA N° 25. IMPACTOS AMBIENTALES GUADALUPE.	84
TABLA N° 26. IMPACTOS AMBIENTALES GUAUVIO.	84
TABLA N° 27. IMPACTOS AMBIENTALES URRRA.	85

ANÁLISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

TABLA N° 28. CLASIFICACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES.	86
TABLA N° 29. MEDIDAS DE MANEJO IMPACTOS AMBIENTALES MEDIO ABIÓTICO.	88
TABLA N° 30. MEDIDAS DE MANEJO IMPACTOS AMBIENTALES MEDIO BIÓTICO.	90
TABLA N° 31. MEDIDAS DE MANEJO IMPACTOS AMBIENTALES MEDIO SOCIOECONÓMICO.	90
TABLA N° 32. CARACTERÍSTICAS PORCE III.	100
TABLA N° 33. CARACTERÍSTICAS CALIMA.	102
TABLA N° 34. CARACTERÍSTICAS BETANIA.	103
TABLA N° 35. CARACTERÍSTICAS ALTO ANCHICAYÁ.....	104
TABLA N° 36. CARACTERÍSTICAS GUATAPÉ.....	105
TABLA N° 37. CARACTERÍSTICAS JAGUAS.	106
TABLA N° 38. CARACTERÍSTICAS LA MIEL I.	108
TABLA N° 39. CARACTERÍSTICAS LA TASAJERA.....	109
TABLA N° 40. CARACTERÍSTICAS SALVAJINA.	110
TABLA N° 41. CARACTERÍSTICAS SAN CARLOS.	111
TABLA N° 42. CARACTERÍSTICAS SAN FRANCISCO.	112
TABLA N° 43. CARACTERÍSTICAS CHIVOR.	114
TABLA N° 44. CARACTERÍSTICAS GUADALUPE.....	116
TABLA N° 45. CARACTERÍSTICAS GUAVIO.	117
TABLA N° 46. CARACTERÍSTICAS URRÁ.	118

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Esquema de una Central Hidroeléctrica.....	36
Figura N° 2. Partes de una Central Hidroeléctrica.	36
Figura N° 3. Diagrama de flujo Fase I.....	42
Figura N° 4. Diagrama de flujo Fase II.....	43
Figura N° 5. Diagrama de flujo Fase III.....	44
Figura N° 6. Cumplimiento Individual de los Criterios.....	63
Figura N° 7. Aporte del cumplimiento de los criterios al resultado final.....	65
Figura N° 8. Calificación Total.....	67

RESUMEN

Las Centrales Hidroeléctricas son la principal fuente de generación de energía hidráulica y se localizan a lo largo del territorio nacional. El 64% de la producción de energía en Colombia proviene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de las corrientes de agua, un 33% proviene de la generación térmica y el 3% restante proviene de la generación eólica.

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), tiene la principal responsabilidad ambiental en Colombia y lidera el compromiso del país por un desarrollo sostenible. Es por eso que el Ministerio, en cumplimiento de sus funciones, viene realizando una clasificación de las Centrales Hidroeléctricas que se encuentran en funcionamiento, que de acuerdo al artículo 8 del decreto 2820 del 2010 obtuvieron la Licencia Ambiental para entrar en operación o requirieron de un Plan de Manejo Ambiental para seguir operando, clasificación conducente a tener un mayor control en cuanto al impacto ambiental que producen.

Para realizar dicha clasificación se tienen en cuenta las principales características de cada central hidroeléctrica consignadas en los Diagnósticos Ambientales de Alternativas (DAA) y en los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) para proyectos ejecutados después de 1993, año en que se promulgo la ley 99 por la cual, entre otras, se creó este Ministerio; para proyectos desarrollados antes de esta fecha se tiene en cuenta los Planes de Manejo Ambiental. De acuerdo a los datos suministrados se tendrán en cuenta criterios e indicadores estipulados en el documento del Banco Mundial “Good Dams and Bad Dams: Environmental Criteria for Site Selection of Hydroelectric Projects” para identificar cual es el impacto ambiental que produce cada Central Hidroeléctrica y organizarlas jerárquicamente, de acuerdo al impacto que ocasionan al medio ambiente; se tienen como criterios, la superficie del embalse, las personas a reasentar,

el tiempo de retención del agua en el embalse y la probabilidad de estratificación del mismo, entre otros.

Por otro lado se aplica una metodología Multiobjetivo, la cual involucra criterios ambientales, económicos y sociales, para comparar y clasificar las grandes centrales hidroeléctricas de Colombia de acuerdo a su impacto ambiental. De igual forma se pretende analizar los impactos ambientales que se presentan con mayor frecuencia en este tipo de proyectos hidroeléctricos, con el fin de proponer medidas de manejo para la preservación del medio ambiente. Estas medidas buscan prevenir y mitigar el daño a los recursos naturales y el entorno socioeconómico.

GLOSARIO

Agua: Líquido incoloro, inodoro, e insípido, compuesto por oxígeno e hidrógeno (H₂O) combinados, que ocupa tres cuartas partes de la Tierra y es indispensable para el desarrollo de la vida.

Central Hidroeléctrica: Una central hidroeléctrica aprovecha la energía potencial que posee la masa de agua de un cauce natural en virtud de un desnivel, también conocido como salto geodésico. El agua en su caída entre dos niveles del cauce se hace pasar por una turbina hidráulica la cual transmite la energía a un generador donde se transforma en energía eléctrica.

Cuenca: Área de aguas superficiales o subterráneas, que vierten a una red natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar.

DAA: Diagnóstico Ambiental de Alternativas.

EIA: Estudio de Impacto Ambiental.

Embalse: Es la acumulación de agua producida por una obstrucción en el lecho de un río o arroyo que cierra parcial o totalmente su cauce. La obstrucción del cauce puede ocurrir por causas naturales como, por ejemplo, el derrumbe de una ladera en un tramo estrecho del río o arroyo, y por obras construidas por el hombre para tal fin, como son las presas de diferente tamaño.

Energía Eléctrica: Es la forma de energía resultante de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo que permite establecer una

corriente eléctrica entre ambos cuando se les coloca en contacto por medio de sistemas físicos por la facilidad para trabajar con magnitudes escalares, en comparación con las magnitudes vectoriales como la velocidad o la posición.

Generador: Un generador eléctrico es todo dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrico entre dos de sus puntos, llamados polos, terminales o bornes. Los generadores eléctricos son máquinas destinadas a transformar la energía mecánica en eléctrica.

Hectómetro Cúbico (hm³): Es una medida de volumen que equivale a mil millones de litros. Por ser una unidad de cierta envergadura, se usa para definir la capacidad de los embalses.

Impacto Ambiental: La alteración positiva o negativa de la calidad ambiental, provocada o inducida por cualquier acción del hombre.

PMA: Plan de Manejo Ambiental.

Represa: En ingeniería se denomina presa o represa a una barrera fabricada con piedra, hormigón o materiales sueltos, que se construye habitualmente en una cerrada o desfiladero sobre un río o arroyo.

Turbina Hidráulica: Es una turbo máquina motora hidráulica, que aprovecha la energía de un fluido que pasa a través de ella para producir un movimiento de rotación que, transferido mediante un eje, mueve directamente una máquina o bien un generador que transforma la energía mecánica en eléctrica, así son el órgano fundamental de una Central hidroeléctrica.

INTRODUCCION

La generación de energía eléctrica a partir de hidroeléctricas constituye hoy en el país una de sus principales fuentes de oferta, cuya continuidad depende del manejo que se esté proporcionando a estos sistemas artificiales lo cual pueda garantizar como mínimo la vida útil con la que fueron proyectados.

La implementación y operación de una obra de este tipo trae consigo la generación de una gran diversidad de impactos a diversos niveles y magnitudes, tanto sobre el ambiente como sobre la obra misma, los cuales se previenen, mitigan, corrigen o compensan con la implementación de una serie de actividades de manejo, diseñadas tomando como base las características y requerimientos de tipo biótico, físico y socioeconómico de la zona de influencia.

Estos requerimientos varían conforme va pasando el tiempo dado que se establece un ajuste recíproco entre la obra y el medio. Por lo anterior, se debe establecer cuáles de estos proyectos instalados en el territorio nacional, se consideran como grandes centrales hidroeléctricas.

A través de la recopilación y revisión de información, se identifican las principales características de las hidroeléctricas estudiadas, además de enmarcar los principales problemas ambientales que se generan en la ejecución y operación de cada proyecto. En donde las principales fuentes de información, son los Planes de Manejo Ambiental y demás estudios ambientales que fueron necesarios para la operación de cada central, y que son de competencia del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Para continuar, con el desarrollo de este proyecto se determinaron los criterios e indicadores estipulados en el documento “Good Dams and Bad Dams: Environmental Criteria for Site Selection of Hydroelectric Projects” del

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

Banco Mundial. Además se realizó un análisis ambiental de cada central hidroeléctrica, aplicando una metodología Multiobjetivo que involucra criterios ambientales, económicos y sociales. Posteriormente, se organizó jerárquicamente cada hidroeléctrica evaluada, de acuerdo a los impactos que generan en el medio ambiente.

Adicionalmente se clasificaron los impactos ambientales que se presentan con mayor frecuencia en este tipo de proyectos y se propusieron medidas de manejo para reducir el daño al medio ambiente.

1. DEFINICION DEL PROBLEMA

1.1 Formulación Del Problema

¿El control y seguimiento que realizan las autoridades ambientales competentes permite identificar el verdadero impacto ambiental que producen las Centrales Hidroeléctricas instaladas a lo largo del territorio Nacional, como resultado del desarrollo de su proceso operativo aún contando con licencia ambiental?

1.2 Descripción Del Problema

Actualmente el país cuenta con un gran número de Centrales Hidroeléctricas que se encuentran en operación, aunque cumplen un papel importante en la generación de energía eléctrica, ocasionan un gran impacto ambiental en su instalación, montaje y funcionamiento. Los impactos ambientales que más se presentan son la alteración del régimen de caudales, pérdida de cobertura vegetal y afectación en asentamientos temporales y permanentes. En algunos casos, como por ejemplo la Cadena de Generación Hidroeléctrica Pagua, se presenta la alteración de la calidad del aire por emisiones y material particulado.

Debido a esto se hace necesario clasificar jerárquicamente cada central para identificar las acciones que puedan causar daño tanto a los recursos naturales como al entorno social. De igual forma, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible por ser la autoridad que otorga la Licencia Ambiental para este tipo de estructuras debe vigilar el cumplimiento de los requisitos, condiciones y obligaciones estipulados, además de realizar el control y seguimiento a las actividades que se ejecutan en el desarrollo de los proyectos u obras propuestas.

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

Al mismo tiempo, es importante realizar una clasificación de los impactos ambientales que más se presentan en este tipo de proyectos y proponer medidas de manejo que ayuden a la preservación de los recursos naturales y el medio ambiente. Finalmente, se propone verificar si la metodología Multiobjetivo es aplicable para la comparación de proyectos hidroeléctricos instalados en diferentes zonas del país y no en un mismo punto.

2. JUSTIFICACION

La realización de esta evaluación está enfocada a clasificar las grandes Centrales Hidroeléctricas instaladas a lo largo del territorio Nacional de acuerdo al impacto que producen en el medio ambiente y además se encuentran actualmente en operación. Por otro lado estos proyectos cuentan con Licencia Ambiental o Plan de Manejo ambiental otorgados por el MADS, y por ende esta entidad, que cumple el papel de Autoridad Ambiental, debe ser la que realice el control y seguimiento a dichos proyectos. Al organizar jerárquicamente cada hidroeléctrica se facilita la identificación de las medidas para mitigar el daño al medio ambiente.

La labor como estudiante de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, y el desempeño en el grupo de evaluación de hidroeléctricas de la Dirección de Licencias, Permisos y Tramites Ambientales (DLPTA) del Ministerio, consiste en desarrollar la evaluación de los proyectos hidroeléctricos que se encuentran adscritos a la entidad en mención.

Con el desarrollo de los objetivos, se finalizará el proyecto con la clasificación jerárquica de las Centrales Hidroeléctricas de Colombia, aplicando una metodología Multiobjetivo y la clasificación de los impactos ambientales que se presentan con mayor frecuencia en este tipo de obras. Con esto se pretende proponer medidas de control y seguimiento para proyectos de infraestructura y de la misma forma, medidas de manejo para los impactos ambientales identificados.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Analizar ambientalmente las grandes Centrales Hidroeléctricas de Colombia aplicando una metodología Multiobjetivo y verificar el grado de aplicabilidad de esta metodología para proyectos hidroeléctricos.

3.2 Objetivos Específicos

- Establecer y analizar las grandes Centrales Hidroeléctricas de Colombia, identificando sus principales características teniendo en cuenta los PMA's, DAA's y EIA's de cada proyecto.
- Obtener y determinar los criterios e indicadores del Banco Mundial, para evaluar las grandes Centrales Hidroeléctricas de Colombia.
- Identificar los impactos ambientales que se generan con mayor frecuencia en proyectos hidroeléctricos y proponer medidas de solución.
- Proponer y aplicar una metodología Multiobjetivo (MO) para la realización de análisis ambientales, teniendo en cuenta criterios ambientales, económicos y sociales.

4. ANTECEDENTES

El planeamiento de la expansión de la generación y transmisión del sector eléctrico colombiano ha sufrido cambios importantes en años recientes, a raíz del proceso de reestructuración que para dicho sector estableció el Gobierno Nacional en el año 1992, modificando aspectos de orden institucional, de regulación, de planeamiento, etc.

Antes de este proceso de cambio, la expansión de la generación y transmisión de energía eléctrica era definida por interconexión Eléctrica S.A. (ISA), empresa comercial del Estado, mediante un proceso de planeamiento centralizado, obligatorio y rígido. En este contexto, se definía una secuencia de proyectos de generación cuya energía permitiera atender la demanda nacional con un nivel de confiabilidad preestablecido y a un mínimo costo, para unas condiciones futuras determinadas.

En cuanto al artículo 45 de la ley 99 de 1993 sobre transferencia del sector eléctrico, tiene como antecedente la ley 56 de 1981, la que en su artículo 12 señala: “Las entidades propietarias de plantas generadoras de energía eléctrica, con capacidad instalada superior a 10.000 kilovatios, deberán destinar el 4% del valor de las ventas de energía, liquidadas a la tarifa de ventas en bloque, para inversión en los siguientes fines, por partes iguales y en forma exclusiva:

- a) Reforestación y protección de recursos naturales a la respectiva hoya hidrográfica, si se trata de centrales hidroeléctricas.
- b) Programas de electrificación rural, con prioridad en las zonas determinadas en el literal a).”

ANÁLISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

Los siguientes son proyectos de grado realizados por estudiantes del Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de La Universidad de La Salle.

COMPORTAMIENTO PARAMETRAL DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RIO SINU A PARTIR DE LA OPERACIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA URRÁ I Y APLICACIÓN DEL MODELO QUAL2F PARA DETERMINAR SU CONFIABILIDAD. María Margarita Cortes Leal, Andrea del Pilar Fernández Chicuzaque, 2001.

EVALUACIÓN DE LOS CENTROS DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA DE EMGESA SA ESP. EMPRESA GENERADORA DE ENERGÍA A TRAVÉS DE AUDITORÍAS AMBIENTALES INTERNAS. Juan Carlos Rodríguez Campo, 2002.

DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE SULFURO DE HIDROGENO POR BIOFILTRACIÓN EN LA ZONA DE INFLUENCIA DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA EL PARAÍSO. Edgar Mauricio Burgos Leguizamón, 2003.

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RIO PORCE TENIENDO EN CUENTA EL APORTE DE AGUAS CONTAMINADAS DE LA CIUDAD DE MEDELLÍN Y LA OPERACIÓN DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO PORCE II. Nelcy Stella Buenaventura Tocha, Carol Paola Vélez Zarate, 2003.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA NORMA NTC ISO 1400/96 EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA EL GUAUVIO Y EN LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA MARTIN DEL CORRAL (TERMOZIPA) DE EMGESA SA ESP. Guiomar Adriana Ortiz Pacheco, 2005.

DISEÑO DE ALTERNATIVAS DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA PARA LOS RESIDUOS PELIGROSOS GENERADOS EN LA PLANTA HIDROELÉCTRICA CHIVOR SA ESP. Diana Rocío Santacruz Moreno, 2005.

DISEÑO DEL SISTEMA DE INDICADORES AMBIENTALES APLICADOS AL SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE CHIVOR. Liza Ximena Rodríguez Ortiz, 2008.

INVENTARIO DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DE LOS EMBALSES COLOMBIANOS Y SU ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA. Carlos Daniel Urrea Hernández, 2010.

PERFIL AMBIENTAL DE LA SUBCUENCA DEL EMBALSE DE TOMINÉ DE LA CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ. Lina Rocío Rodríguez Beltrán, Luisa Fernanda Rodríguez Saavedra, 2010.

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

5. MARCO LEGAL

NORMA	OBJETO	
Ley 99 de 1993	Crea el Ministerio de Medio Ambiente y organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA). Reforma el sector público encargado de la gestión ambiental. Exige la planificación de la gestión ambiental de proyectos.	Ley marco en materia ambiental, crea el Ministerio de Medio Ambiente como principal Autoridad Ambiental del país, entre otros.
Decreto ley 2811 de 1947	Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Establece regulaciones para la protección, uso y manejo de los recursos naturales renovables y el ambiente.	Menciona los factores que deterioran el ambiente, la contaminación del aire, agua, suelo o de los demás recursos renovables.
Ley 388 de 1997	Ordenamiento Territorial Municipal y Distrital y Planes de Ordenamiento Territorial.	Se define el uso del territorio donde se va a realizar los proyectos.
Ley 143 de 1994	Por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones en materia energética.	Se conoce como la ley eléctrica, estipula las condiciones de generación de energía para los proyectos con este fin.
Decreto 1933 de 1994	Por el cual se reglamenta el Artículo 45 de la Ley 99 de 1993 sobre Transferencias del sector eléctrico.	Los proyectos transferirán un porcentaje de ventas para proyectos de saneamiento básico y mejoramiento ambiental.
Decreto 2820 de 2010	Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre Licencias Ambientales.	Todos los proyectos son objeto de Licencia Ambiental.

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

Decreto 255 de 2004	Por el cual se modifica la estructura de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) y se dictan otras disposiciones.	Se crea la UPME, como entidad de carácter técnico especializada en la planeación del desarrollo sostenible de los sectores de minas y energía.
Resolución 1255 de 2006	Establece Términos de Referencia para la elaboración del Diagnóstico Ambiental de Alternativas (DAA) de proyectos puntuales.	Parámetros para la elaboración de DAA, para proyectos de infraestructura.

6. ENFOQUE CONCEPTUAL

La energía hidráulica es la principal fuente de abastecimiento del sector eléctrico en nuestro país (64%), la puesta en operación de una central hidroeléctrica, como principal generador de este tipo de energía trae consigo una serie de impactos ambientales en su área de influencia. Esto motiva a realizar acciones conducentes a mejorar el control y seguimiento a dichos proyectos de infraestructura, sin que ello implique una menor calidad de vida para las poblaciones aledañas, las plantas, los animales y demás recursos naturales sin dejar atrás al agua como fuente de aprovechamiento.

Se disponen de estudios ambientales que permiten establecer el impacto que se puede presentar en el medio ambiente y que además son necesarios para la ejecución de los proyectos encaminados a la generación de energía. De esta manera se minimizará el daño a los recursos naturales y se plantearán medidas para la protección del medio ambiente.

Acciones que se propondrán como resultado del proyecto, permitirá asesorar a las autoridades ambientales encargadas de otorgar la Licencia Ambiental y demás tipos de permisos, con el fin mitigar el impacto ambiental que generan los proyectos hidroeléctricos.

La recopilación de las grandes centrales hidroeléctricas, su análisis y clasificación darán como resultado un documento importante, que permitirá, mediante su consulta, enfatizar en el área de impacto ambiental de proyectos específicos y será de gran avance para la ingeniería ambiental.

6.1 Sector Eléctrico en Colombia

El sector eléctrico en Colombia ha evolucionado de manera significativa durante los últimos 30 años, siendo hoy un sector eficiente y con prácticas de talla mundial.

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA MULTIOBJETIVO

Esta tendencia seguirá en aumento, por las próximas décadas, tanto por el crecimiento de la inversión extranjera directa hacia Colombia, como por el crecimiento de las multinacionales colombianas en el exterior.

Actualmente, el sector eléctrico cuenta con una agenda público-privada orientada hacia un sector de alta calidad, asegurando el abastecimiento de energía eléctrica del país a mediano y largo plazo y el interés de convertir a Colombia en el principal jugador de la integración energética regional.

La promulgación de las leyes 142 (Ley de Servicios Públicos) y 143 (Ley Eléctrica) de 1994 dieron un importante viraje en la política eléctrica colombiana, reestructurando y modernizando el sector. Se estableció un modelo de libre actividad económica y propiedad privada para la prestación del servicio de energía eléctrica, trayendo consigo el nuevo papel del Estado como ente regulador y de vigilancia y control.

Dichas leyes a su vez, han influido fuertemente en la eficiencia del sector, asegurando un suministro confiable del servicio de energía eléctrica. Como consecuencia, las empresas pertenecientes han tenido que mantener actualizada la tecnología utilizada en el sistema. Adicionalmente, han generado conocimiento y desarrollado prácticas correctas que les han permitido superar los obstáculos a los que se enfrentan diariamente.

Los recursos hidroeléctricos de Colombia superan los 90.000 MW, según los investigadores, con lo cual podría abastecer de energía eléctrica a todos los países andinos, pero de estos recursos hidroeléctricos solo se están aprovechando un 10% aproximadamente.

El país cuenta con un potencial de energía eléctrica instalado de 13.495 MW a Diciembre 31 de 2009.

- Generación de plantas Hidroeléctricas 8.997 MW (66.84%)

- Generación Térmica 4.445 MW (33.02%)
- Generación Eólica 18.4 MW

6.1.1 Organización del Sector Eléctrico

El negocio y explotación de la energía eléctrica en nuestro país, se suscribe también al usufructo de las Cuencas Hidrográficas y al dominio geopolítico que se establece donde operan las Centrales Hidroeléctricas, en muchos casos, no hay control efectivo por parte del Estado para preservar el medio ambiente, dependiendo este, a que las empresas generadoras de energía cuenten con la Certificación ISO 14000. Estas a su vez utilizan este mecanismo de certificación para valorar sus negocios dentro de la llamada energía limpia.

Por otra parte, el Ministerio de Minas y Energía, principal institución del sector energético de Colombia, cuenta entre sus dependencias, con la UPME (Unidad de Planeación Minero Energética) responsable del estudio de los futuros requerimientos de energía y escenarios de suministro, así como de ser la encargada de la elaboración de los planes, Nacional de Energía y de Expansión.

6.2 Hidroeléctricidad¹

Colombia posee alrededor de 100.000 MW identificados en recursos hídricos para la generación de la electricidad, en condiciones inmejorables de costos cuando es comparado con otros recursos. Se estima sin embargo, que el potencial es mucho mayor si se contara con el inventario de recursos de plantas de menos de 100 MW. Adicionalmente, en plantas de mayor tamaño el inventario no está completo. Por lo anterior, Colombia puede proseguir por

¹Evaluación Ambiental Estratégica. Plan de Expansión de Referencia Para la Generación y Transmisión Eléctrica (PERGT).

muy largo tiempo utilizando este recurso para fines de generación de energía eléctrica, si así se considera pertinente.

Algo bien importante, que se debe tener en cuenta en la planeación del Sector Eléctrico Colombiano, es el uso óptimo de estos recursos hídricos, en el sentido que los diseños deben respetar el uso integral y óptimo de las cuencas, miradas de manera global, para que no se presente que un proyecto no se dimensione en concordancia con el resto de eventuales proyectos de una cadena de generación, o que la capacidad instalada no sea la adecuada para el recurso hídrico explotado. En el pasado, bajo el esquema centralizado, existía en el sector el comité técnico, que normalizaba los proyectos para que todos fueran estudiados y por ende diseñados bajo las mismas políticas, que propendían por el uso racional y eficiente de los recursos de generación con que cuenta el país.

6.2.1 Sector Hidroeléctrico

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible tiene como parte de su competencia, veintisiete (27) proyectos en seguimiento para el sector, correspondientes a hidroeléctricas con capacidad de generación mayor a 100 MW, trasvases, pequeñas centrales y cadenas de generación. La capacidad instalada de los proyectos en operación es de aproximadamente 8260 MW.

6.2.2 Situación Actual

Actualmente, están en proceso de solicitud de licencia ambiental para 34 proyectos hidroeléctricos, de los cuales 10 están en proceso de licenciamiento (evaluación del Estudio de Impacto Ambiental - EIA), y 24 en pronunciamiento de Diagnostico Ambiental de Alternativas (DAA), de los cuales 3 pretenden desarrollarse en áreas de Parques Nacionales Naturales.

6.2.3 Central Hidroeléctrica

Son el resultado actual de la evolución de los antiguos molinos que aprovechaban la corriente de los ríos para mover una rueda. Se utiliza energía hidráulica para la generación de energía eléctrica. En general, estas centrales aprovechan la energía potencial que posee la masa de agua de un cauce natural en virtud de un desnivel, también conocido como salto geodésico. El agua, en su caída entre dos niveles del cauce, se hace pasar por una turbina hidráulica la cual transmite la energía a un generador donde se transforma en energía eléctrica.

Se utiliza para la generación de energía eléctrica, mediante el aprovechamiento de la energía potencial, del agua embalsada en una presa, situada a más alto nivel que la central. El agua se lleva por una tubería de descarga, a la sala de máquinas de la central donde turbinas hidráulicas generan la energía eléctrica en alternadores.

6.2.4 Características de un Proyecto Hidroeléctrico

Las centrales hidroeléctricas son una forma de aprovechar la energía natural renovable. Ellas representan una forma de aprovechamiento de la energía solar, captada por medio del agua a lo largo del ciclo hidrológico.

Gracias a sus importantes propiedades físicas, el agua en la naturaleza intercambia calor con el medio ambiente y sufre mutaciones en su estado. Al captar la energía solar a través de los fenómenos de evaporación y transpiración, ella asume el estado gaseoso y se mueve con corrientes aéreas, acumulando energía potencial.

Mediante la condensación y precipitación subsecuentes, el agua asume el estado líquido y escurre a lo largo de la superficie terrestre y del subsuelo, formando cursos de agua superficiales y subterráneos. Peculiaridades

climáticas regionales pueden hacer que la condensación produzca un estado sólido intermedio, en forma de granizo o nieve.

De esta forma, el agua retorna y circula continuamente en el medio ambiente, a lo largo del Ciclo Hidrológico, el cual tiene lugar al interior de la Cuenca Hidrográfica. El agua constituye así un recurso ambiental, cuya utilización y conservación es esencial para la supervivencia y el desarrollo de vegetales y animales.

Una CENTRAL HIDROELÉCTRICA, está constituida por una presa construida en un curso de agua superficial, la cual da lugar en la mayoría de los casos a formar un EMBALSE HIDROELÉCTRICO, cuyo fin es almacenar agua que es luego conducida a través de tuberías de carga hasta una CASA DE MAQUINAS, donde están instaladas las TURBINAS, mediante las cuales la energía hidráulica potencial se transforma en energía cinética y, luego, en energía mecánica. Esta, a su vez, se transforma en energía eléctrica por medio de fenómenos electromagnéticos producidos en GENERADORES ELECTRICOS acoplados a las turbinas.

La corriente eléctrica es producida por generadores y es llevada a la ESTACION DE TRANSFORMACION, situada junto a la central hidroeléctrica y destinada a elevar la tensión eléctrica para que el transporte sea más económico. Posteriormente se lleva al SISTEMA DE TRANSMISION, donde es transportada a los centros de consumo.

En general, los embalses hidroeléctricos viabilizan técnica y económicamente el aprovechamiento de la energía del agua mediante dos parámetros básicos que dependen del planteamiento:

- Un desnivel hidráulico junto al sitio de la casa de maquinas, creado por la presa en una sección del curso de agua.

- Un caudal garantizado de agua en las turbinas, asegurado por medio de la regularización de las descargas del río, esto es, mediante el almacenamiento de los volúmenes excedentes de agua en los periodos lluviosos y la complementación de las descargas en los estiajes, desocupando parcialmente el volumen acumulado en el reservorio.

En cada caso, se debe tener en cuenta las condiciones topográficas, geológicas, hidrológicas y ambientales presentes en la cuenca hidrográfica, así como los correspondientes a los esquemas constructivos y operativos de ingeniería. Es fundamental tener bien presente que, tanto desde el punto de vista económico como ambiental, la posibilidad de que en una central hidroeléctrica produzca un efecto neto positivo dependerá decisivamente del criterio de planeación adoptado en la fase inicial de concepción del proyecto. Por ello, es necesario que los estudios ambientales sean elaborados en forma concomitante con los estudios técnicos y económicos, desde las fases iniciales del planteamiento.

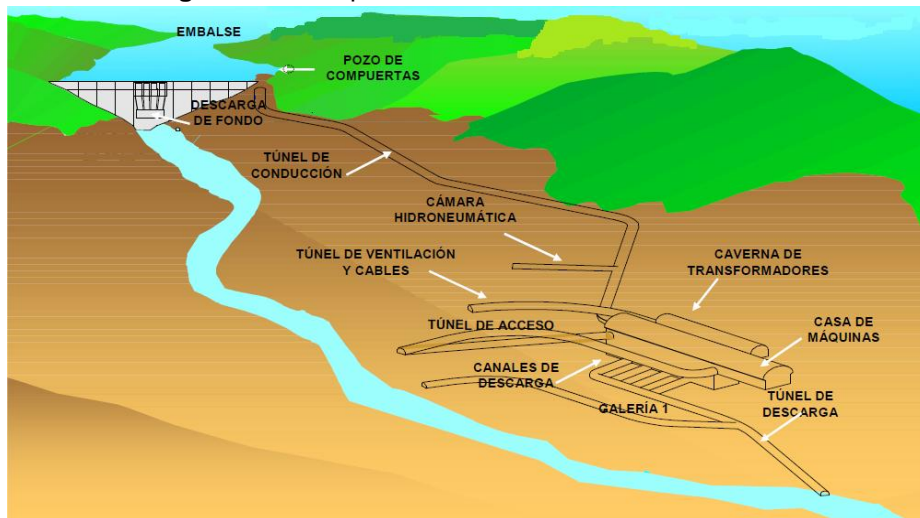
6.3 Principales Centrales Hidroeléctricas en Colombia

- Hidroeléctrica Urra
- Hidroeléctrica del Guavio
- Central Hidroeléctrica de Chivor
- Cadena de Generación Hidroeléctrica Pagua
- Proyectos Hidroeléctricos Porce II y Porce III
- Central Hidroeléctrica San Carlos
- Complejo Hidroeléctrico Guatapé – Playas
- Central Hidroeléctrica de Betania
- Central Hidroeléctrica Salvajina
- Central Hidroeléctrica del Alto Anchicayá

6.3.1 Esquemas de los Proyectos

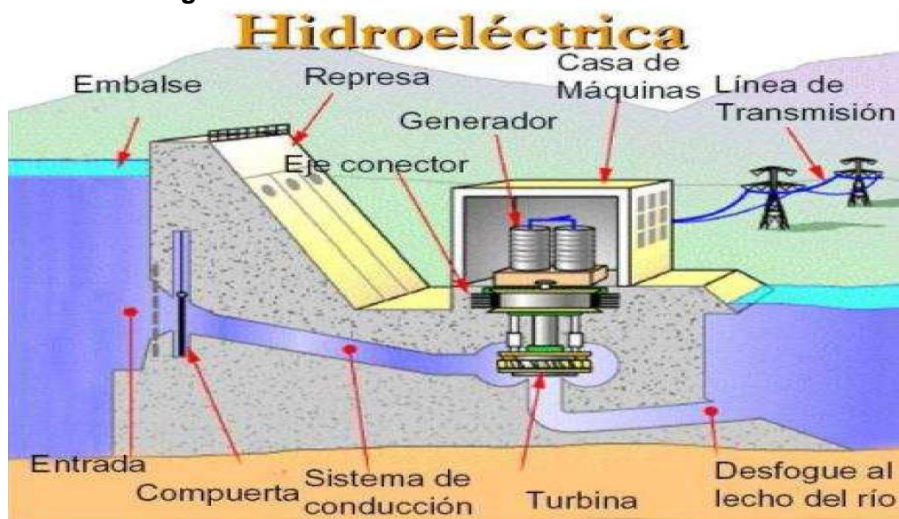
El esquema de los proyectos hidroeléctricos, está compuesto en forma general por una presa, un vertedero, una conducción en túnel hasta una central subterránea y un túnel de descarga.

Figura N° 1. Esquema de una Central Hidroeléctrica.



Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Figura N° 2. Partes de una Central Hidroeléctrica.



Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

6.4 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS)

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible es el rector de la gestión del ambiente y de los recursos naturales renovables, encargado de orientar y regular el ordenamiento ambiental del territorio y de definir las políticas y regulaciones a las que se sujetaran la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables y del ambiente de la nación, a fin de asegurar el desarrollo sostenible, sin perjuicio de las funciones asignadas a otros sectores.²

6.5 Unidad de Planeación Minero Energética (UPME)

La Unidad de Planeación Minero Energética es una Unidad Administrativa Especial del orden Nacional, de carácter técnico, adscrita al Ministerio de Minas y Energía, regida por la ley 143 de 1994 y por el Decreto número 255 de enero 28 de 2004. Tiene la misión de desarrollar de manera participativa el planeamiento integral y la gestión de la información de los sectores energético y minero, para contribuir al desarrollo sostenible del país, con su talento humano comprometido, idóneo y calificado, soportado en tecnología de punta.

6.6 Impacto Ambiental

Cualquier alteración en el sistema ambiental biótico, abiótico y socioeconómico, que sea adverso o beneficioso, total o parcial, que pueda ser atribuido al desarrollo de un proyecto, obra o actividad.³

²Decreto. 3570/2011 Por el cual se modifican los objetivos y la estructura del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y se integra el Sector Administrativo de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Art 1.

³Decreto. 2820/2010 Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales. Art 1.

Se denomina impacto ambiental a las consecuencias provocadas por cualquier acción que modifique las condiciones de subsistencia o de sustentabilidad de un ecosistema, parte de él o de los individuos que lo componen. No existe una valoración cuantitativa universalmente aceptada para determinar el grado de afectación de un impacto, salvo aquellos casos en que la acción que lo provoca está asociada a una cantidad mensurable; Por ejemplo, la concentración de un determinado contaminante.⁴

6.7 Estudios Ambientales

Los estudios ambientales están compuestos por el Diagnóstico Ambiental de Alternativas y el Estudio de Impacto ambiental que deben ser presentados ante la autoridad ambiental competente. Los estudios ambientales son objeto de evaluación de conceptos técnicos, por parte de las autoridades ambientales competentes.⁵

6.7.1 Diagnóstico Ambiental de Alternativas (DAA)

El Diagnóstico Ambiental de Alternativas (DAA), tiene como objeto suministrar la información para evaluar y comparar las diferentes opciones que presente el peticionario, bajo las cuales es posible desarrollar un proyecto, obra o actividad. Las diferentes opciones deberán tener en cuenta el entorno geográfico, las características bióticas, abióticas y socioeconómicas, el análisis comparativo de los efectos y riesgos inherentes a la obra o actividad; así como las posibles soluciones y medidas de control y mitigación para cada una de las alternativas.

⁴ ESTRUCPLAN ON LINE, "Impacto ambiental". Internet: (<http://www.estrucplan.com.ar/contenidos-impacto-test.asp>)

⁵Decreto. 2820/2010 Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales. Art 13

Lo anterior con el fin de aportar los elementos requeridos para seleccionar la alternativa o alternativas que permitan optimizar y racionalizar el uso de recursos y evitar o minimizar los riesgos, efectos e impactos negativos que puedan generarse.⁶

6.7.2 Estudio de Impacto Ambiental (EIA)

El Estudio de Impacto Ambiental es el instrumento básico para la toma de decisiones sobre los proyectos, obras o actividades que requieren licencia ambiental y se exigirá en todos los casos en que de acuerdo con la ley y el Decreto reglamentario lo requiera.⁷

Es el conjunto de informaciones sobre el desarrollo de un proyecto el cual contendrá los análisis realizados sobre la localización, los elementos abióticos, bióticos y socioeconómicos del medio que puedan sufrir deterioro significativo por la ejecución de la obra o actividad del proyecto y así poder plantear alternativas para que reduzcan los efectos negativos en el ambiente.⁸

6.8 Plan De Manejo Ambiental (PMA)

Es el conjunto detallado de medidas y actividades que, producto de una evaluación ambiental, están orientadas a prevenir, mitigar corregir o compensar los impactos y efectos ambientales debidamente identificados, que se causen por el desarrollo de un proyecto, obra o actividad.

⁶Decreto. 2820/2010 Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales Art 17

⁷Ibid. Art 21

⁸RODRÍGUEZ DÍAZ Héctor Alfonso. Estudios de impacto ambiental. Guía metodológica. Ed. Escuela Colombiana de Ingeniería.2008

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

Incluye los planes de seguimiento, contingencia, y abandono según la naturaleza del proyecto, obra o actividad.

El Plan de Manejo Ambiental podrá hacer parte del Estudio de Impacto Ambiental o como instrumento de manejo y control para proyectos, obras o actividades que se encuentran amparados por un régimen de transición.⁹

⁹Decreto. 2820/2010 Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales. Art 1

7. METODOLOGIA

La metodología utilizada en esta investigación se basó en tres (3) fases, dentro de las cuales se realizó la recopilación de información, como parte fundamental para la identificación de los proyectos que se enfocan al tema a tratar. Para el desarrollo de esta actividad se revisaron los Planes de Manejo Ambiental, los Diagnósticos Ambientales de Alternativas y los Estudios de Impacto Ambiental pertenecientes a cada central hidroeléctrica con el fin de identificar las características principales de cada proyecto en estudio. Con base en la información conocida se inició el proceso de evaluación de las grandes hidroeléctricas instaladas en el país y que se encuentran actualmente en operación, la evaluación inicial se realizó de acuerdo a criterios estipulados en el documento “Good Dams and Bad Dams: Environmental Criteria for Site Selection of Hydroelectric Projects” del Banco Mundial. Además, de acuerdo a los resultados obtenidos, se asignó la posición a ocupar por cada central hidroeléctrica en la organización jerárquica.

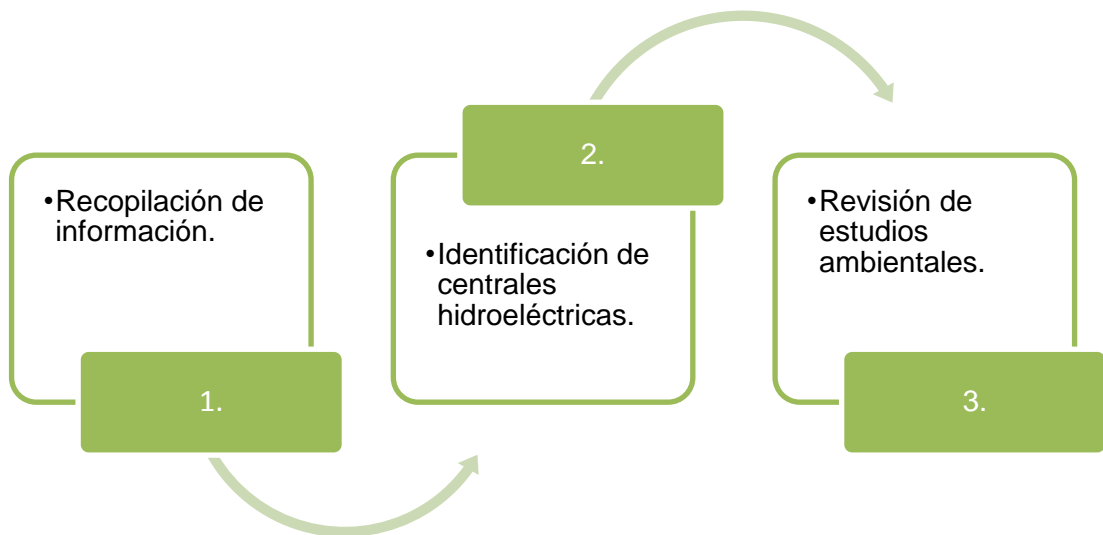
Posteriormente, como parte de la evaluación final, y para realizar el análisis y clasificación de cada proyecto hidroeléctrico se aplicó la metodología Multiobjetivo, objeto de la presente investigación. Con la aplicación de la metodología se obtuvo la clasificación jerárquica de las Centrales evaluadas; se determinó de acuerdo al impacto ambiental que producen en sus áreas de influencia y gracias a esta organización, se identificó que proyectos causan mayor daño al medio ambiente. Por último se clasificaron los impactos ambientales que se presentan con mayor frecuencia y se propusieron las medidas de manejo para mitigar el daño a los recursos naturales y el medio ambiente, buscando siempre la protección y preservación de los mismos. Además, como actividad adicional se recomiendan medidas para realizar un mejor control y seguimiento a los proyectos hidroeléctricos por parte de las Autoridades Ambientales.

A continuación se explican cada una de las fases que se tuvieron en cuenta para el cumplimiento de los objetivos planteados:

7.1 Fase I: Recopilación De Información.

Se realizó una recopilación de información necesaria para la elaboración de este trabajo de investigación, dentro de esta encontramos los Planes de Manejo Ambiental y los estudios ambientales, relativos a los Diagnósticos Ambientales de Alternativas y los Estudios de Impacto Ambiental, de proyectos hidroeléctricos de competencia del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Al mismo tiempo, se establecieron cuales proyectos se consideran como grandes centrales hidroeléctricas y se identificaron sus principales características.

Figura N° 3. Diagrama de flujo Fase I.



Fuente: El Autor.

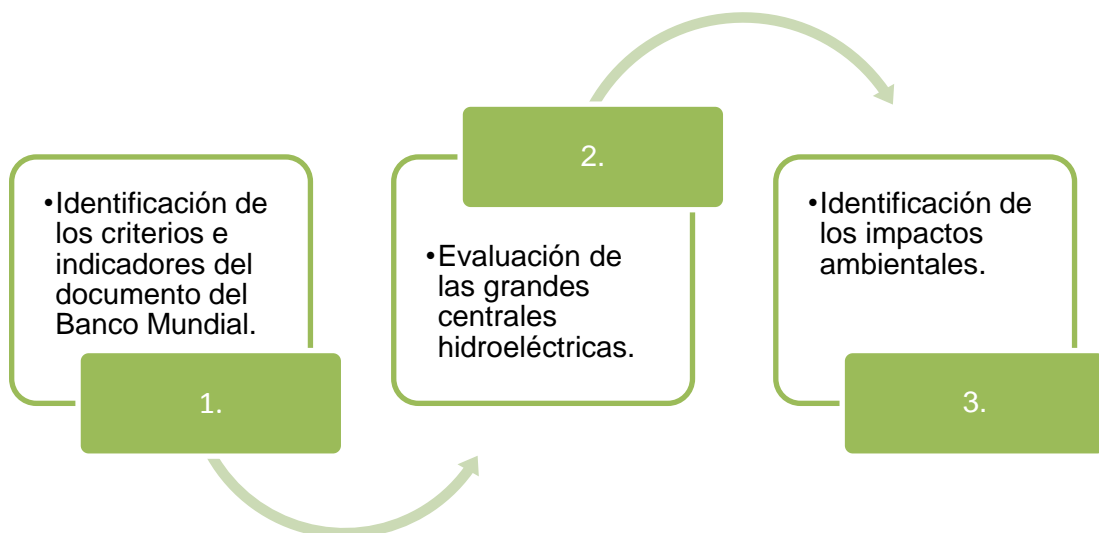
Se realizó una base de datos con la información encontrada, la cual sirve como herramienta de consulta para el Sector Eléctrico de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA).

7.2 Fase II: Evaluación De Las Centrales Hidroeléctricas

Se evaluaron las grandes centrales hidroeléctricas establecidas en la primera fase, aplicando los criterios e indicadores estipulados en la metodología “Good Dams and Bad Dams: Environmental Criteria for Site Selection of Hydroelectric Projects” del Banco Mundial. Esto permitió organizar jerárquicamente cada proyecto, de acuerdo a los resultados obtenidos, determinando el impacto que producen en el área de influencia con relación a la cantidad de energía que generan las mismas.

La identificación de los impactos ambientales que se presentan en la operación de cada central hidroeléctrica, se realizó por medio de los conceptos técnicos de seguimiento que hacen parte de los expedientes de cada proyecto.

Figura N° 4. Diagrama de flujo Fase II.

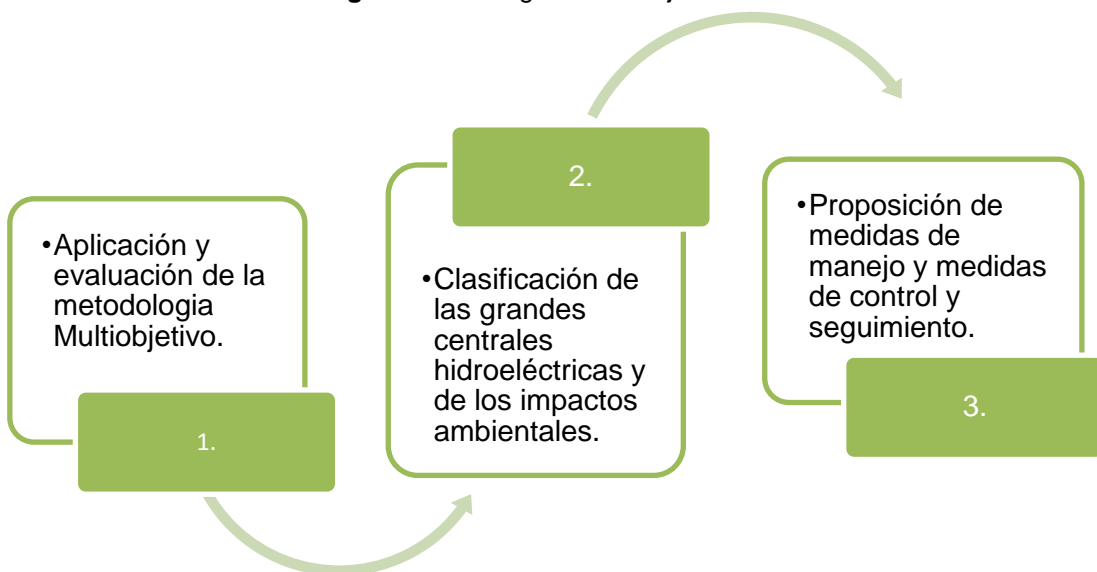


Fuente: El Autor.

7.3 Fase III: Análisis Ambiental De Las Centrales Hidroeléctricas

Se analizaron las centrales hidroeléctricas evaluadas aplicando una metodología Multiobjetivo, esta metodología involucró criterios ambientales, económicos y sociales. Además se evaluó el grado de aplicabilidad de la metodología en proyectos hidroeléctricos y posteriormente se clasificaron las centrales hidroeléctricas de acuerdo a su impacto ambiental. Se propusieron medidas de control y seguimiento para este tipo de proyectos y finalmente se clasificaron los impactos ambientales que más se presentan en las centrales hidroeléctricas y se establecieron medidas de manejo para prevenir y mitigar el impacto en el medio ambiente.

Figura N° 5. Diagrama de flujo Fase III.



Fuente: El Autor.

En esta fase, como actividad adicional, se realizó la elaboración de oficios, los cuales fueron remitidos a cada una de las empresas a cargo del manejo y operación de las centrales hidroeléctricas evaluadas en este trabajo. Esta actividad tenía como fin solicitar la información faltante y requerida para la elaboración del análisis e igualmente para actualizar la información que ya se habían tomado de los estudios ambientales. Cabe mencionar que no todas las empresas respondieron a esta solicitud.

8. DETERMINACION DE LOS CRITERIOS AMBIENTALES PARA PROYECTOS HIDROELECTRICOS ESTIPULADOS POR EL BANCO MUNDIAL

El Banco Mundial estipula en su documento “**Good Dams and Bad Dams: Environmental Criteria for Site Selection of Hydroelectric Projects**”, los criterios para identificar el impacto que producen las centrales hidroeléctricas en el medio ambiente, estos son:

8.1 Criterios Ambientales

8.1.1 Superficie Del Embalse.

El área inundada por el embalse es una variable fuerte para muchos impactos ambientales y sociales. Un área intervenida implica la pérdida de hábitat natural, fauna silvestre y acuática y/o el desplazamiento de personas. Los grandes embalses están normalmente en tierras bajas y usualmente encierra grandes ríos.

Una medida muy útil de los costos ambientales en relación con los beneficios económicos es la relación de hectáreas inundadas por Megavatio de electricidad (Ha/MW), varía en cuatro órdenes de magnitud para proyectos de gran potencia. El promedio global para todas las grandes centrales hidroeléctricas construidas a la fecha es de aproximadamente 60 Ha/MW. Es conveniente reducir este promedio en el futuro.

$$\frac{Ha}{MW}$$

Ha: Área inundada.

MW: Potencia de generación.

8.1.2 Tiempo De Retención Del Agua En El Embalse.

El tiempo medio de retención de agua durante la operación normal (el más corto, el mejor) es muy útil para estimar el grado en que los embalses puedan tener problemas en la calidad del agua a largo plazo. Esta cifra (N° de días) se calcula en función del volumen del embalse (m³) y el caudal medio de los ríos (m³/s).

$$Tr = \frac{V}{Qm} * 86400$$

V= Volumen del embalse

Qm= Caudal medio

8.1.3 Biomasa Inundada.

Se calcula en Ton/Ha basado en el porcentaje de cobertura de los diferentes tipos de vegetación en la zona del embalse. Para la buena calidad del agua en el embalse, las presas deben reducir al mínimo la inundación del bosque (ya que tienen un contenido alto de biomasa). La inundación de bosques nativos también amenaza la biodiversidad y libera gases de efecto invernadero.

$$\frac{Ton}{Ha}$$

% de cobertura.

- Tipo % de coberturas inundadas.
- Potencial gases de tipo invernadero.

8.1.4 Longitud Del Rio Represado O Embalsado

Para conservar la biodiversidad acuática y de la ribera (incluido los bosques ribereños), se debe minimizar la longitud (Km) del río en los sitios donde se dispongan las presas (cauce principal y afluentes) y que es tomado por el embalse (medida en periodos de alto flujo).

8.1.5 Longitud Lecho Seco

Este parámetro mide los kilómetros de río seco (con menos del 50% de la temporada de flujo seco) aguas abajo de la presa, debido a la desviación del agua hacia la casa de máquinas. La longitud del lecho del río seco (antes de las afluentes importantes aguas abajo) debe ser reducida al mínimo, disminuyendo el impacto sobre el medio acuático y su afectación a peces y demás especies asociadas, el daño a los ecosistemas ribereños y la interrupción del suministro de agua de consumo humano, la agricultura y/o pesca.

- (< 50% de la estación seca)
- Hasta el próximo tributario más importante.

8.1.6 Numero De Afluentes Aguas Abajo

Cuanto más afluentes (sin represas ni diques principales), aguas abajo del sitio de la presa, es mejor, en términos de mantener el acceso al hábitat para los peces migratorios, el régimen de inundación natural de los ecosistemas fluviales, y los aportes de nutrientes o sedimentos necesarios para la alta productividad biológica de los estuarios.

8.1.7 Probabilidad De Estratificación Del Embalse

La estratificación en un yacimiento se produce cuando la zona superior del lago (Epilimnion) es de origen térmico dividido de la zona más profunda (hipolimnion), esta última se estanca y es carente de oxígeno disuelto (Anaerobio), de tal modo, inadecuado para la mayoría de la vida acuática. Una estimación rápida de las tendencias de la estratificación en un embalse se puede obtener con el número de Froude (F).

Numero de Froude:

- $F < 1$ Se espera estratificación, así es mucho menor.
- $F > 1$ No se estratifica, no es probable.

$$F = 320 * \left(\frac{L}{D} \right) * \left(\frac{Q}{V} \right)$$

L= Longitud río inundado

D= Profundidad del embalse

Q= Caudal medio

V= Volumen del embalse

8.1.8 Vida Útil Del Embalse

La vida útil del embalse es el número esperado de años antes de que el embalse este completamente lleno, por lo que la sedimentación reduce aún más el almacenamiento directo y reduce la generación de energía. El almacenamiento comprende todas las aguas del embalse por debajo del nivel de toma de las turbinas de la presa, toda el agua en o por encima de este nivel de consumo forma parte del almacenamiento.

La vida útil del embalse es una función del llenado del embalse y el sedimento de los ríos. Este es un buen indicador de la sostenibilidad relativa de generación de energía eléctrica, variando en menos de 10 años su almacenamiento, el cual potencialmente se estima en miles de años.

En general, los embalses con mayor tiempo de vida útil son relativamente profundos y situados en los ríos con baja carga de sedimentos. El mantenimiento de bajas cargas de sedimentos con el tiempo requiere una buena gestión de las cuencas hidrográficas.

- > Bueno
- < Grave

8.1.9 Vías De Acceso

Cuando los riesgos de la deforestación inducida son altos, el emplazamiento del proyecto debe minimizar los kilómetros de vías que se requieren, nuevas o mejoradas que pasan a través o cerca de los bosques naturales.

8.1.10 Personas A Reasentar

El número de personas físicamente desplazadas por proyectos hidroeléctricos va de cero a más de 50.000 en América Latina y más de un millón en Asia. La ubicación de la presa en general, debe tratar de reducir el número de personas o familias que requieren de reasentamiento de las tierras afectadas por el embalse y obras complementarias. Una medida útil para relacionar los costos de reasentamiento a los beneficios de la energía hidroeléctrica es la relación de personas desplazadas por megavatio. Debido a su grado de vulnerabilidad a la ruptura social, es importante, especialmente para reducir al mínimo el número de personas indígenas con los modelos terrestres tradicionales de producción que se requieren de reasentamiento.

$$\frac{N^{\circ} \text{ Personas reasentadas}}{MW}$$

MW: Potencia de generación.

8.2 Aplicación de Criterios Ambientales

Se determinaron los criterios estipulados en el documento del Banco Mundial, teniendo en cuenta las características principales de cada una de las Centrales Hidroeléctricas identificadas (Anexo 1) y los resultados fueron consignados en la siguiente tabla:

TABLA N° 1. RESULTADO DE LOS CRITERIOS AMBIENTALES.

CENTRALES HIDROELECTRICAS	CRITERIOS AMBIENTALES									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Aprovechamiento Hidroeléctrico Porce III	< 1	12.4	0.1273	12.8	0.3	49	Estratificación	50	4.2	1
Central Hidroeléctrica Calima	15	560.4	0.1081	13	0.13	3	Estratificación	50	20	4
Central Hidroeléctrica De Betania	14	39.3	0.0091	23	2.1	3	Estratificación	50	1.6	1
Central Hidroeléctrica Del Alto Anchicayá	< 1	13.3	0.4671	5.4	1.3	2	Estratificación	50	24	1
Central Hidroeléctrica Guatapé	12	245.8	0.0098	13.5	0.5	33	Estratificación	50	3.5	8

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO
METODOLOGIA MULTIOBJETIVO

Central Hidroeléctrica Jaguas	6	53.7	0.0742	7.2	0.8	1	Estratificación	50	2.8	5
Central Hidroeléctrica La Miel I	3	78.4	0.0256	4.6	4.5	2	Estratificación	50	17.9	2
Central Hidroeléctrica La Tasajera	4	81.2	0.0376	11.5	0.4	15	Estratificación	50	2.5	0
Central Hidroeléctrica Salvajina	7	74.9	0.0067	30	4	6	Estratificación	50	6.8	5
Central Hidroeléctrica San Carlos	< 1	5.8	0.2185	7.5	1.3	2	Estratificación	50	3	0
Central Hidroeléctrica San Francisco	< 1	7.7	0.9884	1.54	2	0	Estratificación	80	14	0
Central Hidroeléctrica De Chivor	1	195	0.0244	22	3.8	7	Estratificación	23	16	2
Complejo Hidroeléctrico Guadalupe	< 1	15.8	0.1395	6.8	0.3	26	Estratificación	50	2.3	0
Hidroeléctrica Del Guavio	1	168.3	0.1351	14	0.8	4	Estratificación	50	11.4	1
Hidroeléctrica Urrá	22	46.9	0.0120	31.5	1.5	1	Estratificación	50	18	18

Fuente: El Autor.

• **Criterios Ambientales - Unidades:**

- 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.)

8.3 Análisis de Resultados

Una vez aplicados los criterios ambientales estipulados en el documento del Banco mundial, se puede analizar que estos fueron establecidos sin tener en cuenta la eficiencia en la generación de energía y el beneficio económico que trae consigo la instalación de centrales hidroeléctricas de gran magnitud, se hace evidente que cada uno de los criterios están enfocados en prevenir el daño al medio ambiente y regular mas 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.

**ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO**

Los resultados obtenidos en la evaluación se pueden observar en la siguiente tabla, donde cada central hidroeléctrica fue organizada teniendo en cuenta el área inundada por el embalse ya que esta es una medida muy útil de los costos ambientales en relación con los beneficios económicos. De acuerdo al resultado obtenido en dicho criterio, se asignó la posición a ocupar por cada central hidroeléctrica en la organización jerárquica. También se involucró el criterio de personas a desplazar, porque también es una medida útil para relacionar los costos de reasentamiento a los beneficios de la energía generada.

TABLA N° 2. EVALUACIÓN DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS.

PROYECTO	CAPACIDAD	AREA	PERSONAS	Ha/MW	PD/MW
	INSTALADA (MW)	EMBALSE (Ha)	DESPLAZADAS (PD)		
San Carlos	1240	350	278	0.3	0.2
Alto					
Anchicayá	365	140	280	0.4	1
San					
Francisco	135	66	0	0.5	0
Porce III	660	514	850	0.8	1.3
Guadalupe	512	469	0	0.9	0
Guavio	1200	1344	1500	1.1	1.3
Chivor	1000	1280	1750	1.3	1.8
La Miel I	396	1220	761	3.1	1.9
La Tasajera	306	1210	0	4.0	0
Jaguas	170	1030	924	6.1	5.4
Salvajina	285	2031	1300	7.1	4.6
Guatapé	560	6870	4689	12.3	8.4
Betania	540	7400	420	13.7	0.8
Calima	132	1934	543	14.7	4
Urra I	340	7400	6200	21.8	18.2

Fuente: El Autor.

De acuerdo a los resultados, la hidroeléctrica San Carlos, compensa el daño ambiental con los beneficios económicos obtenidos de la energía generada.

9. APLICACIÓN METODOLOGIA MULTIOBJETIVO

La metodología Multiobjetivo es una herramienta formal para el apoyo en la toma de decisiones (decisiones considerando múltiples objetivos en condiciones de incertidumbre), que resultan de especial interés y aplicabilidad en estudios de estas características. Esta metodología incluye en la toma de decisiones, objetivos, criterios o parámetros de referencia evaluados en diversos tipos de unidades (monetarias, energía, potencia, impacto ambiental y social).

Dentro de esta metodología se incluye el método de Promedios Ponderados, mediante el cual se establece una estructura de preferencias de manera que se puede asignar igual o diferente importancia a los aspectos u objetivos ambientales, económicos y sociales, donde al interior de cada objetivo o criterio (ambiental, económico y social) se le asigna el mismo peso a cada uno de los criterios asociados (Promedios Ponderados).

9.1 Método de Análisis Propuesto

Para el análisis propuesto y el respaldo de la solución óptima del desarrollo, se seleccionó el método de los promedios ponderados considerando que posee una estructura algorítmica relativamente simple, de fácil comprensión y que permite definir de manera sencilla las preferencias, lo mismo que los análisis de sensibilidad con respecto a las mismas.

Para la selección del método se tuvo en cuenta que el nivel de detalle de la información utilizada para la decisión, la cual está basada en buena medida en información secundaria, no justifica para esta etapa la implementación de métodos más sofisticados.

ANÁLISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

Debido a que los diferentes criterios para evaluar un objetivo están valorados en escalas y unidades diferentes (pesos, unidades de longitud, unidades de volumen, etc.) se debe transformar o reescalar la matriz de pagos o matriz de calificaciones en una matriz de evaluación común para todos los criterios usando una escala cualquiera. Luego de que se tenga la matriz de calificaciones normalizada se asignan factores de ponderación a cada criterio teniendo en cuenta las preferencias del decisor. Para el análisis realizado se asignó el mismo peso de ponderación para cada uno de los criterios planteados de 0.333, debido a que los proyectos evaluados se encuentran instalados en distintos puntos del territorio nacional y no en un mismo sitio. La función de valor en este caso es:

$$U_j = \sum_{i=1}^m w_i * r_{ij}$$

Donde w_i , $i = 1, 2, \dots, m$ es el vector que representa el conjunto de pesos asignados a cada criterio.

Por lo tanto, la regla es seleccionar la alternativa con la mayor utilidad total, así:

$$U_{\text{optimo}} = \text{Max} U_j = \text{Max} \left\{ \sum_{i=1}^m w_i * r_{ij} \right\}$$

Como Función de Valor de este objetivo en el proceso de reescalación se adopta una función lineal creciente que caracteriza una actitud indiferente al riesgo. Bajo esta perspectiva y ante un valor intermedio para cualquier calificación, un decisor indiferente razonará aceptando que un valor obtenido en la mitad del rango posible de los valores “alcanzables” significará la mitad de la satisfacción posible de dicho objetivo¹⁰.

¹⁰INTEGRAL S.A. Diagnostico Ambiental de Alternativas para el Desarrollo Hidroeléctrico del Río Samaná Norte – Proyecto Porvenir 1, capítulo 11. 2009.

9.2 Definición De Criterios

La definición de los criterios a considerar en el análisis y sus sistemas o subcriterios de medición se realizó considerando los aspectos más relevantes para la clasificación final. Para los propósitos de esta evaluación, y con el fin de incorporar criterios de evaluación adicionales al ambiental, los criterios se agruparon en tres aspectos: ambientales, económicos y sociales.

9.2.1 Criterios Ambientales

Los criterios ambientales considerados para el análisis multiobjetivo, se presentan en la siguiente tabla:

TABLA N° 3. CRITERIOS AMBIENTALES.

CRITERIO	UNIDADES	OBJETIVO
Área inundada	ha	Minimizar
Longitud del río ubicada dentro del embalse	km	Minimizar
Volumen del embalse	Hm ³	Minimizar
Área afectada de cobertura vegetal	ha	Minimizar
Incremento en los ingresos por transferencias	\$M/año	Maximizar

Fuente: El Autor.

9.2.2 Criterios Económicos

Este grupo de criterios refleja diferentes aspectos asociados a la eficiencia de la inversión y al desempeño económico de las centrales hidroeléctricas. La definición de los indicadores económicos propuestos refleja indirectamente la complejidad de la infraestructura propuesta, los costos de

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

operación y los ingresos proyectados. Los proyectos más convenientes desde el punto de vista de eficiencia de la inversión, asociadas a mayores ingresos, o a menores costos, serán los que presenten una mayor calificación.

TABLA N° 4. CRITERIOS ECONÓMICOS.

CRITERIO	UNIDADES	OBJETIVO
Capacidad Instalada	MW	Maximizar
Producción Energética	GWh/AÑO	Maximizar
Tasa Interna de Retorno (TIR)	%	Maximizar
Valor Presente Neto (VPN)	USD	Maximizar

Fuente: El Autor.

9.2.3 Criterios Sociales

Este grupo de criterios pretende incorporar en el proceso de toma de decisiones aspectos relacionados con incertidumbres y desventajas sociales que presentaron los diferentes proyectos ejecutados. Las centrales hidroeléctricas más convenientes desde el punto de vista social serán las que, en su etapa de instalación y según la información conocida, ofrecieron un menor impacto a las comunidades asentadas en el área de influencia.

TABLA N° 5. CRITERIOS SOCIALES.

CRITERIO	UNIDADES	OBJETIVO
Población Afectada	# Habitantes	Minimizar
Cambio en la tenencia de la tierra	# Predios	Minimizar
Generación de empleo	# Empleados	Maximizar

Fuente: El Autor.

9.3 Matrices de Calificación de los Criterios Considerados

Se presentan las centrales hidroeléctricas consideradas en el análisis con las respectivas calificaciones para cada criterio.

1. Aprovechamiento Hidroeléctrico Porce III
2. Central Hidroeléctrica Calima
3. Central Hidroeléctrica De Betania
4. Central Hidroeléctrica Del Alto Anchicayá
5. Central Hidroeléctrica Guatapé
6. Central Hidroeléctrica De Jaguas
7. Central Hidroeléctrica La Miel I
8. Central Hidroeléctrica La Tasajera
9. Central Hidroeléctrica Salvajina
10. Central Hidroeléctrica San Carlos
11. Central Hidroeléctrica San Francisco
12. Central Hidroeléctrica De Chivor
13. Complejo Hidroeléctrico Guadalupe
14. Hidroeléctrica Del Guavio
15. Hidroeléctrica Urrá

Se presenta la matriz de calificaciones normalizada, la cual fue utilizada para la elaboración de las gráficas presentadas. En esta matriz se muestra para cada central hidroeléctrica el grado de cumplimiento de cada uno de los criterios. Valores cercanos a 100 indican el cumplimiento del objetivo y valores cercanos a cero incumplimiento del mismo

**ANÁLISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO
METODOLOGIA MULTIOBJETIVO**

TABLA N° 6. MATRIZ DE CALIFICACIONES PARA EL ANÁLISIS DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

CRITERIOS	UND	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
CRITERIOS AMBIENTALES																
Área inundada	ha	514	1934	7400	140	6870	1030	1220	1210	2031	350	66	1280	469	1344	7400
longitud del río ubicada dentro del embalse	km	12,8	13	23	5,4	13,5	7,2	4,6	11,5	30	7,5	1,54	22	6,8	14	31,5
Volumen del Embalse	hm ³	170	581	1488,1	45	1094,1	185,5	591	236,35	906	72	2,1	758	30,44	1047	1890
Área Afectada de Cobertura Vegetal	ha	1273,5	1500	17781	347	16507	2184	6340.4	4613	24020	742	164	6652	1162	1200	13486
Incremento en los ingresos por transferencias	\$M/ año	4.755	692.7	7.034	5.413	14.983	1.603	5.380	7.940	4.037	13.392	1.526	8.373	13.689	19.998	3.882
CRITERIOS ECONÓMICOS																
Capacidad Instalada	MW	660	132	540	365	560	170	396	306	285	1240	135	1000	512	1200	340
Producción energética	GWh/ año	954,54	180	2092	1291	3008,5	769,09	2460	1594,4	1050	6422,2	240	3626	2748,6	5200	1471
CRITERIOS SOCIALES																
Población Afectada	# Hab.	850	543	420	280	4698	924	761	0	1300	278	0	1750	0	1500	6200
Cambio en la tenencia de la tierra	# Pred.	137	356	60	60	1665	684	401	238	270	85	3	804	48	280	158
Generación de empleo	# Emp.	250	95	180	120	792	280	180	391	240	215	80	140	176	150	195

Fuente: El Autor.

La variación de calificaciones normalizadas por criterio es de 0 a 100 y los valores intermedios se calculan proporcionalmente (tendencia lineal), donde la valoración o calificación por criterio ya sea ambiental, económico o social es el producto de la calificación normalizada por su respectivo peso o factor de ponderación, y la utilidad o calificación total es la sumatoria de las calificaciones por criterio para cada alternativa.

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO
METODOLOGIA MULTIOBJETIVO

TABLA N° 7. MATRIZ DE CALIFICACIONES NORMALIZADA

CRITERIOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
CRITERIOS AMBIENTALES															
Área inundada	94	75	0	99	7	87	84	84	73	96	100	83	95	83	0
longitud del río ubicada dentro del embalse	62	62	28	87	60	81	90	67	5	80	100	32	82	58	0
Volumen del Embalse	91	69	21	98	42	90	69	88	52	96	100	60	98	45	0
Área Afectada de Cobertura Vegetal	95	94	26	99	31	92	74	81	0	98	100	73	96	96	44
Incremento en los ingresos por transferencias	21	0	33	24	74	5	24	38	17	66	4	40	67	100	17
CRITERIOS ECONÓMICOS															
Capacidad Instalada	48	0	37	21	39	3	24	16	14	100	0	78	34	96	19
Producción energética	12	0	31	18	45	9	37	23	14	100	1	55	41	80	21
CRITERIOS SOCIALES															
Población Afectada	86	91	93	95	24	85	88	100	79	96	100	72	100	76	0
Cambio en la tenencia de la tierra	92	79	97	97	0	59	76	86	84	95	100	52	97	83	91
Generación de empleo	24	2	14	6	100	28	14	44	22	19	0	8	13	10	16

Fuente: El Autor.

9.4 Estructura de Preferencias

El método de los Promedios Ponderados adoptado para el análisis requiere que se asigne ponderaciones o pesos relativos a cada uno de los criterios, de manera que dichas ponderaciones reflejen su propia estructura de preferencias.

Para la aplicación de este método se asignó un peso de ponderación de 0.33% para cada uno de los criterios planteados (ambientales, económicos y sociales). Esto debido a que las Centrales Hidroeléctricas analizadas y evaluadas se encuentran instaladas en diferentes partes del país, donde las características físicas y biológicas varían según su localización. Además, al tomar un mismo valor para cada criterio, no se castiga al proyecto por su magnitud y se tiene en cuenta su eficiencia.

Se presenta la estructura de preferencias adoptada para el Caso o Escenario Básico del Análisis. En la primera columna se presentan cada uno de los criterios, en la segunda se presenta el peso agregado de cada conjunto de objetivos, luego se presenta el peso de cada criterio dentro del total, y finalmente, en la cuarta columna se muestra el peso relativo al interior de cada grupo de criterios.

TABLA N° 8. ESTRUCTURA DE PREFERENCIAS PARA EL ESCENARIO BÁSICO.

CRITERIOS	PESO DEL GRUPO	PESO TOTAL	PESO RELATIVO
CRITERIOS AMBIENTALES			1
Área inundada		0.66	0.2
Longitud del río ubicada dentro del embalse		0.66	0.2
Volumen del embalse	0.33	0.66	0.2
Área afectada de cobertura vegetal		0.66	0.2
Incremento en los ingresos por transferencias		0.66	0.2

**ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO**

CRITERIOS ECONOMICOS			1
Capacidad Instalada		0.167	0.5
Producción Energética		0.167	0.5
Tasa Interna de Retorno (TIR)	0.33	N/A	N/A
Valor Presente Neto (VPN)		N/A	N/A
CRITERIOS SOCIALES			1
Población Afectada		0.11	0.33
Cambio en la tenencia de la tierra	0.33	0.11	0.33
Generación de empleo		0.11	0.33

Fuente: El Autor.

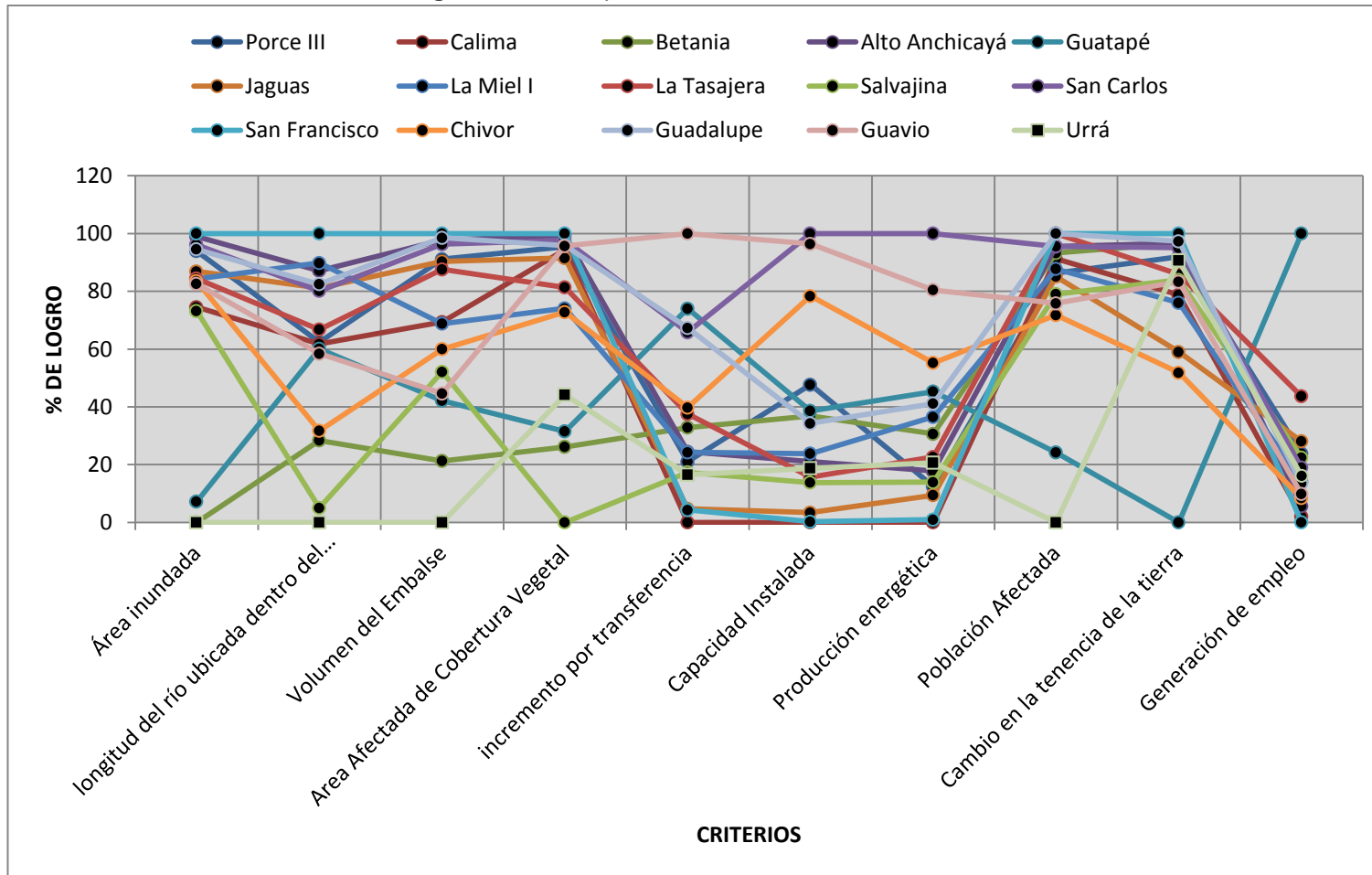
9.5 Resultados

Se conoció una primera idea de los proyectos hidroeléctricos más atractivos (los dominantes) y los dominados por medio del cumplimiento de logros de cada uno de los criterios aplicados de acuerdo con los pesos asignados. La siguiente figura es una representación gráfica que permite apreciar el porcentaje de logro individual de los diez criterios planteados para cada una de las centrales hidroeléctricas evaluadas, aclarando que para el análisis no se tuvo en cuenta los criterios económicos de Valor Presente Neto (VPN) y Tasa interna de Retorno (TIR), debido a que esta información no estaba disponible. El gráfico indica cuales de los proyectos cumplen la mayor cantidad de criterios y en la medida que lo hacen. En este sentido la central hidroeléctrica perfecta, es decir la que genera un menor impacto ambiental estaría representada por una línea horizontal en la parte superior del gráfico, mientras que la más indeseable o para este caso la más impactante estaría ubicada en la porción inferior para la totalidad de los criterios.

Para la elaboración del grafico se tomaron los datos de la matriz normalizada, ya que estos representan el porcentaje de logro de cada uno de los criterios evaluados. Inicialmente se evidencia que la central hidroeléctrica San Francisco es la que genera menor impacto en el medio ambiente aunque también es en cuanto a dimensiones la más pequeña.

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA MULTIOBJETIVO

Figura N° 6. Cumplimiento Individual de los Criterios.



Fuente: El Autor.

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO
METODOLOGIA MULTIOBJETIVO

TABLA N° 9. APOORTE DE CADA CRITERIO AL RESULTADO FINAL.

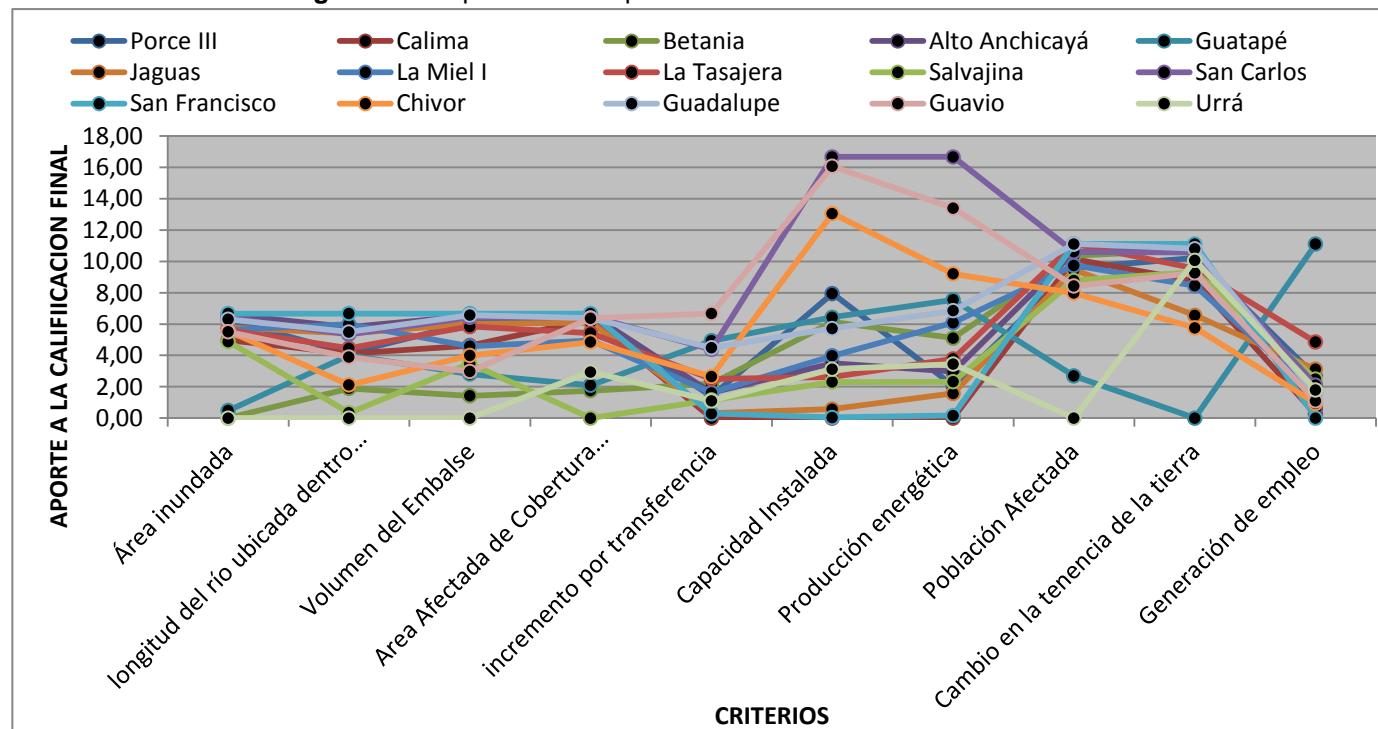
CRITERIOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
CRITERIOS AMBIENTALES															
Área inundada	6,26	4,97	0,00	6,60	0,48	5,79	5,62	5,63	4,88	6,41	6,67	5,56	6,30	5,50	0,00
longitud del río ubicada dentro del embalse	4,16	4,12	1,89	5,81	4,01	5,41	5,99	4,45	0,33	5,34	6,67	2,11	5,50	3,89	0,00
Volumen del Embalse	6,07	4,62	1,42	6,52	2,81	6,02	4,59	5,84	3,47	6,42	6,67	4,00	6,57	2,98	0,00
Área Afectada de Cobertura Vegetal	6,36	6,29	1,74	6,62	2,10	6,10	4,94	5,42	0,00	6,51	6,67	4,85	6,39	6,38	2,94
Incremento en los ingresos por transferencias	1,40	0,00	2,19	1,63	4,93	0,31	1,62	2,50	1,16	4,39	0,29	2,65	4,49	6,67	1,10
CRITERIOS ECONÓMICOS															
Capacidad Instalada	7,94	0,00	6,14	3,50	6,44	0,57	3,97	2,62	2,30	16,67	0,05	13,06	5,72	16,06	3,13
Producción energética	2,07	0,00	5,10	2,97	7,55	1,57	6,09	3,78	2,32	16,67	0,16	9,20	6,86	13,40	3,45
CRITERIOS SOCIALES															
Población Afectada	9,59	10,14	10,36	10,61	2,69	9,46	9,75	11,11	8,78	10,61	11,11	7,97	11,11	8,42	0,00
Cambio en la tenencia de la tierra	10,22	8,75	10,73	10,73	0,00	6,56	8,45	9,54	9,33	10,56	11,11	5,76	10,81	9,26	10,07
Generación de empleo	2,65	0,23	1,56	0,62	11,11	3,12	1,56	4,85	2,50	2,11	0,00	0,94	1,50	1,09	1,79

Fuente: El Autor.

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA MULTIOBJETIVO

A partir de la información anterior se reelaboró la figura del cumplimiento individual de los criterios, con el fin de permitir una mejor apreciación del efecto de la estructura de preferencias en el resultado, para lo cual se multiplicó el cumplimiento de cada criterio (el cual tenía valores de 0 a 1) por el peso asignado a cada uno de ellos, para reflejar el aporte de cada criterio al resultado final, el cual se puede observar en la tabla N° 9.

Figura N° 7. Aporte del cumplimiento de los criterios al resultado final.



Fuente: El Autor.

**ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO**

Los resultados obtenidos mediante la aplicación del método de los promedios ponderados son:

TABLA N° 10. ORDENAMIENTO DE LOS PROYECTOS. RESULTADOS ESCENARIO BASE.

ORDEN	PROYECTO	PARCIAL			TOTAL
		AMBIENTAL (33%)	ECONOMICO (33%)	SOCIAL (33%)	
1	San Carlos	0.29	0.33	0.24	0.86
2	Guavio	0.26	0.29	0.19	0.74
3	Guadalupe	0.29	0.13	0.23	0.65
4	Porce III	0.25	0.10	0.22	0.57
5	Chivor	0.19	0.23	0.14	0.56
6	La Tasajera	0.24	0.06	0.26	0.56
7	Alto Anchicayá	0.27	0.07	0.22	0.56
8	La Miel I	0.23	0.11	0.19	0.53
9	San Francisco	0.27	0.002	0.22	0.49
10	Jaguas	0.24	0.02	0.19	0.45
11	Guatapé	0.14	0.14	0.14	0.42
12	Betania	0.07	0.11	23	0.41
13	Calima	0.20	0	0.19	0.39
14	Salvajina	0.10	0.05	0.20	0.35
15	Urra	0.04	0.07	0.11	0.22

Fuente: El Autor

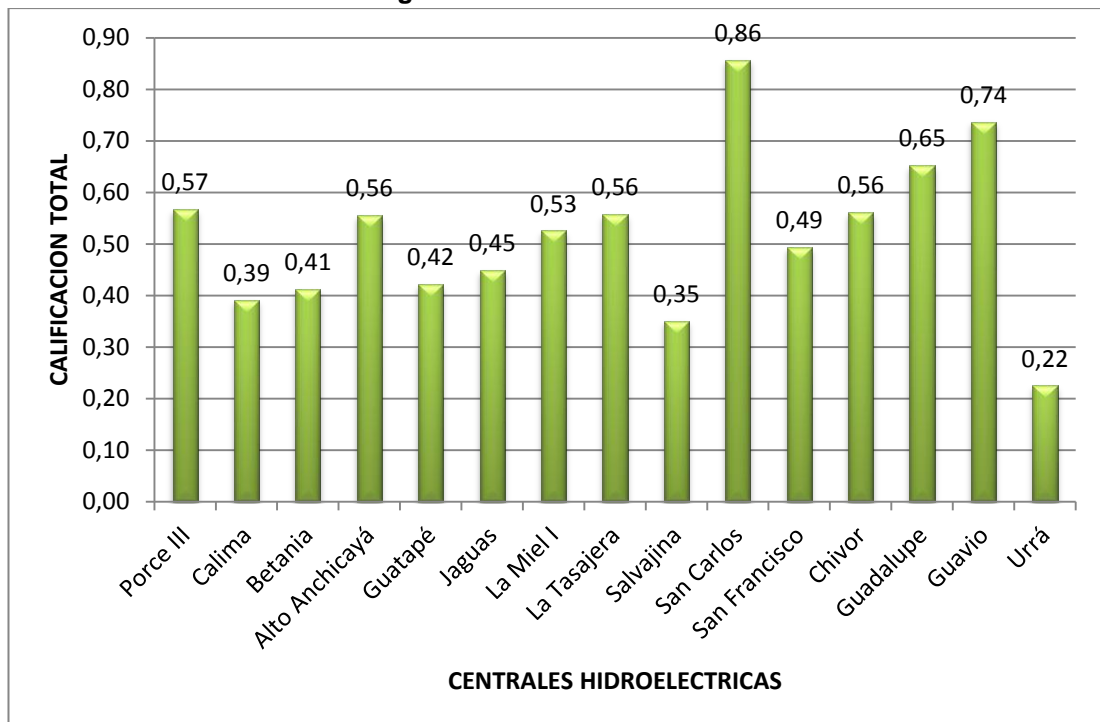
9.6 Análisis de Resultados

Como se puede ver de acuerdo con los resultados de la evaluación multiobjetivo el proyecto ideal o más viable de las grandes centrales hidroeléctricas evaluadas es la Central Hidroeléctrica San Carlos, ya que esta es la que logra una mejor calificación según los pesos que le fueron asignados. El impacto ambiental que produce es compensado con las ganancias que recibe en la venta de la energía generada. De igual forma también fue de los proyectos que tuvo la más alta puntuación en cuanto al componente ambiental junto con la central hidroeléctrica Guadalupe.

ANÁLISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA MULTIOBJETIVO

Es por eso que para realizar la clasificación jerárquica de los proyectos evaluados se tendrá en cuenta los resultados obtenidos en la valoración ambiental. Sin embargo en este caso los primeros lugares los ocuparan las centrales hidroeléctricas que obtuvieron una menor puntuación. Ya que esto demuestra que el impacto que generan en el ambiente es de gran magnitud.

Figura N° 8. Calificación Total.



Fuente: El Autor

9.7 Evaluación de la Metodología Multiobjetivo

Se considera adecuada la metodología de análisis Multiobjetivo utilizada en la evaluación de las grandes centrales hidroeléctricas de Colombia, ya que este método permite incluir en la toma de decisiones objetivos, criterios o parámetros de referencia evaluados en diversos tipos de unidades (monetarias, energía, potencia, impacto ambiental y social), pudiendo ser incluso unidades de tipo cualitativo, los cuales pueden ser tratados conjuntamente.

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA MULTIOBJETIVO

Además para otros casos, esta metodología permite realizar un análisis de sensibilidad con la variación de los pesos ponderados a cada componente de criterios establecidos a preferencia del decisor. Esto con el fin de verificar si el resultado se mantiene y con ellos tomar la decisión adecuada dependiendo del proyecto que se quiera ejecutar.

El involucrar factores económicos, técnicos o sociales a un análisis ambiental hace que éste se enfoque más a la realidad que vive el país y se vuelve una herramienta útil para la evaluación de proyectos que satisfagan las necesidades de todos en general.

Finalmente, se aplicó una matriz DOFA para evaluar la metodología Multiobjetivo ya que este es un instrumento metodológico que sirve para identificar acciones viables mediante el cruce de variables, en el supuesto de que las acciones estratégicas deben ser ante todo acciones posibles y que la factibilidad se debe encontrar en la realidad misma del sistema¹¹.

TABLA N° 11. MATRIZ DOFA.

FORTALEZAS	DEBILIDADES
Permite comparar cualquier cantidad de alternativas de un proyecto para determinar cuál es la más viable.	Carencia de información requerida en los Diagnósticos Ambientales de Alternativas.
Existe una amplia disponibilidad de criterios a evaluar expresados en cualquier unidad.	Normalización de las calificaciones de manera lineal no es exacta al valor en la realidad.
Los criterios establecidos se relacionan con las características principales de los proyectos a evaluar.	Valoración de manera cualitativa no permite identificar el verdadero porcentaje de cumplimiento de los criterios.
La variación de los pesos de ponderación en los análisis de sensibilidad permite verificar si el resultado inicial se mantiene.	Los pesos de ponderación de cada criterio deben ser justos para no castigar al proyecto por su magnitud.
Es aplicable para comparar proyectos ejecutados en diferentes puntos y no en un mismo sitio.	El no poseer la información completa para cada alternativa, impide la no valoración de los criterios.

¹¹ http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/agronomia/2008868/lecciones/capitulo_2/cap2lecc2_3.htm

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

OPORTUNIDADES	AMENAZAS
Prioridad otorgada a la actividad que genera un mayor impacto en el área de influencia del proyecto.	Veracidad de la información allegada al decisor, en este caso a los grupos de evaluación del sector.
Herramienta útil para la evaluación de proyectos en trámite de Licencia ambiental.	Conflictos entre el usuario y el evaluador por los resultados obtenidos al evaluar el proyecto.
Facilidad al momento de recomendar o elegir la alternativa que menos daño ocasione en el medio ambiente dentro de una adecuada eficiencia energética, es decir la más viable.	Calificaciones determinadas pueden no acercarse a la realidad del proyecto, por errores en la información o aplicación del modelo.

Fuente: El Autor

9.8 Clasificación De Las Grandes Centrales Hidroeléctricas De Colombia

Con la aplicación preliminar de la metodología Multiobjetivo, se conocieron cuales son los proyectos hidroeléctricos que ocasionan un gran impacto en el medio ambiente. Se establecieron varios criterios ambientales que se relacionan con las características físicas de las centrales hidroeléctricas y del área de influencia en general. De acuerdo a los resultados del método de promedios ponderados, se realizó la clasificación de los proyectos que son considerados como grandes centrales hidroeléctricas por su importancia en la generación de energía con la que cuenta el país.

Para esta clasificación se tuvo en cuenta los resultados parciales del componente ambiental del escenario base (Tabla 10). Se organizaron jerárquicamente los proyectos, de acuerdo a los valores que cada uno obtuvo al hacer los respectivos cálculos, distribuyéndose de la siguiente forma: Los proyectos que presentaran la puntuación más baja ocuparon los primeros lugares ya que esto quiere decir que el impacto ambiental que generan es de gran magnitud, además el fin último de la clasificación es identificar cuales Centrales Hidroeléctricas ocasionan un mayor daño a los recursos naturales y el entorno en general.

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA MULTIOBJETIVO

A continuación se presenta dicha clasificación mediante una tabla, donde se pueden observar los resultados en el componente ambiental que obtuvo cada central hidroeléctrica y su correspondiente posición.

TABLA N° 12. CLASIFICACIÓN DE LAS GRANDES HIDROELÉCTRICAS DE COLOMBIA.

No.	PROYECTO	VALORACION AMBIENTAL
1	Urra	0.04
2	Betania	0.07
3	Salvajina	0.10
4	Guatapé	0.14
5	Chivor	0.19
6	Calima	0.20
7	La Miel I	0.23
8	Jaguas	0.24
9	La Tasajera	0.24
10	Porce III	0.25
11	Guavio	0.26
12	San Francisco	0.27
13	Alto Anchicayá	0.27
14	Guadalupe	0.29
15	San Carlos	0.29

Fuente: El Autor.

De acuerdo a la clasificación jerárquica, el proyecto más impactante en el medio ambiente es la Hidroeléctrica de Urra, debido a la magnitud de sus dimensiones, seguido de la central hidroeléctrica de Betania. Por otro lado, inicialmente la central hidroeléctrica San Francisco se presentaba como la que menos impactos generaba por considerarse un proyecto pequeño en comparación a los demás, pero perdió puntaje ya que al generar menos energía, las transferencias de ley que le corresponde pagar bajan notablemente y por esto los recursos económicos destinados a compensar los daños en el medio ambiente no será suficiente. La central San Carlos ocupó el último lugar en la clasificación ya que esta es la que produce mayor energía, el recaudo de dinero va a ser mayor y por esto el pago de transferencias compensará el daño al medio ambiente.

10.IMPACTOS AMBIENTALES DE LAS CENTRALES HIDROELECTRICAS

La instalación y operación de una central hidroeléctrica trae consigo una serie de impactos en el medio ambiente los cuales son en su mayoría negativos. Es por eso que dichos proyectos antes de ser ejecutados deben tramitar su correspondiente licencia ambiental, para que así haya un debido seguimiento a las actividades que se desarrollen. Para el caso de este trabajo, la mayoría de las centrales hidroeléctricas evaluadas fueron construidas hace más de 30 años, por lo cual no tuvieron un adecuado control al daño que pudieron generar en el medio ambiente.

Al expedirse la ley 99 de 1993, estos proyectos fueron amparados por un régimen de transición. Es por eso que las centrales hidroeléctricas para seguir operando debieron presentar un Plan de Manejo Ambiental y no un Estudio de Impacto Ambiental, ante el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (para esa época Ministerio de Medio Ambiente – MMA), para que este lo evaluara y lo estableciera como instrumento de control y seguimiento.

10.1 Impactos Ambientales Generales De Las Centrales Hidroeléctricas

Los impactos ambientales a tener en cuenta en el planeamiento, construcción y operación de una central hidroeléctrica se relacionan principalmente con las siguientes acciones:

- **Creación y operación de un lago de agua dulce**, en caso de que sea necesario, recurso ambiental de gran riqueza ecológica, paisajística, social, económica, vial e hidráulica, en sustitución de ecosistemas e infraestructuras, también muy valiosos, previamente existentes en el tramo de río y en las respectivas riberas.

- **Modificaciones del régimen de descargas y de calidad del agua, aguas abajo de la presa,** las cuales podrán tener un efecto neto positivo o negativo, en función de los criterios utilizados en la planeación ambiental del reservorio, tales como uso múltiple, eficiencia y costos de las medidas mitigadoras y otros.
- **Inducción del desarrollo en el área de influencia de la central hidroeléctrica,** como resultado del control y utilización múltiple de los recursos hídricos, vías, navegación en los ríos, electrificación, telecomunicaciones, vivienda, escuelas, saneamiento básico y demás obras y servicios de infraestructura implantados o mejorados en la región para el desarrollo del proyecto, junto con el aporte personal económicamente activo y entrenado llegado a la región tras las nuevas oportunidades de trabajo.
- **Activación temporal de la economía,** a través de la generación de empleo en los servicios de consultoría, construcción, fabricación de materiales y equipos, comercialización, montaje y operación, durante un periodo de cuatro a ocho años usualmente requeridos para la planeación e implantación de una central hidroeléctrica.

Se identificaron los impactos ambientales, teniendo en cuenta las etapas de ejecución de los proyectos hidroeléctricos más conocidas, las cuales son la de construcción y operación. Además se tuvo en cuenta al medio el cual se está viendo afectado.

Es importante conocer los impactos que se presentan en la ejecución de este tipo de proyectos de infraestructura, porque así se pueden establecer medidas de mitigación protección y prevención para mitigar el daño en el medio ambiente.

10.1.1 Etapa De Construcción

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.
- Afectación de la calidad del paisaje, (Construcción de vías e infraestructura).
- Alteración y pérdida de suelos, (Construcción de vías e infraestructura).

Impactos Sobre 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.

Impactos Sobre El Medio Socioeconómico y Cultural.

- Afectación de asentamientos nucleados y dispersos (Construcción de vías e infraestructura).
- Generación de expectativas y conflictos, (Construcción).
- Generación de empleo.
- Mejoramiento en la calidad de vida.

10.1.2 Etapa De Llenado y Operación

Impactos Sobre el Medio Físico.

- Agradación de las colas del embalse.
- Afectación de las condiciones batimétricas del embalse.
- Cambio morfológico y degradación del lecho del río aguas abajo del sitio de presa.
- Disminución del río aguas abajo del sitio de presa.
- Generación de inestabilidad y erosión en los taludes del embalse.
- Concentración de empalizadas arrastradas por el río, en el embalse.
- Alteración del régimen de caudales, durante llenado y operación, aguas abajo del sitio de presa.
- Alteración de la calidad del agua en el embalse.

Impactos Sobre 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.
- Afectación comunidades hidrobiológicas, aguas abajo sitio de presa; destrucción de la subienda de especies reofilicas.

Impactos Sobre el Medio Socioeconómico y Cultural.

- Profusión de vectores.
- Conflictos de usos del agua.
- Pérdida de identidad cultural por cambio de actividad económica y reubicaciones.
- Pérdida de la conectividad.
- Afectación de las actividades productivas, en áreas requeridas por el proyecto.
- Afectación asentamientos temporales y permanentes.

10.2 Impactos Ambientales Específicos De Las Centrales Hidroeléctricas Evaluadas

Para realizar una debida clasificación de los impactos ambientales que se presentan con mayor frecuencia en los proyectos hidroeléctricos se identificaron los impactos que se generan en cada una de las centrales evaluadas anteriormente.

10.2.1 Aprovechamiento Hidroeléctrico Porce III

El proyecto Porce III ha presentado una serie de impactos en el medio ambiente durante el tiempo que lleva en operación. Estos se identificaron y se clasificaron según al medio que se ha visto afectado.

**ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO**

TABLA N° 13. IMPACTOS AMBIENTALES PORCE III.

MEDIO	IMPACTO	TIPO
Abiótico	Alteración de la calidad del aire y aumento de la contaminación por ruido.	-
	Alteración de la calidad del agua durante la construcción de las obras.	-
	Abatimiento de los niveles freáticos en quebradas.	-
	Alteración y pérdida de suelos.	-
Biótico	Afectación a la fauna silvestre.	-
	Afectación de la cobertura vegetal.	-
	Afectación de las fuentes de aguas superficiales.	-
Socioeconómico	Intranquilidad y generación de conflictos y expectativas durante la construcción.	-
	Pérdida de viviendas y servicios; pérdida de fuentes de trabajo por parte de los mineros de aluvión y de veta; pérdida de fuentes de trabajo de los dueños de establecimientos comerciales, de los agricultores, ganaderos y vendedores informales; desarticulación cultural y espacial de unidades familiares, resquebrajamiento de relaciones familiares y vecinales y surgimiento de conflictos generacionales; generación de posibles conflictos y expectativas con relación a la compra de predios; cambio de lugar de residencia y de actividad económica por requerimiento de predios; generación de conflictos y reclamaciones.	-
	Afectación del proyecto sobre los recursos naturales del medio y sobre las condiciones de vida de la población.	-
	Alteración de las finanzas municipales y de CORANTIOQUIA.	+

Fuente: MADS – Expediente: LAM1582. Aprovechamiento Hidroeléctrico Porce III.

10.2.2 Central Hidroeléctrica Calima

Los impactos ambientales que se han presentado en la central hidroeléctrica Calima son:

TABLA N° 14. IMPACTOS AMBIENTALES CALIMA.

MEDIO	IMPACTO	TIPO
Abiótico	Alteración del paisaje por inestabilidad de suelos y riesgo de accidentes en la zona perimetral del embalse.	-
	Alteración de la calidad del agua por vertimientos de aguas residuales domésticas.	-
	Incremento de residuos sólidos domésticos e industriales generados por la central.	-
	Estabilidad de laderas y orillas en el embalse.	+
	Susceptibilidad a procesos erosivos	-
	Filtración de aguas de escorrentía	-
Biótico	Creación de hábitats lénticos, incrementando localmente la población de ictiofauna y avifauna asociados con estos sistemas.	+
	Deterioro de la calidad del agua y de las comunidades hidrobiológicas en las fuentes receptoras y en el embalse.	-

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA MULTIOBJETIVO

Socioeconómico	Establecimiento de una actividad económica basada en el aprovechamiento artesanal del recurso hídrico como alternativa productiva local.	+
	Afectación de la cobertura vegetal y fauna asociada en la zona de amortiguación del embalse.	
	Incremento en la superficie destinada a la conservación.	+
	Resquebrajamiento de las relaciones del Proyecto con la comunidad aledaña.	-
	Aportes económicos a municipios y CVC.	+
	Deterioro socio-ambiental en áreas de uso público.	-
	Aprovechamiento artesanal del recurso íctico como alternativa productiva local.	+
	Generación de empleo por la demanda de personal para la operación y mantenimiento de las centrales, sus obras anexas y la gestión ambiental en la zona de embalses y cuencas.	+
	Generación de conflictos por el uso del embalse	-

Fuente: MADS – Expediente: LAM2582. Central Hidroeléctrica Calima.

10.2.3 Central Hidroeléctrica De Betania

La Central hidroeléctrica de Betania en sus actividades de operación, genera los siguientes impactos ambientales:

TABLA N° 15. IMPACTOS AMBIENTALES BETANIA.

MEDIO	IMPACTO	TIPO
Abiótico	Alteración de la calidad del agua y del suelo.	-
	Incremento en los procesos de inestabilidad y erosión.	-
	Impactos ambientales sobre el Valle del río Magdalena.	-
	Impactos resultantes de la acumulación de sedimentos en el embalse	-
Biótico	Incremento en la biomasa de macrófitas y material vegetal	-
	Afectación de las comunidades hidrobiológicas: perifiton, fitoplancton, zooplancton, bentos y macrófitas	-
	Afectación del proceso de la subienda por la construcción del proyecto	-
	Afectación del recurso íctico y pesquero en el embalse, aguas arriba y aguas abajo del mismo	-
Socioeconómico	Insatisfacción de expectativas de la población, frente a la actividad pesquera.	-
	Manifestación de insatisfacción de expectativas de la población	-
	Cambio de uso del suelo (agropecuario a embalse y producción piscícola)	-
	Desinformación, intensificación de vectores, deforestaciones, sedimentación.	-
	Desempleo, generación de expectativas de empleo.	+/-
	Invasión del espejo de agua.	-

Fuente: MADS – Expediente: LAM2142. Central Hidroeléctrica De Betania.

**ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO**

10.2.4 Central Hidroeléctrica Del Alto Anchicayá

Los impactos ambientales que se han presentado en el proyecto hidroeléctrico del Alto Anchicayá, durante su operación son:

TABLA N° 16. IMPACTOS AMBIENTALES DEL ALTO ANCHICAYÁ.

MEDIO	IMPACTO	TIPO
Abiótico	Desplome de orillas en la cola del embalse.	-
	Procesos de inestabilidad de taludes de las vías internas de operación de la central, y también del cauce y orillas por la descarga de aguas turbinadas.	-
	Extracción de materiales de arrastre.	-
	Afectación del ciclo sedimentológico normal de la cuenca por la presencia de la Central Hidroeléctrica.	-
	Inundaciones aguas abajo de la presa, causadas por mala operación de las estructuras de evacuación del agua del embalse, la mala operación del vertedero de excesos, los altos caudales turbinados, la apertura de las descargas de fondo y por la rotura o pérdida en la estabilidad de la presa por fallas o cambios de las hipótesis de diseño de la estructura de evacuación de excesos.	-
	Alteración de la calidad del aire por las emisiones de fuentes móviles (vehículos) y material particulado por la operación y mantenimiento de las vías, y el aumento de los niveles de ruido por el tráfico.	-
	Deterioro de calidad de las aguas por vertimientos de aguas residuales domésticas.	-
	Deterioro de la calidad de las aguas que hacen parte del proceso de generación de energía entre el embalse y desfogue.	-
	Deterioro de calidad de aguas superficiales y suelos por manejo inadecuado de residuos sólidos industriales y domésticos.	-
	Biótico	Alteración de cauces por la extracción de material de arrastre para el mantenimiento de las vías.
Afectación de la vegetación por actividades de mantenimiento.		-
Afectación de la fauna terrestre por el aumento del ruido, deterioro del hábitat de especies terrestre por destrucción o cambios en la vegetación; efecto barrera para la dispersión o movimientos locales por las acciones que incrementan la emisión sonora.		-
Socioeconómico	Los riesgos de la población laboral y la población transeúnte por la operación de los vehículos de transporte para la operación y labores de mantenimiento.	-

Fuente: MADS – Expediente: LAM3563. Central Hidroeléctrica Del Alto Anchicayá.

10.2.5 Central Hidroeléctrica Guatapé

Los impactos ambientales que se han presentado en la central hidroeléctrica Guatapé son:

**ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO**

TABLA N° 17. IMPACTOS AMBIENTALES GUATAPÉ.

MEDIO	IMPACTO	TIPO
Abiótico	Afectación de la calidad del aire por emisión de olores y gases contaminantes.	-
	Estabilidad de laderas y orillas en los embalses	+
	Susceptibilidad a procesos erosivos.	-
	Generación de áreas inestables.	-
	Afectación por la presencia de olores, insectos y roedores en las instalaciones de los embalses.	-
Biótico	Afectación de la cobertura vegetal en la zona de amortiguación del embalse.	-
	Deterioro de la calidad del agua y de las comunidades hidrobiológicas en las fuentes receptoras.	-
Socioeconómico	Generación de empleo por la demanda de personal para la operación y mantenimiento de las centrales, sus obras anexas y la gestión ambiental en la zona de embalses y cuencas.	+
	Aumento de los ingresos municipales y regionales por las transferencias definidas en la Ley 99 de 1993.	+

Fuente: MADS – Expediente: LAM2576. Complejo Hidroeléctrico Guatapé - Playas.

10.2.6 Central Hidroeléctrica Jaguas

Durante la operación del proyecto hidroeléctrico Jaguas, se han presentado los siguientes impactos ambientales identificados para cada uno de los medios:

TABLA N° 18. IMPACTOS AMBIENTALES JAGUAS.

MEDIO	IMPACTO	TIPO
Abiótico	Inestabilidad de laderas y orillas en el embalse.	-
	Generación de procesos erosivos.	+
	Contaminación de aguas por el transporte de sedimentos provenientes de derrumbes y deslizamientos.	-
	Aporte de sedimentos al embalse y disminución de la vida útil del mismo.	-
	Afectación de los recursos agua y suelo.	-
Biótico	Descapote, remoción de capa orgánica y capa vegetal.	-
	Afectación de la fauna silvestre	-
	Alteración del Paisaje	-
	Afectación comunidades hidrobiológicas	-
Socioeconómico	Generación de expectativas y posibles conflictos con la comunidad y autoridades municipales.	-
	Afectación de predios y vivienda, cultivos, semovientes e infraestructura de la comunidad por actividades de contratistas.	-
	Expectativas y conflictos por Generación de Empleo.	+/-

**ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO**

	Riesgos para los grupos de población aguas abajo y también riesgos para las actividades que se desarrollen en causes y riberas.	-
--	---	---

Fuente: MADS – Expediente: LAM2574. Central Hidroeléctrica De Jaguas.

10.2.7 Central Hidroeléctrica La Miel I

Durante la operación del proyecto hidroeléctrico La Miel I, se han presentado los siguientes impactos ambientales:

TABLA N° 19. IMPACTOS AMBIENTALES LA MIEL I.

MEDIO	IMPACTO	TIPO
Abiótico	Alteración de la calidad del agua y del suelo.	-
	Incremento en los procesos de inestabilidad y erosión en la zona del embalse.	-
	Impactos ambientales aguas abajo de la presa.	-
Biótico	Afectación de la fauna silvestre, debido a la operación del proyecto.	-
	Afectación de la cobertura vegetal por actividades operativas del proyecto.	-
	Afectación de las comunidades hidrobiológicas: perifiton, fitoplancton, zooplancton, macroinvertebrados y macrófitas.	-
	Afectación de las comunidades hidrobiológicas, aguas abajo del sitio de presa.	-
Socioeconómico	Generación de falsas expectativas en la comunidad.	-
	Fortalecimiento del presupuesto de los municipios y de las CAR.	+
	Desarticulación vial y dificultad en las comunicaciones.	-
	Otros impactos asociados a actividades que presuntamente no están en el marco de la operación del proyecto.	-

Fuente: MADS – Expediente: LAM0005. Central Hidroeléctrica La Miel I.

10.2.8 Central Hidroeléctrica La Tasajera

Los siguientes son los impactos ambientales que ha generado la Central hidroeléctrica La tasajera, durante el tiempo que lleva en operación.

TABLA N° 20. IMPACTOS AMBIENTALES LA TASAJERA.

MEDIO	IMPACTO	TIPO
Abiótico	Inestabilidad de orillas del río Medellín.	-
	Inestabilidad de taludes en la vía de acceso a la vereda Filoverde.	+
	Deterioro de la calidad del agua y de las comunidades hidrobiológicas en las fuentes receptoras.	-

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA MULTIOBJETIVO

Biótico	Deterioro de la calidad del agua y de las comunidades hidrobiológicas en el embalse, aguas abajo del sitio de presa y en el punto de descarga.	-
	Afectación de la cobertura vegetal en la zona de amortiguación del embalse.	-
Socioeconómico	Alteración del paisaje.	-
	Generación de empleo por demanda de personal para la operación y mantenimiento de las centrales, sus obras anexas y la gestión ambiental en la zona de embalses y cuencas.	+
	Expectativas de la comunidad sobre inversión municipal	+/-

Fuente: MADS – Expediente: LAM2577. Central Hidroeléctrica La Tasajera.

10.2.9 Central Hidroeléctrica Salvajina

Los siguientes son los impactos ambientales que ha generado la central hidroeléctrica Salvajina, durante el tiempo que lleva en operación.

TABLA N° 21. IMPACTOS AMBIENTALES SALVAJINA.

MEDIO	IMPACTO	TIPO
Abiótico	Generación de procesos erosivos.	-
	Cambio en las propiedades fisicoquímicas del suelo y en el uso del mismo.	-
	Inestabilidad de taludes.	-
	Alteración de la calidad del agua.	-
	Cambio en condiciones de régimen de flujo de la corriente y en la morfología y dinámica del cauce,	-
	Cambio en las condiciones climáticas	-
Biótico	Alteración de las unidades del paisaje.	-
	Afectación de la cobertura vegetal, cambio en su composición y estructura.	-
	Cambio en la biodiversidad florística y fragmentación del hábitat.	-
	Afectación y desplazamiento de la fauna silvestre, además de la presencia de especies plagas.	-
	Cambio en riqueza local de especies icticas y macroinvertebrados.	-
Socioeconómico	Variación poblacional de especies hidrobiológicas.	-
	Cambio en la calidad de vida.	-
	Conflictos entre la empresa y las comunidades aledañas.	-
	Cambios en la movilidad y en la tenencia de la tierra.	-
	Cambio en la dinámica económica y generación de empleo.	+
	Seguridad alimentaria y acceso a la educación.	-
	Condiciones de salubridad de la población.	-
Saneamiento básico.	-	
Afectación a la infraestructura comunitaria.	-	

Fuente: MADS – Expediente: LAM2581. Central Hidroeléctrica Salvajina.

**ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO**

10.2.10 Central Hidroeléctrica San Carlos

Los impactos ambientales que se han presentado en el proyecto hidroeléctrico San Carlos, durante su operación son:

TABLA N° 22. IMPACTOS AMBIENTALES SAN CARLOS.

MEDIO	IMPACTO	TIPO
Abiótico	Estabilidad de laderas y orillas en el embalse.	+
	Susceptibilidad a procesos erosivos.	-
	Generación de áreas inestables.	-
	Afectación al recurso agua.	-
Biótico	Afectación de la cobertura vegetal y hábitats asociados.	-
	Contaminación de las aguas del embalse por vertimientos municipales.	-
	Conservación de la biodiversidad y de los ecosistemas cubiertos por especies nativas	+
Socioeconómico	Fortalecimiento presupuestal municipal.	+
	Expectativas por el empleo y conflictos entre las organizaciones	+/-
	Deterioro de las vías por tráfico vehicular o fenómenos naturales.	-
	Afectación de predios, cultivos, semovientes e infraestructura de particulares y de la comunidad por actividades de contratistas.	-

Fuente: MADS – Expediente: LAM2575. Central Hidroeléctrica San Carlos.

10.2.11 Central Hidroeléctrica San Francisco

Durante la operación del proyecto hidroeléctrico San Francisco, se han presentado los siguientes impactos ambientales:

TABLA N° 23. IMPACTOS AMBIENTALES SAN FRANCISCO.

MEDIO	IMPACTO	TIPO
Abiótico	Degradación de fauna y flora de los cauces por reducción de la cantidad de agua corriente	-
	Generación procesos de erosión y/o agradación	-
	Afectación de la calidad del agua y suelo por disposición inadecuada de residuos sólidos y líquidos.	-
Biótico	Afectación de los recursos naturales ocasionados por terceros	-
	Afectación de la flora y fauna acuática por actividades relacionadas con la operación de la cadena de generación	-
	Afectación de la cobertura vegetal y fauna terrestre, por actividades relacionadas con la operación de la cadena de generación	-
Socioeconómico	Generación de expectativas de la población sobre la generación de empleo en el proyecto.	+

**ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO**

	Desinformación de la comunidad sobre las actividades del PMA que se realizan en el proyecto.	-
	Desconocimiento de la comunidad sobre temas de educación ambiental y del entorno donde viven.	-
	Desconocimiento de los ingresos municipales y Conocimiento del contenido del Artículo 45 ley 99/93 sobre montos de transferencias de energía que permita a la comunidad participar en veedurías ciudadanas	+/-

Fuente: MADS – Expediente: LAM2583. Central Hidroeléctrica San Francisco.

10.2.12 Central Hidroeléctrica De Chivor

Durante la operación del proyecto hidroeléctrico de Chivor, se han presentado los siguientes impactos ambientales:

TABLA N° 24. IMPACTOS AMBIENTALES DE CHIVOR.

MEDIO	IMPACTO	TIPO
Abiótico	Contaminación del agua por vertimiento de aguas residuales domésticas y vertimientos de aguas residuales industriales.	-
	Contaminación del suelo por disposición de residuos sólidos domésticos y por disposición de residuos sólidos industriales.	-
	Regulación y disminución del caudal del río Batá aguas abajo de la Presa.	-
	Inestabilidad y Erosión en sectores del contorno del embalse La Esmeralda.	-
	Cambio en la Calidad del Agua durante el Proceso de Generación de Energía	+
Biótico	Conservación cobertura vegetal en predios de la central	+
	Pérdida de suelo y cobertura vegetal en la microcuenca de la quebrada Los Trabajos	-
Socioeconómico	Modificaciones en la movilidad en el área del embalse	-
	Molestias a la comunidad por la salida de operación de las desviaciones hacia el embalse y por los reboses.	-
	Afectación a predios vecinos en la quebrada Los Trabajos	-
	Cambio en las condiciones de empleo	+
	Generación de espacios de relación con las instituciones regionales y con la comunidad.	+

Fuente: MADS – Expediente: LAM0514. Central Hidroeléctrica De Chivor.

10.2.13 Complejo Hidroeléctrico Guadalupe

Los siguientes son los impactos ambientales que ha generado el Complejo Hidroeléctrico Guadalupe, durante el tiempo que lleva en operación.

**ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO**

TABLA N° 25. IMPACTOS AMBIENTALES GUADALUPE.

MEDIO	IMPACTO	TIPO
Abiótico	Deterioro del contorno del Embalse	+
	Contaminación del agua y suelo por disposición inadecuada de residuos sólidos	-
	Contaminación del agua y suelo por disposición inadecuada de residuos líquidos	-
Biótico	Impacto sobre los recursos naturales ocasionados por terceros	-
	La eliminación y/o extracción en forma ilegal de cobertura vegetal natural	-
	Extracción de la fauna en predios aledaños al embalse.	-
Socioeconómico	Modificación de las propiedades bacteriológicas de los cuerpos de agua por incorporación de vertimientos domésticos e industriales y de residuos orgánicos e inorgánicos.	-
	Generación de empleo	+
	Aumento de los ingresos municipales y conocimiento del contenido del Artículo 45 ley 99/93 sobre montos de transferencias de energía.	+

Fuente: MADS – Expediente: LAM2578. Complejo Hidroeléctrico De Troneras, Guadalupe III y IV.

10.2.14 Hidroeléctrica Del Guavio

Los impactos ambientales que se han presentado en la hidroeléctrica del Guavio son:

TABLA N° 26. IMPACTOS AMBIENTALES GUAUVIO.

MEDIO	IMPACTO	TIPO
Abiótico	Afectación de la capacidad del Embalse y la vida útil del proyecto, por aportes de sedimentos de las cuencas aportantes.	-
	Contaminación de las aguas del embalse por la recepción de aguas residuales (modificación de las propiedades fisicoquímicas).	-
	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 la tierra	+
	Expectativas laborales	+
	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: MADS – Expediente: LAM0529. Hidroeléctrica Del Guavio.

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

10.2.15 Hidroeléctrica Urra

La Hidroeléctrica Urra ha presentado una serie de impactos en el medio ambiente durante el tiempo que lleva en operación, los cuales son:

TABLA N° 27. IMPACTOS AMBIENTALES URRÁ.

MEDIO	IMPACTO	TIPO
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: MADS – Expediente: LAM0112. Hidroeléctrica Urrá.

10.3 Clasificación De Impactos Ambientales

Con la identificación preliminar de los impactos ambientales generados en las centrales hidroeléctricas evaluadas, se conocieron cuáles de estos son los que se presentan con mayor frecuencia en este tipo de proyectos. De acuerdo a esta información, se realizó la clasificación de los mismos teniendo en cuenta al medio el cual se está afectando y el número de veces que se presentó el impacto.

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

Para esta clasificación se asignó a cada impacto un porcentaje de ocurrencia, de acuerdo a la cantidad de centrales hidroeléctricas donde se genero el mismo, siendo el 100% equivalente a los 15 proyectos evaluados.

Se identificaron cinco impactos en el medio abiótico, cuatro en el medio biótico y tres impactos en el medio social, para un total de 12. Los impactos considerados de mayor importancia son la pérdida o disminución de la cobertura vegetal, afectación de la calidad del agua y la generación de empleo que se tomo como un impacto positivo.

A continuación se presenta dicha clasificación mediante una tabla, donde se evidencia los impactos ambientales que se presentan con mayor frecuencia en cada uno de los medios afectados. De la misma forma nos permite identificar la posición que ocupa cada uno de los mismos, así como también su porcentaje de ocurrencia.

TABLA N° 28. CLASIFICACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES.

No.	MEDIO	IMPACTO	TIPO	%
1	Abiótico	Alteración de la calidad del agua	-	100
2	Biótico	Afectación de la cobertura vegetal	-	86.67
3	Abiótico	Susceptibilidad a procesos erosivos	-	80
4	Socioeconómico	Generación de empleo	+	73.33
5	Abiótico	Generación de áreas inestables	-	66.67
6	Abiótico	Afectación del suelo	-	53.33
7	Biótico	Afectación a la fauna silvestre	-	53.33
8	Socioeconómico	Aumento en los ingresos y aportes económicos a Corporaciones y municipios (Transferencias)	+	53.33
9	Biótico	Afectación de fuentes superficiales, cambios en cauces y contaminación de aguas en el embalse.	-	46.67
10	Socioeconómico	Afectación a predios, cultivos e infraestructura	-	40
11	Abiótico	Alteración de la calidad del aire	-	26.67
12	Biótico	Alteración del paisaje	-	26.67

Fuente: El Autor.

De acuerdo a la clasificación jerárquica, el impacto que se presentó en todos los proyectos evaluados es el de la alteración de la calidad del agua, esto era de esperar ya que esta es la principal materia prima para la generación de energía en estas centrales. De la misma forma la pérdida y disminución de la cobertura vegetal es considerado un impacto importante ya que este genera pérdida de diversidad florística y en los servicios ambientales que estos ecosistemas prestan.

En cuanto a los medios afectados, se le dio más importancia al medio abiótico que a los medios biótico y socioeconómico, ya que este involucra entre sus componentes el agua, aire, suelo, entre otros. Por tal motivo, cuando se presento un mismo porcentaje entre dos impactos, la prioridad fue para el que estuviese identificado como impacto ambiental del medio abiótico ocupando una mejor posición de jerarquización, siguiendo en ese orden los impactos en el medio biótico, ya que estos involucran los ecosistemas terrestres y acuáticos en sus componentes. El medio socioeconómico no fue prioritario ya que la mayoría de sus impactos fueron positivos y en cuanto a los impactos negativos, estos no se presentaron en gran número. De acuerdo a esto, los impactos socioeconómicos se consideraron como de último orden en la clasificación. Finalmente, el conocer los impactos ambientales generados en estos proyectos de infraestructura, permite proponer medidas de manejo para mitigar el efecto de los mismos.

11. MEDIDAS DE MANEJO PARA LOS IMPACTOS AMBIENTALES

Las medidas de manejo son primordiales para mitigar y controlar los impactos ambientales que se presentan en la etapa de operación de las centrales hidroeléctricas. Estas medidas generalmente son incluidas en los Planes de Manejo Ambiental establecidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, además esta misma entidad es la encargada de realizar el seguimiento a los mismos, verificando el cumplimiento de las condiciones estipuladas en sus correspondientes resoluciones.

La finalidad de este capítulo es proponer medidas de manejo de los impactos ambientales que se presentan con mayor frecuencia en este tipo de proyectos y que fueron identificados y clasificados preliminarmente.

11.1 Medidas De Manejo De Impactos En El Medio Abiótico.

A continuación se presentan las medidas de manejo de los impactos ambientales que han sido identificados en el medio abiótico para la etapa de operación del proyecto.

TABLA N° 29. MEDIDAS DE MANEJO IMPACTOS AMBIENTALES MEDIO ABIÓTICO.

IMPACTO	MEDIDAS DE MANEJO
Alteración de la calidad del agua	<ul style="list-style-type: none">• Manejo integral de aguas residuales y aguas para usos domesticos.• Manejo Integral de Residuos sólidos.• Operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento de agua residual doméstica en la central.• Monitoreo de la calidad fisicoquímica de las aguas residuales domésticas generadas en la central y seguimiento y control de los sistemas de tratamiento.• Búsqueda permanente de productos biodegradables o menos agresivos para el medio ambiente, para actividades de aseo y limpieza.

**ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO**

Susceptibilidad a procesos erosivos	<ul style="list-style-type: none"> • Puntos de tratamiento de aguas residuales en todos y cada uno de los vertimientos de aguas. • residuales, de acuerdo con el tamaño de la descarga de cada uno. • Dragados en las colas del embalse.
Generación de áreas inestables	<ul style="list-style-type: none"> • Programa de mantenimiento, señalización y mejoramiento de vías internas. • Manejo de áreas de erosión, control de sedimentos y mantenimiento de obras de geotecnia. • Implementación de Programa de control de erosión en los predios. • Control de erosión en la ronda del embalse de por medio de la construcción de cunetas en concreto y gaviones, y limpieza de las mismas como mantenimiento preventivo.
Alteración de la calidad del aire	<ul style="list-style-type: none"> • Seguimiento de inestabilidad del suelo en la zona del embalse y mantenimiento de áreas inestables en las vías internas. • Mantenimiento preventivo y correctivo a los taludes de las vías. • Revegetalización y reforestación de zonas inestables.
Afectación del suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Manejo de olores y gases. • Implementación del Plan de Manejo Integral de Residuos sólidos. • Realizar las actividades de operación y mantenimiento del relleno sanitario. • Capacitaciones. • Monitoreos de las aguas subsuperficiales en el área de influencia del terreno (Piezómetros). • Monitoreo de las aguas de los tanques de Lixiviados.

Fuente: El Autor.

11.2 Medidas De Manejo De Impactos En El Medio Biótico.

A continuación se presentan las medidas de manejo de los impactos ambientales que han sido identificados en el medio biótico para la etapa de operación del proyecto.

**ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO**

TABLA N° 30. MEDIDAS DE MANEJO IMPACTOS AMBIENTALES MEDIO BIÓTICO.

IMPACTO	MEDIDAS DE MANEJO
Afectación de la cobertura vegetal	<ul style="list-style-type: none"> • Control y seguimiento de zona de amortiguación del embalse • Programa de Manejo de Predios, Plantaciones forestales y Zona de Embalses. • Empradización, repoblación forestal, propiciar medios para la regeneración natural y propagación de cobertura vegetal espontanea. • Divulgación de los resultados de los estudios adelantados por las empresas ante autoridades municipales y entidades ambientales, entre otras. • Establecimiento de parcelas para el estudio de la Regeneración Natural.
Afectación de fuentes superficiales, cambios en cauces y contaminación de aguas en el embalse.	<ul style="list-style-type: none"> • Efectuar el monitoreo fisicoquímico, biológico y bacteriológico en distintos puntos dentro del embalse.
Afectación a la fauna silvestre	<ul style="list-style-type: none"> • Manejo de la fauna terrestre local • Divulgación de los resultados de los estudios adelantados por las empresas ante autoridades municipales y entidades ambientales, entre otras.
Alteración del paisaje	<ul style="list-style-type: none"> • Recuperación paisajística en áreas intervenidas.

Fuente: El Autor.

11.3 Medidas De Manejo De Impactos En El Medio Socioeconómico.

A continuación se presentan las medidas de manejo de los impactos ambientales que han sido identificados en el medio socioeconómico para la etapa de operación del proyecto.

TABLA N° 31. MEDIDAS DE MANEJO IMPACTOS AMBIENTALES MEDIO SOCIOECONÓMICO.

IMPACTO	MEDIDAS DE MANEJO
Generación de empleo	<ul style="list-style-type: none"> • Manejo del empleo local. • Contratación y/o vinculación de la población local y de organizaciones. • Informar a las comunidades de la región los resultados del programa de manejo del empleo.

ANÁLISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA MULTIOBJETIVO

Aumento en los ingresos y aportes económicos a Corporaciones y municipios (Transferencias)	<ul style="list-style-type: none">• Programa de información y participación comunitaria.• Programa de apoyo a la gestión comunitaria.• Realizar la divulgación de las transferencias de las empresas a los municipios y Corporaciones Autónomas Regionales. Artículo 45 de la Ley 99 de 1993, para la optimización de los recursos económicos destinándolos al saneamiento básico y el mejoramiento ambiental.
Afectación a predios, cultivos e infraestructura	<ul style="list-style-type: none">• Prevención y atención de daños a la propiedad.• Planes de Gestión Social.• Reunión para Informar a los contratistas los criterios establecidos.• Atención de inquietudes y correspondencia de la comunidad.• Control en la operación del embalse.• Saneamiento de tierras.• Educación ambiental.

Fuente: El Autor.

11.4 Control y Seguimiento

Las Autoridades ambientales encargadas del seguimiento y cumplimiento de lo establecido en los Planes de Manejo Ambiental, deben realizar un mejor control a los proyectos que se estén ejecutando, con el fin de verificar que se estén preservando los recursos naturales y que se reduzca al máximo los impactos en el medio ambiente, para ellos se recomiendan las siguientes medidas:

- Realizar salidas de campo o comisiones con mayor frecuencia, para conocer el estado en el que se encuentra el área intervenida.
- Revisar y aprobar los conceptos técnicos en un menor periodo de tiempo, para agilizar trámites y demás.
- Fusionar las actividades de evaluación y seguimiento, con el fin de verificar el cumplimiento de las medidas de manejo en los PMA.

12. CONCLUSIONES

- Se verificó el grado de aplicabilidad de la metodología Multiobjetivo para proyectos hidroeléctricos, conociendo sus debilidades y fortalezas a través de la matriz DOFA.
- Se estableció que proyectos hidroeléctricos de competencia del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, se consideran de gran magnitud, los cuales fueron objeto del análisis multiobjetivo. Se tuvo en cuenta la identificación de las características generales y demás información contenida en los expedientes y estudios ambientales de cada central hidroeléctrica.
- El análisis ambiental desarrollado con la aplicación de la metodología Multiobjetivo permitió comparar proyectos y priorizarlos de acuerdo a su eficiencia energética, económica, y los efectos sobre el medio ambiente. De acuerdo a lo anterior, el proyecto que obtuvo una menor puntuación fue la central hidroeléctrica de Urra.
- La aplicación de los criterios estipulados en el documento del Banco Mundial, evidenció que fueron establecidos sin tener en cuenta la eficiencia en la generación de energía y el beneficio económico que puede tener un proyecto de gran magnitud. Por el contrario, la metodología Multiobjetivo involucra junto a los criterios ambientales, criterios económicos y sociales, haciendo que los resultados obtenidos se acerquen más a la realidad del proyecto.
- La identificación y clasificación de los impactos ambientales realizada, concluyó que el recurso más afectado es el agua ya que es la materia prima para la generación de energía en este tipo de actividad, seguido por el suelo en razón a que se presenta susceptibilidad a la erosión y afecta la cobertura vegetal.

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

- 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, no fue considerado en el análisis ya que es un criterio que no es general para todos los proyectos.
- El método propuesto de “Promedios Ponderados” al aplicarlo en la metodología Multiobjetivo, permitió la asignación de pesos relativos a cada uno de los criterios, estableciendo una estructura de preferencias que asignó igual importancia a lo ambiental, lo económico y lo social. Además se debe establecer un buen número de criterios para la evaluación de los proyectos para que el modelo mejore su precisión.
- El seguimiento que realiza el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible a las centrales hidroeléctricas de su competencia se basa en una visita anual al área de influencia directa del proyecto. No obstante, se presenta retrasos en la elaboración de conceptos técnicos de seguimiento y por lo tanto, la información con que cuenta el Ministerio no está actualizada.
- Los Planes de Manejo Ambiental cumplen un papel importante para el control de los impactos ambientales, ya que su implementación involucra las medidas de manejo para mitigar o compensar los efectos en el medio ambiente causados por el desarrollo de este tipo de proyectos.
- La elaboración de ésta investigación fue fundamental para establecer las bondades de la metodología Multiobjetivo como herramienta de evaluación para nuevos proyectos en el trámite de la Licencia Ambiental. Además que se obtuvo información importante para posteriores desarrollos de proyectos hidroeléctricos.

13.RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA):
 - Adoptar la metodología Multiobjetivo como herramienta de evaluación de proyectos hidroeléctricos, realizando análisis de sensibilidad, con la variación de los pesos ponderados.
 - Realizar un seguimiento a la metodología Multiobjetivo para verificar su comportamiento histórico, así mismo, establecer criterios estándar para que de esta manera se mejore la precisión del modelo.
 - Verificar la aplicación de la metodología Multiobjetivo en otro tipo de proyectos y de esta forma saber si es una herramienta útil para la evaluación de nuevos proyectos por parte de las autoridades ambientales.
2. Se recomienda al Banco Mundial, en cuanto a su metodología, generar nuevos indicadores de impacto ambiental teniendo en cuenta las características económicas y de eficiencia energética que presente cada proyecto.
3. Se recomienda realizar un proyecto de grado que analice ambientalmente proyectos nuevos, que actualmente se encuentren en la etapa de construcción y que cuenten con Licencia Ambiental. Con ello, identificar los impactos que se generan por la ejecución de las actividades.

BIBLIOGRAFIA

- AES CHIVOR. Plan de Manejo Ambiental Central Hidroeléctrica de Chivor. 2004.
- BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO (BID) y ORGANIZACIÓN LATINOAMERICANA DE ENERGIA (OLADE). Guía Para La Evaluación De Impacto Ambiental De Centrales Hidroeléctricas. 1994.
- BIRD ANTIOQUIA (Banco de Iniciativas Regionales para el Desarrollo de Antioquia). Potencial Hidroeléctrico de Antioquia. Inventario, perspectivas y estrategias. Edición 1, 2011. 108 p. ISBN 978 – 958.
- CENTRAL HIDROELECTRICA DE BETANIA S.A. E.S.P. Plan de Manejo Ambiental de Betania en Operación. 2002.
- CHEC S.A. E.S.P. Plan de Manejo Ambiental General Sistema CHEC S.A. E.S.P. 2006 y Plan de Manejo Ambiental Plantas Mayores CHEC S.A. E.S.P. 2010.
- COMISION MUNDIAL DE REPRESAS. Represas y Desarrollo: Un Nuevo Marco para la Toma de Decisiones – Una Síntesis. 2000.
- CONSEJO DE ESTADO. Sala de Consulta y Servicio Civil. Radicado No. 1514 del 6 de agosto del 2003. Transferencias del Sector Eléctrico.
- CUERVO G, Luis Mauricio. Crisis Y Regulación De Los Servicios Colectivos Domiciliarios En Colombia. Cuadernos de Economía, v. XIV, n. 20, Bogotá D.C. 1994. Págs. 295 – 312.

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

- EMGESA S.A. Plan de Manejo Ambiental del Aprovechamiento Hidroeléctrico del Guavio en Operación. 1999.
- EPM (Empresas Públicas de Medellín E.S.P.). Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Hidroeléctrico Porce III. 2002.
- EPSA S.A. (Empresa de Energía del Pacífico S.A.). Elaboración Plan de Manejo Ambiental en Operación Central Hidroeléctrica Del Alto Anchicayá. 2003.
- EPSA S.A. (Empresa de Energía del Pacífico S.A.). Plan de Manejo Ambiental de la Hidroeléctrica de Salvajina, en Operación. 2008.
- EPSA S.A. (Empresa de Energía del Pacífico S.A.). Plan de Manejo Ambiental en Operación de la Central Hidroeléctrica de Calima. 2005.
- INTEGRAL S.A. Diagnostico Ambiental de Alternativas para el Desarrollo Hidroeléctrico del Río Samaná Norte – Proyecto Porvenir 1, capítulo 11. 2009.
- LEDEC, George y QUINTERO, Juan David. Good Dams and Bad Dams: Environmental Criteria for Site Selection of Hydroelectric Projects. Banco Mundial. 2003.
- LEY 99. “Por la cual se crea el MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental – SINA y se dictan otras disposiciones. 1993.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Concepto Técnico de Seguimiento No. 956, Expediente LAM0005. Proyecto Hidroeléctrico La Miel I. 2007.

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Concepto Técnico de Seguimiento No. 142, Expediente LAM0112. Hidroeléctrica Urrá 1. 2010.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Concepto Técnico de Seguimiento No. 2979, Expediente LAM2574. Central Hidroeléctrica de Jaguas. 2010.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Concepto Técnico de Seguimiento No. 1227, Expediente LAM2575. Central Hidroeléctrica San Carlos. 2010.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Concepto Técnico de Seguimiento No. 1114, Expediente LAM2576. Complejo Hidroeléctrico Guatapé – Playas. 2007.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Concepto Técnico de Seguimiento No. 983, Expediente LAM2577. Central Hidroeléctrica La Tasajera. 2010.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Concepto Técnico de Seguimiento No. 1347, Expediente LAM2578. Complejo Hidroeléctrico de Troneras, Guadalupe III y IV. 2010.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto 2820 del 05 de agosto de 2010 “Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales”.

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

- PROEXPORT COLOMBIA. Presentación Sector Eléctrico. ISSN 2215 – 762X. Disponible en: www.inviertaencolombia.com.co.
- SANCHEZ CRUZ, Hernán. Impactos Sobre Los Ecosistemas De Las Centrales Hidroeléctricas En Colombia. En: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Presentación, 66 diapositivas.
- TRIBUNAL ADMINISTRATIVO DEL VALLE DEL CAUCA. Sentencia No. 093. Santiago de Cali, 28 de mayo del 2004.
- UNIDAD DE PLANEACION MINERO ENERGETICA (UPME). Evaluación Ambiental Estratégica, Plan De Expansión De Referencia Para La Generación y Transmisión Eléctrica (PERGT). Etapa Inicial. 2010.
- UNIDAD DE PLANEACION MINERO ENERGETICA (UPME). Planeamiento Del Sector Eléctrico Colombiano. Octubre, 2010.
- URREA HERNANDEZ Carlos Daniel. Inventario De Las Características Geográficas De Los Embalses Colombianos Y Su Área De Influencia Directa. Bogotá D.C., 2010, 211p. Trabajo de grado (Ingeniería Ambiental y Sanitaria). Universidad de La Salle. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria.

ANEXOS

1. GRANDES CENTRALES HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA

1.1 Aprovechamiento Hidroeléctrico Porce III

Este proyecto está localizado en el departamento de Antioquia, en jurisdicción de los municipios de Amalfi, Guadalupe y Anorí, a 147 km al noreste de la ciudad de Medellín.

La presa y obras asociadas al proyecto hidroeléctrico se ubican en la vereda El Roble del municipio de Anorí, margen izquierda, y en la margen derecha en jurisdicción del municipio de Amalfi, en un cañón muy profundo del río y aproximadamente en la cota 544 msnm. Las obras de la central se localizan en jurisdicción del municipio de Anorí.

El esquema del proyecto definido en la fase de diseño conceptual, está compuesto por una presa un vertedero en canal abierto adosado a la presa, una conducción en el túnel hasta una central subterránea y un túnel de descarga.

El embalse está limitado aguas arriba por la confluencia de los ríos Guadalupe y Porce. El volumen total embalsado a nivel máximo normal asciende a 165 Mm³. Teniendo en cuenta que el volumen muerto es de 44 Mm³, el volumen útil resulta de 121 Mm³. La longitud y área del embalse en su nivel máximo normal es de 12.8 km y 514 ha respectivamente.

TABLA N° 32. CARACTERÍSTICAS PORCE III.

CARACTERÍSTICAS	
Coordenadas	1'241.000 N – 874.000 E
Cota	610 – 318 msnm
Área inundada	514 Ha
Capacidad instalada	660 MW
Volumen del embalse	170 Hm ³

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

Caudal medio	158.2 m ³ /s
Longitud del embalse	12.8 Km
Numero de afluentes	49
Altura de la presa	151 m
Población afectada	850 Hab.

Fuente: MADS – Expediente: LAM1582. Aprovechamiento Hidroeléctrico Porce III.

1.2 Central Hidroeléctrica Calima

La Central Hidroeléctrica Calima está localizada en jurisdicción de los municipios de Calima El Darién y Yotoco, en el departamento del Valle del Cauca, a una distancia aproximada de 100 km por la carretera al Noroeste de Cali en el Valle del Río Calima (45 km en línea recta), a una altitud de 1400 m sobre el nivel del mar. La Central del embalse Calima se encuentra ubicada al pie de la presa.

El proyecto fue construido por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) en el año 1965, como resultado de la necesidad de tener un almacenamiento de agua para cubrir los racionamientos de energía que pudieran presentarse en el departamento del Valle del Cauca durante los años 50 y 60, puesto que la infraestructura eléctrica consistía en pequeñas plantas que no tenían embalses y que eran muy vulnerables por los factores climáticos.

El proyecto consiste en el aprovechamiento hidroeléctrico de las cuencas hidrográficas del río Calima y río Bravo, mediante la operación de la central hidroeléctrica de Calima (132 MW) localizada entre los Municipios de Calima – El Darién y Yotoco, en el departamento del Valle del Cauca.

El embalse es de regulación estacional. Tiene una capacidad de almacenamiento total de 581 millones de metros cúbicos, una capacidad

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

de almacenamiento útil de 437.5 millones de metros cúbicos. Inunda 1368 km², de los municipios de Calima El Darién y Yotoco. Aprovecha las aguas del río Calima y del río Bravo.

TABLA N° 33. CARACTERÍSTICAS CALIMA.

CARACTERÍSTICAS	
Coordenadas	3°53' N - 76°35' O
Cota	1400 - 1355 msnm
Área inundada	1934 Ha
Capacidad instalada	132 MW
Volumen del embalse	581 Hm ³
Caudal medio	12 m ³ /s
Longitud del embalse	13 Km
Numero de afluentes	3
Altura de la presa	115 m
Población afectada	543 Hab.

Fuente: MADS – Expediente: LAM2582. Central Hidroeléctrica Calima.

1.3 Central Hidroeléctrica De Betania

La Hidroeléctrica de Betania está ubicada aproximadamente a 35 km al sur de la ciudad de Neiva, en el departamento del Huila, sobre la cuenca alta del río Magdalena, con un área de drenaje de 13.572 Km², conformando el embalse más grande de Colombia, con un área del orden de las 7.400 ha.

La central Betania cuenta con una capacidad instalada de 540 MW con tres (3) turbinas tipo Francis (cada una genera 180 MW). Para ello, la central Betania cuenta con la siguiente infraestructura: una presa principal con dos galerías de drenaje y sus respectivas galerías de acceso, seis diques, dos túneles de desviación, tres túneles de conducción, un vertedero principal de

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

compuertas y uno auxiliar de borde libre, la casa de máquinas, la subestación eléctrica y las vías internas.

TABLA N° 34. CARACTERÍSTICAS BETANIA.

CARACTERÍSTICAS	
Coordenadas	2°42'00" N - 75°26'00" O
Cota	561 - 544 msnm
Área inundada	7400 Ha
Capacidad instalada	540 MW
Volumen del embalse	1488 Hm ³
Caudal medio	438 m ³ /s
Longitud del embalse	23 Km
Numero de afluentes	3
Altura de la presa	91 m
Población afectada	420 Hab.

Fuente: MADS – Expediente: LAM2142. Central Hidroeléctrica De Betania.

1.4 Central Hidroeléctrica Del Alto Anchicayá

La Central Hidroeléctrica del Alto Anchicayá se encuentra ubicada al Sur – Oeste de Colombia, en la vertiente Pacífico del departamento del Valle del Cauca, jurisdicción del municipio Buenaventura y dentro del Parque Nacional Natural de los Farallones de Cali, a una distancia de 84 kilómetros de Cali por la antigua carretera a Buenaventura.

La Central Hidroeléctrica del Alto Anchicayá tiene como objetivo, proveer de energía eléctrica al sistema de transmisión del Sur Occidente de Colombia y es la de mayor capacidad instalada en el departamento del Valle del Cauca, con una generación de 345 MW, para lo cual se alimenta de los caudales aportados por los Ríos Anchicayá y Verde. Esta Central se localiza en una zona predominantemente cubierta de bosques naturales y altas

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

precipitaciones pluviales anuales y clima cálido, que actualmente forma parte del Parque Nacional Natural los Farallones de Cali.

Esta Central aprovecha las aguas del río Anchicayá la cual tributa su caudal al Océano Pacífico drenando por la vertiente occidental de la cordillera Occidental en el departamento del Valle del Cauca. El proyecto utiliza la esorrentía de una cuenca hidrográfica de 550 km². La precipitación promedio anual en la zona es de 4,800 mm y el caudal promedio es de 59.2 m³/s, incluyendo el aporte de la Quebrada Murrupal. El proyecto utiliza el potencial hidráulico entre las elevaciones 646 y 200 msnm y está situado 22 kilómetros aguas arriba de la Central Hidroeléctrica del Bajo Anchicayá.

TABLA N° 35. CARACTERÍSTICAS ALTO ANCHICAYÁ.

CARACTERISTICAS	
Coordenadas	875.000 N - 1'022.100 E
Cota	650 msnm
Área inundada	140 Ha
Capacidad instalada	365 MW
Volumen del embalse	45 Hm ³
Caudal medio	39.1 m ³ /s
Longitud del embalse	5.4 Km
Numero de afluentes	3
Altura de la presa	140 m
Población afectada	280 Hab.

Fuente: MADS – Expediente: LAM3563. Central Hidroeléctrica Del Alto Anchicayá.

1.5 Central Hidroeléctrica Guatapé

El Complejo Hidroeléctrico de Guatapé - Playas está ubicado en jurisdicción de los municipios de El Peñol, Guatapé, Marinilla, San Vicente, Concepción, Alejandría, San Rafael y San Carlos en el Oriente Antioqueño,

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

aproximadamente entre 90 y 120 km de Medellín respectivamente, sobre las cuencas de los ríos Nare y Guatapé, en la vertiente oriental de la cordillera Central de Colombia, aproximadamente a los 6° de latitud norte y a los 75° de longitud oeste. La primera etapa entró en funcionamiento en el mes de julio de 1971 y la segunda en 1979.

La Central Hidroeléctrica Guatapé se ubica en el oriente de Antioquia, a 90 km de Medellín. La zona de embalse se localiza sobre el cauce del río Nare, con 1003,22 millones de m³. Inunda 6.240 ha de los municipios de El Peñol, Guatapé, Marinilla, San Vicente, Concepción y Alejandría. El proyecto tiene una capacidad instalada de 560 MW, para generar una energía media de 2.700 GWh/año, la Central Guatapé utiliza las aguas del río Nare, con un caudal promedio de 49,4 m³/s, regulado por el embalse y desviado luego a la cuenca del río Guatapé agua arriba de la desembocadura del río Bizcocho.

La presa de Santa Rita y las torres de captación se encuentran en jurisdicción del municipio de Alejandría y los túneles de conducción, la casa de máquinas y los túneles de descarga se encuentran en jurisdicción del municipio de San Rafael.

TABLA N° 36. CARACTERÍSTICAS GUATAPÉ.

CARACTERÍSTICAS	
Coordenadas	6°16'05" N - 75°10'11" O
Cota	1890 msnm
Área inundada	6870 Ha
Capacidad instalada	560 MW
Volumen del embalse	1094.1 Hm ³
Caudal medio	51.51 m ³ /s
Longitud del embalse	13.5 Km
Numero de afluentes	33
Altura de la presa	51.5 m

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

Población afectada	4689 Hab.
--------------------	-----------

Fuente: MADS – Expediente: LAM2576. Complejo Hidroeléctrico Guatapé - Playas.

1.6 Central Hidroeléctrica De Jaguas

La Central hidroeléctrica de Jaguas se localiza en el departamento de Antioquia, sobre las hoyas de los ríos Nare y Guatapé, 117 Km al oriente de Medellín por la vía Medellín – El Peñol – Guatapé – San Rafael, en jurisdicción de los municipios de San Roque, Alejandría, Santo Domingo y San Rafael. Las poblaciones más cercanas son San Rafael a 20 Km y San Roque, a 30 Km al norte, aproximadamente.

La Central Hidroeléctrica Jaguas cuenta con una capacidad instalada de 170 MW, forma parte del sistema de generación hidroeléctrica Nare - Guatapé, o sistema de embalses del oriente antioqueño, el cual está conformado por los embalses El Peñol y Playas de Empresas Públicas de Medellín E.S.P. (EPM), Punchiná, San Lorenzo y Calderas de la empresa ISAGEN. Aprovecha las aguas de la cuenca media y superior del río Nare, hasta la presa del embalse San Lorenzo para luego de su utilización en la central transferir el caudal a la cuenca del río Guatapé. Su operación comercial se inició en 1988.

TABLA N° 37. CARACTERÍSTICAS JAGUAS.

CARACTERÍSTICAS	
Coordenadas	1°198.250 N – 897.708 E
Cota	1247 msnm
Área inundada	1030 Ha
Capacidad instalada	170 MW
Volumen del embalse	185.5 Hm ³
Caudal medio	40 m ³ /s
Longitud del embalse	7.2 Km

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

Numero de afluentes	1
Altura de la presa	63 m
Población afectada	924 Hab.

Fuente: MADS – Expediente: LAM2574. Central Hidroeléctrica De Jaguas.

1.7 Central Hidroeléctrica La Miel I

El proyecto hidroeléctrico Miel I se encuentra localizado en la vertiente oriental de la cordillera central, en el sector nororiental del departamento de Caldas, aproximadamente a 5° 35' de latitud norte y 74° 52' de longitud oeste, cerca de la población de Norcasia y comprende alturas sobre el nivel del mar entre 750 y 190 msnm.

La Central hidroeléctrica aprovecha parte del potencial hídrico del oriente del departamento de Caldas, región conformada por las cuencas de los ríos La Miel, Manso, Samaná Sur y afluentes menores como los ríos Pensilvania, Tenerife, Moro, y Medina. El río La Miel es afluente del río Magdalena y en la desembocadura incluye los ríos Manso y Samaná sur.

Su realización comprendió la construcción de una presa en concreto compactado con rodillo, (CCR), con rebosadero incorporado, situada aguas abajo de la desembocadura del río Moro al río la Miel y complementada por un túnel de desviación del río. Las obras de generación fueron una captación, el conducto de carga, una central subterránea y un túnel de fuga que restituye las aguas al río.

La Central tiene una capacidad instalada de 375 MW en tres unidades de 125 MW cada una, la cual en operación aislada puede generar una energía en promedio de 2460 GWh/año, con los caudales naturales del río.

ANÁLISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

TABLA N° 38. CARACTERÍSTICAS LA MIEL I.

CARACTERÍSTICAS	
Coordenadas	5°35' N - 74°52' O
Cota	750 - 190 msnm
Área inundada	1220 Ha
Capacidad instalada	396 MW
Volumen del embalse	591 Hm ³
Caudal medio	87.2 m ³ /s
Longitud del embalse	4.6 Km
Numero de afluentes	2
Altura de la presa	188 m
Población afectada	761 Hab.

Fuente: MADS – Expediente: LAM0005. Central Hidroeléctrica La Miel I.

1.8 Central Hidroeléctrica La Tasajera

El Complejo Hidroeléctrico de Riogrande comprende dos proyectos construidos sobre el río Grande, denominados Riogrande I y Riogrande II, e incluye las centrales hidroeléctricas de Macorongo, Niquía y La Tasajera; pertenecientes a Empresas Públicas de Medellín E.S.P.

El proyecto Riogrande I genera en la central de Macorongo, la cual se surte del embalse Quebradona, con una capacidad instalada de 19 MW y descarga sobre el río Grande.

El proyecto Riogrande II posee dos centrales que se surten del embalse Riogrande II: la central La Tasajera, tiene una capacidad instalada 303 MW y descarga al río Medellín a la altura del Parque de las Aguas en el municipio de Barbosa; la central Niquía, tiene una capacidad inicial instalada de 21 MW y entrega las aguas turbinadas al sifón Niquía-Manantiales para el suministro de agua potable, el cual es un proyecto que depende de la UEN Generación Aguas.

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

La cuenca del Río Grande está localizada en la zona central del departamento de Antioquia entre los 6° 27'41" de Latitud Norte y 75° 23'53" de Longitud Oeste en jurisdicción de los municipios de Belmira, Don Matías, Entreríos, San Pedro de Los Milagros y Santa Rosa de Osos, con una extensión de 171.700 hectáreas.

TABLA N° 39. CARACTERÍSTICAS LA TASAJERA.

CARACTERISTICAS	
Coordenadas	1'218.250 N – 849.000 E
Cota	2289 msnm
Área inundada	1210 Ha
Capacidad instalada	306 MW
Volumen del embalse	236,35 Hm ³
Caudal medio	33.7 m ³ /s
Longitud del embalse	11.5 Km
Numero de afluentes	15
Altura de la presa	65 m
Población afectada	0 Hab.

Fuente: MADS – Expediente: LAM2577. Central Hidroeléctrica La Tasajera.

1.9 Central Hidroeléctrica Salvajina

La Central inició operaciones en el año 1985, con tres unidades tipo Francis de 95 MW, cuenta con una capacidad instalada de 285 MW y su generación de energía media anual, es de 1.050 GWh.

El tipo de presa es de grava y enrocado con cara de hormigón aguas arriba, tiene una altura de 146 m. y una longitud de cresta de 400 m. La casa de máquinas es de tipo superficial, localizada a pie de presa. El caudal medio es de 137 m³/s y la caída media de 92 m.

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

El embalse tiene una capacidad total de 865.67 Mm³ y una capacidad útil de 796.83 Mm³. Cuenta con rebosadero de tipo canal abierto con compuertas y una capacidad de 3500 m³/s. Nivel máximo: 1155.00 msnm, Nivel mínimo: 1102.00 msnm.

El embalse de Salvajina se encuentra ubicado en territorios de los municipios de Suárez y Morales del departamento del Cauca. El área de influencia se caracteriza por asentamientos de población campesina, afrodescendientes e indígenas que se distribuyen en forma dispersa, presentando cierta tendencia hacia la concentración en lugares cercanos a las zonas de embarcadero, Aunque las viviendas están ubicadas en zona limítrofe a la franja de protección, se han originado procesos invasivos de la misma, como consecuencia de la expansión de los núcleos familiares.

TABLA N° 40. CARACTERÍSTICAS SALVAJINA.

CARACTERÍSTICAS	
Coordenadas	815.000 N - 1'040.000 E
Cota	1100 msnm
Área inundada	2031 Ha
Capacidad instalada	285 MW
Volumen del embalse	906 Hm ³
Caudal medio	140 m ³ /s
Longitud del embalse	30 Km
Numero de afluentes	6
Altura de la presa	132 m
Población afectada	1300 Hab.

Fuente: MADS – Expediente: LAM2581. Central Hidroeléctrica Salvajina.

1.10 Central Hidroeléctrica San Carlos

La Central Hidroeléctrica de San Carlos forma parte del sistema de generación eléctrica del oriente antioqueño, constituido por el Complejo

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

Hidroeléctrico Guatapé-Playas de EPM y la Central Hidroeléctrica Jaguas de ISAGEN. Se ubica a 150 km al Oriente de Medellín, en el municipio de San Carlos en el departamento de Antioquia.

La Central Hidroeléctrica San Carlos está localizada en jurisdicción del municipio de San Carlos. Su área de influencia directa comprende las veredas de: Peñol Grande, La Holanda, Paraguas, Pocitos, La Garrucha, Juanes, Tinajas y los Corregimientos: El Jordán, Puerto Garza y Samaná.

La Central Hidroeléctrica San Carlos se construyó con el objetivo de la generación de energía contando con una capacidad instalada de 1.240 MW, en ocho unidades de 155 MW cada una, y con la infraestructura necesaria para la instalación de dos unidades adicionales. La primera etapa de la central entró en funcionamiento en 1984 y la segunda en 1987. Sus diferentes obras están localizadas en jurisdicción del municipio de San Carlos, cerca al corregimiento El Jordán.

La Central Hidroeléctrica de San Carlos conforma el último elemento del sistema Nare - Guatapé que tiene aportes medios de la cuenca propia de 143 m³/s. Recibe además, los caudales turbinados de la Central Playas, que a su vez ha sido receptora de los caudales turbinados de las Centrales Guatapé y Jaguas.

TABLA N° 41. CARACTERÍSTICAS SAN CARLOS.

CARACTERÍSTICAS	
Coordenadas	74°53'45"O – 6°14'17"N
Cota	775 msnm
Área inundada	350 Ha
Capacidad instalada	1240 MW
Volumen del embalse	72 Hm ³
Caudal medio	143 m ³ /s

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

Longitud del embalse	7.5 Km
Numero de afluentes	2
Altura de la presa	70 m
Población afectada	278 Hab.

Fuente: MADS – Expediente: LAM2575. Central Hidroeléctrica San Carlos.

1.11 Central Hidroeléctrica San Francisco

Es una de las centrales denominadas Plantas Mayores localizadas en el área del municipio de Chinchiná, departamento de Caldas. Abastecida por las aguas provenientes de los cuerpos de agua de la zona.

La Central San Francisco es la última de las centrales en la cadena de las plantas mayores de la CHEC.

El embalse de San Francisco recibe el agua proveniente de la descarga de la central La Esmeralda $22 \text{ m}^3/\text{s}$. El río San Francisco $13,5 \text{ m}^3/\text{s}$, se toma en la bocatoma del mismo nombre y se conduce (con una longitud de 4.460 m.) a través de canales cerrados en unos tramos y túneles en otros hasta el embalse; en su recorrido, cruza el mismo cauce del río mediante un sifón metálico y al final existen dos tanques desarenadores.

El embalse San Francisco tiene una capacidad total de $9'000.000 \text{ m}^3$ y la capacidad útil es de $3'450.000 \text{ m}^3$. Se puede controlar mediante una salida de fondo de $35 \text{ m}^3/\text{s}$, equipada con dos compuertas planas (una auxiliar y otra principal).

TABLA N° 42. CARACTERÍSTICAS SAN FRANCISCO.

CARACTERÍSTICAS	
Coordenadas	$75^{\circ}44'O - 5^{\circ}03'N$
Cota	1000 msnm

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

Área inundada	66 Ha
Capacidad instalada	135 MW
Volumen del embalse	2.1 Hm ³
Caudal medio	3.15 m ³ /s
Longitud del embalse	1.54 Km
Numero de afluentes	0
Altura de la presa	40 m
Población afectada	0 Hab.

Fuente: MADS – Expediente: LAM2583. Central Hidroeléctrica San Francisco.

1.12 Central Hidroeléctrica De Chivor

La central hidroeléctrica de Chivor se encuentra ubicada en el sur oriente del departamento de Boyacá, a 160 Km. de la ciudad de Bogotá por la vía alterna al llano. Utiliza el volumen de agua almacenado en el embalse La Esmeralda que tiene como afluentes principales a los ríos Garagoa y Somondoco. Tiene una capacidad instalada de 1000 megavatios, generados con 8 turbinas tipo Pelton. Aprovecha una caída aproximada de 762 metros y un cañón natural en la cordillera Oriental que posibilitó la construcción de una presa tipo escollera de núcleo de arcilla recubierta en roca, con una altura de 237 metros que permitió crear un embalse con capacidad de almacenamiento de 758 millones de m³ de agua. La cuenca que alimenta al embalse tiene una superficie total de 2.718 Km², de los cuales el 53% corresponde a la hoya hidrográfica del río Garagoa.

La construcción de la central empezó en el año 1970 y la operación de la primera etapa comenzó en 1977. Adicionalmente cuenta con la desviación de tres ríos con el fin de aumentar la capacidad de almacenamiento de aguas.

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

En las cuencas aportantes al embalse se encuentran ubicados total o parcialmente los siguientes 35 municipios: Almeida, Boyacá, Chinavita, Chivor, Chocontá, Cucaita, Ciénega, Garagoa, Guateque, Guayatá, Jenesano, La Capilla, Macanal, Machetá, Manta, Miraflores, Nuevo Colón, Pachavita, Ramiriquí, Samacá, Santa María, Siachoque, Somondoco, Soracá, Sutatenza, Tenza, Tibaná, Tibirita, Tunja, Turmequé, Ubalá, Umbita, Ventaquemada, Villapinzón, Viracachá. Así mismo en dichas cuencas tienen su jurisdicción parcial o total 4 corporaciones que son: Corpochivor, CAR, Corpoguavio y Corpoboyacá.

Dentro del área de influencia directa de la Central, considerada como el espacio geográfico donde se manifiestan los impactos ambientales generados por la operación de la central sobre el medio, es decir donde se encuentra el embalse La Esmeralda y las distintas instalaciones de la hidroeléctrica; no se encuentran áreas de régimen especial tales como áreas del sistema de parques naturales nacionales, reservas regionales, resguardos indígenas o comunidades negras.

TABLA N° 43. CARACTERÍSTICAS CHIVOR.

CARACTERÍSTICAS	
Coordenadas	73°09'O – 4°45'N
Cota	1277 - 1180 msnm
Área inundada	1280 Ha
Capacidad instalada	1000 MW
Volumen del embalse	758 Hm ³
Caudal medio	44.98 m ³ /s
Longitud del embalse	22 Km
Numero de afluentes	7
Altura de la presa	237 m
Población afectada	1750 Hab.

Fuente: MADS – Expediente: LAM0514. Central Hidroeléctrica De Chivor.

1.13 Complejo Hidroeléctrico Guadalupe

El complejo está conformado por la cadena de generación hidráulica de las centrales Troneras, Guadalupe III y IV.

El Complejo Hidroeléctrico de Guadalupe, tiene como objetivo generar 512 MW de energía eléctrica a través de 3 minicentrales (Troneras, Guadalupe III y Guadalupe IV), cumpliendo con las metas de disponibilidad de los hidrogeneradores, optimizando los tiempos y gastos de operación y mantenimiento, dentro de un marco de relaciones armoniosas con la comunidad y el medio ambiente.

El Complejo Hidroeléctrico de Guadalupe, operado por las Empresas Públicas de Medellín (EPM - ESP), se encuentra ubicado a 120 Km al Noreste de Medellín, en jurisdicción de los municipios de Carolina del Príncipe, Gómez Plata y Guadalupe.

El Complejo Hidroeléctrico de Guadalupe está conformado por la cadena de generación hidráulica Troneras, Guadalupe III y Guadalupe IV; las cuales cuentan con una capacidad de generación de 40, 270 y 202 MW, respectivamente para completar los 512 MW de capacidad total del sistema. El Complejo hidroeléctrico Guadalupe inició en 1932 con Guadalupe I con 10 MW de capacidad instalada (en 1944 se amplía a 40 MW) y le sigue Guadalupe II, que entra a operar en 1949 con 10 MW de capacidad; sin embargo, el complejo hidroeléctrico que opera actualmente, entra en operación en el año 1962 con Guadalupe III de 90 MW de capacidad, seguida por la Central Troneras en 1964 y las ampliaciones de Guadalupe III entre 1965 y 1966. Finalmente la Central Guadalupe IV entra en operación en 1985, cuando salieron de funcionamiento las centrales hidroeléctricas Guadalupe I y II, (Las cuales en la actualidad se encuentran en proceso para ser transformadas en museos hidroeléctricos).

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

TABLA N° 44. CARACTERÍSTICAS GUADALUPE.

CARACTERISTICAS	
Coordenadas	1'188.600 N – 890.000 E
Cota	1125 - 700 msnm
Área inundada	469 Ha
Capacidad instalada	512 MW
Volumen del embalse	30.44 Hm ³
Caudal medio	22.36 m ³ /s
Longitud del embalse	6.8 Km
Numero de afluentes	26
Altura de la presa	40 m
Población afectada	0 Hab.

Fuente: MADS – Expediente: LAM2578. Complejo Hidroeléctrico De Troneras,
Guadalupe III y IV.

1.14 Hidroeléctrica Del Guavio

El área del proyecto se localiza en la provincia del Guavio al oriente del departamento de Cundinamarca y comprende 1894 km² entre los municipios de Gachalá, Junín, Ubalá, Gachetá, Guasca y Guatavita. La cuenca que alimenta el embalse corresponde a la parte alta de la hoya hidrográfica del río Guavio, la cual pertenece a la vertiente del río Meta. El aporte hídrico proviene de los ríos Guavio, Farallones y Muchindote, incrementado con los aportes medios de los ríos Batatas y Chivor, los cuales se transvasan al embalse. El área total aprovechada de la cuenca es de 1350 km², incluida el área de transvase.

El proyecto Central Hidroeléctrica del Guavio tuvo como objetivo generar en su primera etapa 1000 MW con proyección para ampliación a 1600 MW de energía eléctrica en una segunda etapa, a través del aprovechamiento de un volumen útil de agua de 756 millones de metros cúbicos, lo que permitirá

ANALISIS AMBIENTAL DE LAS GRANDES CENTRALES
HIDROELECTRICAS DE COLOMBIA APLICANDO METODOLOGIA
MULTIOBJETIVO

obtener un valor de energía firme anual de 5200 GWh. Actualmente la central genera 1150 MW a través de 5 unidades.

La central hidroeléctrica del Guavio, se abastece de quince (15) fuentes superficiales, de las cuales dos de ellas fueron desviadas hacia el embalse "ríos Chivor y Batatas", para obtener un caudal promedio de abastecimiento de 72 m³/s, el cual permite en su operación niveles que oscilan entre las cotas 1630 msnm y 1598 msnm. La central está constituida por las infraestructuras de generación, cuyos componentes son el embalse, caverna de máquinas y transformadores y la infraestructura de transmisión con un único componente denominado patio de conexiones.

La Central Hidroeléctrica del Guavio en la actualidad está siendo operada por la empresa EMGESA S.A. E.S.P. cuyo socio principal es la Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá.

TABLA N° 45. CARACTERÍSTICAS GUAUVIO.

CARACTERÍSTICAS	
Coordenadas	1'060.000 N - 1'010.000 E
Cota	1630 - 1520 msnm
Área inundada	1344 Ha
Capacidad instalada	1200 MW
Volumen del embalse	1047 Hm ³
Caudal medio	72 m ³ /s
Longitud del embalse	14 Km
Numero de afluentes	4
Altura de la presa	250 m
Población afectada	1500 Hab.

Fuente: MADS – Expediente: LAM0529. Hidroeléctrica Del Guavio.

1.15 Hidroeléctrica Urrá

La central hidroeléctrica está ubicada sobre el río Sinú (60 msnm) a aproximadamente 276 km aguas arriba de su desembocadura en el mar Caribe, 30 kilómetros al sur del municipio de Tierralta, departamento de Córdoba. Su área de influencia abarca los municipios de Chima, Lórica, Momil, Purísima, San Bernardo Del Viento, San Pelayo, Valencia y Montería en el departamento de Córdoba y Peque e Ituango en el departamento de Antioquia.

La Central Hidroeléctrica cuenta con 340 MW de potencia instalada y ofrece al Sistema Eléctrico Nacional una energía media de 1.421 GWh/año y una energía firme anual de 1.175 GWh/año.

El río se represó a la altura de la Angostura de URRÁ, a 276 Km de su desembocadura. El área de inundación es de 7.400 hectáreas que corresponde a un volumen total de 1.890 Hm³.

TABLA N° 46. CARACTERÍSTICAS URRÁ.

CARACTERÍSTICAS	
Coordenadas	2°42' N - 75°26' O
Cota	107 msnm
Área inundada	7400 Ha
Capacidad instalada	340 MW
Volumen del embalse	1890 Hm ³
Caudal medio	466 m ³ /s
Longitud del embalse	31.5 Km
Numero de afluentes	1
Altura de la presa	70 m
Población afectada	6200 Hab.

Fuente: MADS – Expediente: LAM0112. Hidroeléctrica Urrá.

**2. INDICADORES AMBIENTALES DEL DOCUMENTO “GOOD DAMS
AND BAD DAMS”**

3. MATRIZ METODOLOGIA MULTIOBJETIVO

CENTRALES HIDROELECTRICAS							
NUMERO	NOMBRE	AREA INUNDADA (Ha)	POTENCIA (MW)	1. SUPERFICIE DEL EMBALSE	Aprox.	VOLUMEN EMBALSE (Hm3)	m3
1	Aprovechamiento Hidroeléctrico Porce III	514	660	0,8	<1	170	170000000
2	Central Hidroeléctrica Calima	1934	132	14,7	15	581	581000000
3	Central Hidroeléctrica de Betania	7400	540	13,7	14	1488,15	1488150000
4	Central Hidroeléctrica Del Alto Anchicayá	140	365	0,4	<1	45	45000000
5	Central Hidroeléctrica Guatape	6870	560	12,3	12	1094,1	1094100000
6	Central Hidroeléctrica Jaguas	1030	170	6,1	6	185,5	185500000
7	Central Hidroeléctrica La Miel I	1220	396	3,1	3	591	591000000
8	Central Hidroeléctrica La Tasajera	1210	306	4,0	4	236,35	236350000
9	Central Hidroeléctrica Salvajina	2031	285	7,1	7	906	906000000
10	Central Hidroeléctrica San Carlos	350	1240	0,3	<1	72	72000000
11	Central Hidroeléctrica San Francisco	66	135	0,5	<1	2,1	2100000
12	Central Hidroeléctrica de Chivor	1280	1000	1,3	1	758	758000000
13	Complejo Hidroeléctrico Guadalupe	469	512	0,9	<1	30,44	30440000
14	Hidroeléctrica del Guavio	1344	1200	1,1	1	1047	1047000000
15	Hidroeléctrica Urrá	7400	340	21,8	22	1890	1890000000

CAUDAL (m3/s)	TIEMPO DE RETENCION (s)	2. TIEMPO DE RETENCION (Días)	AREA COBERTURA VEGETAL (Ha)	BIOMASA (Ton)	3. BIOMASA INUNDADA
158,2	1074589,1	12,4	1273,54	162,10	0,1273
12	48416666,7	560,4	1500	162,10	0,1081
438	3397602,7	39,3	17781	162,10	0,0091
39,1	1150895,1	13,3	347	162,10	0,4671
51,51	21240535,8	245,8	16507	162,10	0,0098
40	4637500,0	53,7	2184	162,10	0,0742
87,2	6777522,9	78,4	6340	162,10	0,0256
33,7	7013353,1	81,2	4313	162,10	0,0376
140	6471428,6	74,9	24020	162,10	0,0067
143	503496,5	5,8	742	162,10	0,2185
3,15	666666,7	7,7	164	162,10	0,9884
44,98	16851934,2	195,0	6652	162,10	0,0244
22,36	1361359,6	15,8	1162	162,10	0,1395
72	14541666,7	168,3	1200	162,10	0,1351
466	4055794,0	46,9	13486	162,10	0,0120

4. LONGITUD RIO EMBALSADO (Km)	5. LONGITUD LECHO SECO (Km)	6. NUMERO DE AFLUENTES	ALTURA PRESA (m)	LONGITUD EMBALSE (Km)	NUMERO DE FROUDE
170	0,3	49	151	12,8	5,0486E-05
581	0,13	3	115	13	1,49428E-06
1488,15	2,1	3	91	23	4,76095E-05
45	1,3	2	140	5,4	2,14491E-05
1094,1	0,5	33	51,5	13,5	7,89843E-06
185,5	0,8	1	63	7,2	1,5772E-05
591	4,5	2	188	4,6	2,31052E-06
236,35	0,4	15	65	11,5	1,6145E-05
906	4	6	132	30	2,24764E-05
72	1,3	2	70	7,5	0,00013619
2,1	2	0	40	1,54	0,00003696
758	3,8	7	237	22	3,52537E-06
30,44	0,3	26	40	6,8	7,99201E-05
1047	0,8	4	250	14	2,46464E-06
1890	1,5	1	70	31,5	7,10095E-05

7. ESTRATIFICACION EMBALSE	8. VIDA UTIL EMBALSE (Años)	9. LONGITUD VIAS DE ACCESO (Km)	POBLACION AFECTADA (Hab)	10. PERSONAS A REASENTAR	Aprox.2
ESTRATIFICACION	50	4,2	850	1,3	1
ESTRATIFICACION	50	20	543	4,1	4
ESTRATIFICACION	50	1,6	420	0,8	1
ESTRATIFICACION	50	24	280	0,8	1
ESTRATIFICACION	50	3,5	4689	8,4	8
ESTRATIFICACION	50	2,8	924	5,4	5
ESTRATIFICACION	50	17,9	761	1,9	2
ESTRATIFICACION	50	2,5	0	0,0	0
ESTRATIFICACION	50	6,8	1300	4,6	5
ESTRATIFICACION	50	3	278	0,2	0
ESTRATIFICACION	80	14	0	0,0	0
ESTRATIFICACION	23	16	1750	1,8	2
ESTRATIFICACION	50	2,3	0	0,0	0
ESTRATIFICACION	50	11,4	1500	1,3	1
ESTRATIFICACION	50	18	6200	18,2	18

CENTRALES HIDROELECTRICAS		Porce III	Calima	Betania	Alto Anchicayá	Guatapé	Jaguas	La Miel I	La Tasajera	Salvajina	San Carlos
CRITERIOS	UNIDADES	MATRIZ DE CALIFICACIONES									
CRITERIOS AMBIENTALES											
Área inundada	ha	514	1934	7400	140	6870	1030	1220	1210	2031	350
longitud del río ubicada dentro del embalse	km	12,8	13	23	5,4	13,5	7,2	4,6	11,5	30	7,5
Volumen del Embalse	hm ³	170	581	1488,15	45	1094,1	185,5	591	236,35	906	72
Area Afectada de Cobertura Vegetal	ha	1273,54	1500	17781	347	16507	2184	6340,4	4613	24020	742
Incremento en los ingresos por transferencias	\$M/año	4.755.304.901	692.790.884	7.034.000.000	5.413.356.396	14.983.351.701	1.603.857.959	5.380.000.000	7.940.316.772	4.037.474.540	13.392.940.718
CRITERIOS ECONÓMICOS											
Capacidad Instalada	MW	660	132	540	365	560	170	396	306	285	1240
Producción energética	GWh-año	954,54	180	2092	1291	3008,57	769,09	2460	1594,44	1050	6422,25
Tasa Interna de retorno (TIR)	%	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Valor Presente Neto (VPN)	USD	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
CRITERIOS SOCIALES											
Población Afectada	# Habitantes	850	543	420	280	4698	924	761	0	1300	278
Cambio en la tenencia de la tierra	# Predios	137	356	60	60	1665	684	401	238	270	85
Generación de empleo	# Empleados	250	95	180	120	792	280	180	391	240	215
TOTALES		N.D. : No Disponible									

San Francisco	Chivor	Guadalupe	Guavio	Urrá	Porce III	Calima	Betania	Alto Anchicayá	Guatapé	Jaguas	La Miel I	La Tasajera
MATRIZ DE CALIFICACIONES N												
66	1280	469	1344	7400	94	75	0	99	7	87	84	84
1,54	22	6,8	14	31,5	62	62	28	87	60	81	90	67
2,1	758	30,44	1047	1890	91	69	21	98	42	90	69	88
164	6652	1162	1200	13486	95	94	26	99	31	92	74	81
1.526.638.521	8.373.870.000	13.689.026.626	19.998.000.000	3.882.157.820	21	0	33	24	74	5	24	38
135	1000	512	1200	340	48	0	37	21	39	3	24	16
240	3626	2748,69	5200	1471	12	0	31	18	45	9	37	23
N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
0	1750	0	1500	6200	86	91	93	95	24	85	88	100
3	804	48	280	158	92	79	97	97	0	59	76	86
80	140	176	150	195	24	2	14	6	100	28	14	44
					N.A. : No Aplica							

Salvajina	San Carlos	San Francisco	Chivor	Guadalupe	Guavio	Urrá		Porce III	Calima	Betania	Alto Anchicayá	
NORMALIZADA							PESOS PONDERADOS					
							PESO GRUPO	PESO TOTAL				
73	96	100	83	95	83	0	0,333	0,067	6,26	4,97	0,00	6,60
5	80	100	32	82	58	0		0,067	4,16	4,12	1,89	5,81
52	96	100	60	98	45	0		0,067	6,07	4,62	1,42	6,52
0	98	100	73	96	96	44		0,067	6,36	6,29	1,74	6,62
17	66	4	40	67	100	17		0,067	1,40	0,00	2,19	1,63
							Subt.	0,333	24,25	20,00	7,24	27,17
14	100	0	78	34	96	19	0,333	0,167	7,94	0,00	6,14	3,50
14	100	1	55	41	80	21		0,167	2,07	0,00	5,10	2,97
N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.		0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.		0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
							Subt.	0,333	10,01	0,00	11,24	6,47
79	96	100	72	100	76	0	0,333	0,111	9,59	10,14	10,36	10,61
84	95	100	52	97	83	91		0,111	10,22	8,75	10,73	10,73
22	19	0	8	13	10	16		0,111	2,65	0,23	1,56	0,62
					SUMA		Subt.	0,333	22,46	19,12	22,65	21,96
					TOTAL (Fracción)		1,00	1,00	0,57	0,39	0,41	0,56

Guatapé	Jaguas	La Miel I	La Tasajera	Salvajina	San Carlos	San Francisco	Chivor	Guadalupe	Guavio	Urrá
RESULTADOS FINALES										
0,48	5,79	5,62	5,63	4,88	6,41	6,67	5,56	6,30	5,50	0,00
4,01	5,41	5,99	4,45	0,33	5,34	6,67	2,11	5,50	3,89	0,00
2,81	6,02	4,59	5,84	3,47	6,42	6,67	4,00	6,57	2,98	0,00
2,10	6,10	4,94	5,42	0,00	6,51	6,67	4,85	6,39	6,38	2,94
4,93	0,31	1,62	2,50	1,16	4,39	0,29	2,65	4,49	6,67	1,10
14,33	23,63	22,75	23,84	9,84	29,06	26,95	19,18	29,24	25,42	4,05
6,44	0,57	3,97	2,62	2,30	16,67	0,05	13,06	5,72	16,06	3,13
7,55	1,57	6,09	3,78	2,32	16,67	0,16	9,20	6,86	13,40	3,45
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13,99	2,14	10,06	6,39	4,62	33,33	0,21	22,26	12,57	29,47	6,58
2,69	9,46	9,75	11,11	8,78	10,61	11,11	7,97	11,11	8,42	0,00
0,00	6,56	8,45	9,54	9,33	10,56	11,11	5,76	10,81	9,26	10,07
11,11	3,12	1,56	4,85	2,50	2,11	0,00	0,94	1,50	1,09	1,79
13,80	19,13	19,76	25,50	20,60	23,28	22,22	14,67	23,42	18,77	11,87
0,42	0,45	0,53	0,56	0,35	0,86	0,49	0,56	0,65	0,74	0,22