

**VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES
GENERADOS POR LA SEDIMENTACIÓN AGUAS ABAJO DEL EMBALSE
DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA ITUANGO, UBICADA EN EL
DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA.**

AUTORES

**AIXA CATHERINE MARTÍNEZ LEÓN
JENNY KATERINE SUAREZ RODRÍGUEZ**

TRABAJO DE GRADO

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
SEDE CENTRAL -BOGOTÁ D.C.**

2019

**VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES
GENERADOS POR LA SEDIMENTACIÓN AGUAS ABAJO DEL EMBALSE
DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA ITUANGO, UBICADA EN EL
MUNICIPIO DE ANTIOQUIA.**

**AIXA CATHERINE MARTÍNEZ LEÓN
JENNY KATERINE SUAREZ RODRÍGUEZ**

TRABAJO DE GRADO

**DIRECTOR
JUAN JOSÉ VARGAS OSORIO
INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO
MSc ECONOMÍA DEL MEDIO AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS
NATURALES**

**CODIRECTOR
MIGUEL ÁNGEL CAÑÓN RAMOS
INGENIERO AMBIENTAL
MSc(C) EN HIDROSISTEMAS**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
SEDE CENTRAL -BOGOTÁ D.C.**

2019

Nota de Aceptación

Firma del jurado

Firma del jurado

AGRADECIMIENTOS

Dedicamos este trabajo de grado a nuestras familias quienes estuvieron incondicionalmente para nosotras, brindándonos su apoyo y ayudándonos en nuestra formación como profesionales. A Nancy León Daza; Heliberto Martínez; Fanny Rodríguez; Gabriel Suarez Ovalle; por ser nuestra guía y fuerza en este proceso.

Al Ingeniero ambiental y sanitario Juan José Vargas Osorio director de la presente tesis y a nuestro codirector el Ingeniero Miguel Ángel Cañón, gracias por su colaboración y gran ayuda en cada momento de consulta y soporte, a todos nuestros amigos que nos han acompañado en las distintas etapas de nuestra vida y nos han motivado constantemente, por último, a todos los docentes que estuvieron presentes en nuestra formación académica y nos ayudaron a crecer como persona, infinitas gracias.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	0
2. OBJETIVOS	4
2.1. OBJETIVO GENERAL	4
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3. MARCO TEÓRICO.....	5
3.1. PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS.....	5
3.2. IMPACTOS AMBIENTALES DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS... 5	
3.2.1. AFECTACIÓN AL RECURSO HÍDRICO	7
3.2.2. AFECTACION A LA COBERTURA VEGETAL.....	7
3.2.3. AFECTACION AL MEDIO SOCIOECONOMICO	8
3.3. SIMULACIÓN DE SEDIMENTOS	9
3.3.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS SEDIMENTOS	9
3.3.2. PROBLEMAS DE SEDIMENTACIÓN	9
3.3.3. MODELACIÓN SOFTWARE IBER	10
3.4. VALORACIÓN ECONÓMICA AMBIENTAL	10
3.4.1. METODOLOGIA DE VALORACION ECONOMICA AMBIENTAL.....	11
3.4.1.1. MÉTODO CAMBIO DE PRODUCTIVIDAD	11
3.4.1.2. APLICACION DEL METODO	11
3.4.1.3. VALORACIÓN MONETARIA	12
3.5. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	12
4. METODOLOGÍA	14
4.1. FASE I: CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA	14
4.1.1. HIDROLOGÍA EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA ITUANGO	14
4.1.2. CALIDAD DEL AGUA EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA ITUANGO	17
4.1.3. CONDICIONES FÍSICAS EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA ITUANGO	18
4.1.4. ESTIMACIÓN DE VARIABLES Y PARÁMETROS DE CALIBRACIÓN ...	19
4.1.5. ESTABLECIMIENTO DE ESCENARIOS.....	19
4.1.6. EJECUCIÓN DEL SOFTWARE IBER	21
4.2. FASE II: EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES	26
4.2.1. IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS	26

4.2.2.	CUANTIFICACIÓN DE IMPACTOS	26
4.3.	FASE III: VALORACIÓN ECONÓMICA DE IMPACTOS	27
4.3.1.	ESTUDIOS PREVIOS	27
4.3.2.	SELECCIÓN DE LAS METODOLOGÍAS.....	27
4.3.3.	IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE VALORACIÓN	27
5.	DESARROLLO CENTRAL.....	28
5.1.	FASE I: CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA	28
5.1.2.	MODELOS HIDRODINÁMICOS.....	28
5.1.3.	MODELOS DE CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN	33
5.2.	FASE II: EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES	38
5.2.1.	IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS	38
5.2.2.	MEDIO FÍSICO	38
5.2.3.	MEDIO BIÓTICO	39
5.2.4.	MEDIO SOCIAL	41
5.3.	CUANTIFICACIÓN DE IMPACTOS.....	42
5.4.	FASE III: VALORACIÓN ECONÓMICA DE IMPACTOS	43
5.4.1.	SELECCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE VALORACIÓN.....	43
5.4.2.	MODIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO	43
5.4.3.	CAMBIO DE LA ABUNDANCIA DE LAS ESPECIES QUE CONFORMAN LA COMUNIDAD DE PECES.	48
5.4.4.	PÉRDIDA Y DISMINUCIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL	50
5.4.5.	CAMBIO EN LAS ACTIVIDADES PESQUERAS.....	58
6.	ANÁLISIS RESULTADOS	64
7.	IMPACTO SOCIAL.....	67
8.	CONCLUSIONES.....	68
9.	RECOMENDACIONES.....	70
10.	BIBLIOGRAFÍA	71
A.	ANEXO hojas de cálculo, valoración económica ambiental.	76

CONTENIDO DE FIGURAS

Ilustración 1 Mapa delimitación de la Cuenca Cauca.....	14
Ilustración 2 Delimitación área de influencia.....	15
Ilustración 3 Curvas de nivel y altimetría.....	16
Ilustración 4 Formato TIN.....	16
Ilustración 5 Formato Raster	17
Ilustración 6 Ascii con límites predeterminados	22
Ilustración 7 Superficies Ortofoto	23
Ilustración 8 Uso de suelo	24
Ilustración 9 Tamaño malla.....	25
Ilustración 10 Modelo Hidrodinámico Condición Mínima	29
Ilustración 11 Modelo Hidrodinámico Condición Estándar	30
Ilustración 12 Modelo Hidrodinámico Condición Máxima	31
Ilustración 13 Concentración sedimentos en suspensión Caudal Mínimo	34
Ilustración 14 Concentración Sedimentos en suspensión Caudal Estándar	35
Ilustración 15 Concentración Sedimentos en suspensión Caudal Máximo	36

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1 Valor caudales Mínimo, Máximo y Estándar	23
Tabla 2 Valor uso del suelo	24
Tabla 3 Valor del tamaño de mallado	25
Tabla 4 Resultados de modelos de inundación.....	32
Tabla 5 Resultados de modelos de concentración de sedimentos.....	37
Tabla 6 Producción máxima de sedimentos alto y medio Cauca.....	37
Tabla 7 Impactos a cuantificar	42
Tabla 8 Producción por departamento de maíz blanco	44
Tabla 9 Niveles de extracción de nutrientes por tonelada de grano de maíz producida en Antioquia.....	45
Tabla 10 Principales cultivos por área sembrada	45
Tabla 11 Valor kilo de maíz	46
Tabla 12 Salario mensual agricultor.....	46
Tabla 13 Valor del impacto de modificación de la calidad del suelo	48
Tabla 14 Número de individuos, abundancia relativa y biomasa de las especies ícticas capturadas en la área de la cola del embalse.....	49
Tabla 15 Valor comercial de especies.....	49
Tabla 16 Valor del impacto en el cambio de la abundancia de peces.....	49
Tabla 17 Identificación de servicios ecosistémicos.....	50
Tabla 18 Valor servicio ecosistémico de retención hídrica escenario máximo ..	51
Tabla 19 Valor servicio ecosistémico de retención hídrica escenario estándar ..	51
Tabla 20 Valor servicio ecosistémico de retención hídrica escenario mínimo ...	52
Tabla 21 Valor total de la madera para un escenario mínimo.....	53
Tabla 22 Valor total de la madera para un escenario estándar	53
Tabla 23 Valor total de la madera para un escenario máximo	53
Tabla 24 Cantidad de reservas de carbono y valor económico para el área de estudio, por municipio	54
Tabla 25 Valor servicio ecosistémico captura de carbono en los tres escenarios	55

Tabla 26	Contenido de nutrientes en suelos de bosques tropicales húmedos...	56
Tabla 27	Valor comercial de nutrientes.....	56
Tabla 28	Valor de nutrientes para escenario mínimo.....	57
Tabla 29	Valor de nutrientes para escenario estándar.....	58
Tabla 30	Valor de nutrientes para escenario máximo	58
Tabla 31	Producción piscícola por departamento (toneladas).....	59
Tabla 32	Valor kilogramo de pescado	60
Tabla 33	Producción pesquera para todas las familias en tramo del embalse ...	60
Tabla 34	Ajuste de valores de pesca por el IPC	61
Tabla 35	Salario mensual comerciante	61
Tabla 36	Valor del impacto en el cambio de las actividades pesqueras.....	62
Tabla 37	Valoración económica escenario mínimo, valor total impactos.	63
Tabla 38	Valoración económica escenario estándar, valor total impactos	63
Tabla 39	Valoración económica escenario máximo, valor total impactos.....	63

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIMBOLOS

ABREVIATURAS

Abreviatura	Término
B_{SEC}	Bosque seco
B_{TH}	Bosque tropical húmedo
B_{TS}	Bosque tropical seco
CHI	Central hidroeléctrica Ituango
COP	Pesos Colombianos
EIA	Estudio impacto Ambiental
V_C	Volumen comercial
V_T	Volumen total
V_L	Volumen leña

SÍMBOLOS CON LETRAS LATINAS

Símbolo	Término
CO_{2e}	Carbono equivalente
g	Gramo
GWh	Gigavatio-hora
k	Kilo
Km	Kilometro
L o l	Litro
m	Metro
mm	Milímetro
MW	Megavatio
m^2	Metro cuadrado
m^3/s	Metro cubico por segundo
s	Segundo
Ton	Tonelada

RESUMEN

La valoración económica de bienes y servicios ecosistémicos es un nuevo campo de estudio para el ámbito de los recursos naturales, en el presente documento se realizó la valoración económica de los impactos generados por la sedimentación en la operación de la Central Hidroeléctrica Ituango (CHI), la cual está situada en el noroccidente del departamento de Antioquia y se localiza sobre el río Cauca. Esto se realizó en tres fases, la primera fase se desarrolló por medio del software IBER donde se efectuó una simulación de sedimentos en tres diferentes escenarios con un caudal máximo, mínimo y estándar, en la segunda fase se desarrolló la identificación de los impactos ambientales generados por la sedimentación y por último se realizó una valoración económica empleando la metodología de cambio de productividad en los impactos ya identificados, donde se pudo evidenciar que el escenario máximo presenta mayor concentración de sedimentos a lo largo de la zona de influencia, lo que trae consigo una mayores impactos ambientales por consiguiente un monto más alto en su valoración económica dando un costo total para cada impacto en este escenario de: modificación de la calidad del suelo con un valor de \$368.846.624 COP, la pérdida y disminución de cobertura vegetal teniendo en cuenta los servicios ecosistémicos dentro de los cuales se encuentra la retención hídrica con un valor de \$7.323.263.805 COP, la madera con un valor de \$1.090.808.100 COP, captura de carbono con un valor de \$68.449.508 COP y ciclaje de nutrientes con un valor de \$16.769.699 COP, para los impactos siguientes como el cambio en la abundancia de peces se evidencio un valor de \$277.891.735 COP y el cambio en las actividades pesqueras con un valor de \$603.487.898 COP; por lo tanto, la valoración económica de los impactos ambientales en el escenario máximo dan un valor total de \$9.749.517.368 COP.

Palabras clave: Valoración Económica, Simulación, Sedimentos, Central Hidroeléctrica Ituango.

ABSTRACT

The economic valuation of goods and ecosystem services is a new field of study for the field of natural resources, in this document the economic valuation of the impacts generated by the sedimentation in the operation of the Ituango Hydroelectric Power Plant (CHI) was carried out, which is located in the northwest of the department of Antioquia and is located on the Cauca River. This was carried out in three phases, the first phase was developed by IBER software where a sediment simulation was carried out in three different scenarios with a maximum, minimum and standard flow, in the second phase the identification of the generated environmental impacts was developed by sedimentation and finally an economic valuation was carried out using the methodology of productivity change in the impacts already identified, where it was possible to demonstrate that the maximum scenario presents a higher sediment concentration throughout the area of influence, which brings with it a greater environmental impact consequently a higher amount in its economic valuation giving a total cost for each impact in this scenario of: modification of the quality of the soil with a value of COP \$ 368,846,624, the loss and decrease of vegetal coverage taking into account account for ecosystem services within which water retention is with a value of COP \$ 7,323,263,805, wood with a value of COP \$ 1,090,808,100, carbon capture with a value of COP \$ 68,449,508 and nutrient cycling with a value of COP \$ 16,769,699, for the following impacts as the change in fish abundance evidenced a value of COP \$ 277,891,735 and the change in fishing activities with a value of COP \$ 603,487,898; therefore, the economic valuation of the environmental impacts in the maximum scenario gives a total value of COP \$ 9,749,517,368.

Keywords: Economic Valuation, Simulation, Sediments, Ituango Hydroelectric Plant.

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto Central Hidroeléctrico Pescadero-Ituango, se encuentra ubicado sobre el río Cauca, en el noroccidente del Departamento de Antioquia, a 170 Km por carretera desde Medellín, en la desembocadura del río Ituango en el Cauca al norte. El lugar de la presa y las obras principales se concentran unos 7 km aguas abajo del denominado Puente de Pescadero, en jurisdicción de los municipios de Ituango, Briceño y Toledo [1].

La entrada de energía eléctrica en el país ha permitido el crecimiento económico al transcurrir los años, al tener gran evolución tanto industrial como tecnológica, aunque estos proyectos hidroeléctricos generan beneficios a largo plazo como lo es el empleo y el acceso a la energía, originan también numerosos impactos socio ambientales y socio económicos. Sin embargo, la magnitud de la afectación que estas centrales producen, pone en duda que todos los beneficios reales compensen las afectaciones negativas [2].

Estos impactos se originan primordialmente de la actividad humana y se manifiesta en las alteraciones que produce en el ambiente, considerando tanto las afectaciones en el medio natural como humano [3].

El desarrollo de centrales hidroeléctricas genera una amplia gama de impactos ambientales, uno de ellos debido al transporte de sedimentos en suspensión que afecta significativamente el sistema acuático e incluso podrían tener efectos de mayor alcance que incluyen la transformación de los ecosistemas costeros de plataforma y la disminución de las poblaciones de peces. La colmatación o acumulación en conductos, erosión acelerada y la socavación son impactos generados aguas abajo del embalse que producen también impactos socio económicos, como el desplazamiento de la población, afectación a otras actividades económicas como el transporte de mercancías, la pesca y la agricultura [2].

La finalidad de este proyecto es obtener una valoración económica de los impactos generados aguas abajo del embalse de la central hidroeléctrica Ituango, empleando herramientas como lo son la simulación bidimensional de cauces con el fin de observar la dinámica de la concentración de los sedimentos que se realizará a través del software IBER, con dicha valoración de los impactos se pretende dar un valor económico a los diferentes servicios ecosistémicos afectados por la actividad de la central hidroeléctrica.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar la valoración económica de los impactos generados por la sedimentación aguas abajo del embalse de la Central Hidroeléctrica Ituango ubicada en el departamento de Antioquia

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar una simulación de la concentración de sedimentos en el embalse de la CHI por medio del software IBER.

Evaluar los impactos ambientales resultantes de la simulación de la concentración de sedimentos.

Realizar una valoración económica de los impactos ambientales identificados mediante los distintos escenarios de simulación.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS

La energía hidroeléctrica viene de aprovechar la energía cinética del agua en movimiento, la lluvia en su caso proveniente de montañas, forma arroyos y ríos que convergen en el océano, así entonces, la energía que producen las corrientes de agua puede ser considerada una de las formas más eficientes de generar energía, por lo tanto, los sistemas hidroeléctricos se definen dependiendo tanto de su tamaño como en la forma en la que emplean la energía del agua, es decir, que las grandes hidroeléctricas difieren de pequeñas hidroeléctricas porque en las pequeñas centrales producen cantidades mínimas de electricidad [4].

Una central hidroeléctrica consta básicamente de tres partes, una central eléctrica en la que se genera la electricidad; una presa la cual tiene como función abrirse y cerrarse para controlar el paso del agua; y un embalse en el que se puede almacenar y depositar el agua. El agua que se encuentra detrás de la presa fluye a través de una entrada y genera presión contra las palas de una turbina, lo que hace que éstas produzcan movimiento. La turbina hace girar un generador el cual está diseñado específicamente para producir la electricidad. La cantidad de electricidad que se puede generar depende de hasta dónde llega el agua y de la cantidad de ésta que se mueve a través del sistema [5].

Desde el punto de vista de su capacidad de producir y generar electricidad se tienen en cuenta dos características principales las cuales se basan en la potencia la cual se encuentra en función del desnivel entre el nivel medio del embalse y el nivel medio aguas debajo de la hidroeléctrica, y la energía que se garantiza en un periodo determinado [4].

Las hidroeléctricas han sido empleadas para la generación de energía y sostenibilidad económica a algunos los países que han requerido o acudido a ellas. De forma tal, que dichos proyectos hidroeléctricos traen consigo una cantidad de variables que son empleadas para sacar mejor provecho de este recurso natural, como lo es el agua [6].

3.2. IMPACTOS AMBIENTALES DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Los proyectos hidroeléctricos causan múltiples peligros e impactos como lo estipula la Comisión Mundial de Represas (CMR) la cual refuta que en la actualidad se recalcan efectos negativos para la población que en encuentra cerca del sector de influencia debido al desplazamiento, endeudamiento además

de la forma en la que son distribuidos los beneficios, estas centrales hidroeléctricas son causa probable de impactos ambientales como contaminantes a la atmósfera, contaminación acústica, movimiento del suelo, desequilibrio del ecosistema [7].

Las centrales hidroeléctricas, si bien son fuentes que contribuyen significativamente con la energía renovable, no obstante, no son completamente favorables para el ambiente. A raíz de la construcción de las centrales se fragmenta desequilibradamente el ambiente, es decir, se perturba el ciclo que trae habitualmente, una demostración de esto se debe a la tala de árboles que se consume para una mayor facilidad para transportar los materiales, el paso de vehículos, la construcción de presas o pantanos artificiales destruye la vida de la fauna acuática, debido a que impide el paso de los peces lo cual comienza a tener problemas en su ciclo reproductivo, acrecentando así la reducción de la población acuática, todo esto además de que muchas veces deben trasladarse pueblos enteros para la realización de estos proyectos [8].

Así entonces, desde el punto de vista ambiental, los proyectos hidroeléctricos así como tienen efectos positivos, contribuyen también en los efectos negativos, otra de las causas por la que se dice que las centrales no son totalmente inocuas, es debido a que las represas que se deben construir revelan impactos mayores, alterando arduamente el ecosistema fluvial, generando la destrucción parcial y a veces total de sus hábitats, modificando el caudal del río y cambiando las condiciones del recurso hídrico como lo es su temperatura, su grado de oxigenación, entre otras [7][8].

Así mismo, estos producen impactos en el paisaje y en la población, ya que con frecuencia su construcción y funcionamiento requiere reubicar y/o trasladar varios de los pueblos que se encuentran en el sector, igualmente enterrar tierras de cultivo, bosques y otras zonas de cobertura vegetal [8].

Los efectos indirectos de la represa contienen los que se relacionan con la construcción, el mantenimiento, el funcionamiento de la represa y el desarrollo de las actividades agrícolas, industriales que posibilitan la represa. Igualmente, a parte de los efectos directos e indirectos en cuanto a la construcción de la represa sobre el medio ambiente, se deberán tener en consideración los efectos del medio ambiente que repercuten sobre la represa. Los factores ambientales más significativos y que por ende afectan el funcionamiento y la vida útil de la represa son aquellos que se tiene en cuenta como el uso de la tierra, el agua y algunos recursos en los sectores de captación aguas arriba del embalse que posibilitan una mayor acumulación de lodos, sedimentos, y cambios en la calidad y cantidad del agua del embalse y del río [8].

Por lo cual las aproximaciones sobre los impactos, tanto positivos como negativos de las centrales, son un paso trascendental para contrastar el verdadero éxito de estos proyectos, teniendo en cuenta que no solo es estancar o retener una gran cantidad de agua con un muro de altura determinada, sino

también comparar, interpretar y mitigar los grandes cambios que se producen en el contexto del área seleccionada [7].

3.2.1. AFECTACIÓN AL RECURSO HÍDRICO

Considerando que los proyectos de centrales hidroeléctricas se establecen en la intervención directa a los cuerpos de agua, los impactos se ven manifestados de la misma forma. Así entonces, los impactos más destacados en cuanto el componente del recurso hídrico pertenecen a los cambios morfológicos del cauce, su variación del caudal y la degradación de los lechos de los ríos, así mismo, se ve una afectación y variación de la calidad y cantidad de agua [9].

Las represas son la razón más importante del por qué el 33% de las especies de peces de agua dulce del mundo se han extinguido y se encuentran en peligro de extinción o son altamente vulneradas, efectuando así que el porcentaje se extienda en países cuyos ríos han sido significativamente represados. Un revelador, pero desconocido porcentaje de anfibios y especies de plantas y aves que su hábitat y ellos mismos dependen del recurso de agua dulce también están extintos o en peligro de extinción, debido a que la descarga de agua fría de la presa acaba con algunas de las especies de peces y toda la biodiversidad que depende de las inundaciones naturales. Traslada y termina con los animales de la fauna acuática, elimina humedales, fuentes subterráneas de agua y la fertilidad de las tierras por los sedimentos naturales que no logran llegar [10].

Se habla también de la contaminación del agua propiamente, siendo esta la más complicada, debido a que la variación del curso de los ríos perturba el desarrollo de la vida normal de los peces, pues las diversificaciones en la temperatura causan efectos contradictorios sobre la flora y fauna, es decir, como la propia muerte de animales o la migración de ellos a otros lugares, causando especialmente infecciones de bacterias y enfermedades que son producto de la evaporación del agua, siendo estas al final las destructoras de la mayoría del entorno medioambiental de los ríos [11].

3.2.2. AFECTACION A LA COBERTURA VEGETAL

Las causas más relevantes presentadas en este componente y que son bastante comunes, hacen referencia a la pérdida de cobertura vegetal por la remoción de grandes áreas de bosques, la afectación a la fauna terrestre a raíz de la intervención en sus hábitats y a la descomposición o desintegración de ecosistemas, la alteración de las comunidades hidrobiológicas, en términos de pérdida de variedad y la alteración en las dinámicas reproductivas de algunas comunidades de peces [8].

Con la apertura de pasajes para el paso de maquinarias y otro tipo de infraestructuras este exige derribar más bosques y en este orden de ideas les abre paso a los traficantes de madera, sin embargo, con el fin de mitigar sus impactos no se busca la reforestación en otros lugares que sean propicios para ello, esto trae consigo que aquellas comunidades desplazadas devasten más bosques para su reasentamiento acabando por completo con la biodiversidad [9].

Varias de las represas provocan que muchos de los animales queden acorralados en pequeñas islas perdiendo su forma de sobrevivir, muriendo de hambre. No obstante, el almacenamiento compone también especies exóticas de plantas, peces, insectos y animales que se rivalicen con los nativos. Por lo tanto, los embalses bloquean por kilómetros el paso de distintos animales terrestres aguas arriba y aguas abajo del río [9].

3.2.3. AFECTACION AL MEDIO SOCIOECONOMICO

El componente social es uno de los más importantes, en cuanto a que en él recae la mayor presión desde la etapa inicial de desarrollo y pre-construcción. Esto se convierte en impactos sobre las actividades productivas como la pesca, la actividad agropecuaria y la minera, el cambio significativo en las dinámicas poblacionales, presión migratoria, desplazamiento y reasentamiento, disminución de áreas de predios, incremento de enfermedades ocasionadas por el desgaste en la calidad del agua, alteración en cuanto a los espacios de interacción de la comunidad con el entorno social y ambiental, cambio de usos del suelo que se refleja en la afectación a la economía familiar, entre otros [8].

En este orden de ideas el impacto social se puede ver expresado en diferentes formas como lo es el cambio cultural y social, el incremento demográfico y la proyección y predominio de la comunidad antes, durante y después del proyecto. Lo que trae consigo que la comunidad sea escuchada y se ponga en alto la voz de aquellos que lideran los proyectos hidroeléctricos para que se efectúen las garantías y se vea evidenciado el respeto por los derechos de cada una de las personas [6].

En cuanto a los impactos económicos se tiene en cuenta la variación de la economía en cada una de las regiones, la producción agrícola, la actividad productiva de la pesca, la venta y comercialización de esta misma, la entrada de nuevas industrias y empresas al mercado, de igual forma la pérdida de empleos y diferentes características que afectan la región del proyecto, entonces, la economía de aquellas regiones en donde se desarrolla la construcción de las

centrales hidroeléctricas se pone en duda a raíz de los cambios demográficos y la capacidad adquisitiva de cada una de las personas de la población [14].

3.3. SIMULACIÓN DE SEDIMENTOS

3.3.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS SEDIMENTOS

Los sedimentos se clasifican en partículas cohesivas y no cohesivas, estas partículas cohesivas se hallan adheridas unas con otras, lo cual posee una fuerza de resistencia adicional para el transporte, tal fuerza es mayor que su propio peso debido a que se consideran partículas de grano fino, mientras que en los no cohesivos la única forma de ser arrastrados debido a que carecen de esta fuerza, es generando resistencia al contribuir con su propio peso. El movimiento de los sedimentos se da en el cauce natural como sedimentos en suspensión o como arrastre de fondo para el material más grueso, el cual se desliza a lo largo del canal, en cualquier río siempre se presentan los dos tipos de transportes de sedimentos todo depende de las condiciones de la cuenca [12].

3.3.2. PROBLEMAS DE SEDIMENTACIÓN

Los embalses tienen una gran capacidad de retención de sedimentos lo cual conlleva a cambios substanciales en el régimen hidrológico y sedimentológico de los mismos, de igual forma conduce a la erosión aguas abajo de las estructuras y socavación del lecho del río, generando así grandes problemas ambientales y económicos. Estos problemas se dan primordialmente por la acción de la presa como obstáculo total al flujo, ya que, para sobrepasarla, debe acumular energía potencial disminuyendo su energía cinética, es decir, aumentar su profundidad reduciendo su velocidad. Estos procesos de sedimentación que se generan en dichas obras además de afectar la obra misma, debido a que reduce su capacidad y por lo tanto su vida útil, afecta también las condiciones hidráulicas y sedimentológicas del cauce aguas abajo de la estructura ya que la presa corta de forma total o parcial el abastecimiento sedimentológico del tramo aguas abajo, alterando así el régimen hidrológico e induciendo a cambios en la geomorfología, aguas abajo de la obra [13].

Con lo anterior, se dice que aguas abajo de la presa se cuenta como un problema sedimentológico la degradación del lecho por la reducción local o suspensión del abastecimiento de sedimentos, y a la presencia de flujos con alta capacidad de transporte de estos mismos [13].

3.3.3. MODELACIÓN SOFTWARE IBER

Es un modelo que consta de un módulo hidrodinámico cuyo propósito permite la simulación bidimensional de cauces posibilitando la definición de zonas inundables, la delimitación de vías de intenso desagüe, un módulo de turbulencia y un módulo de transporte sólido por arrastre de fondo y en suspensión para la cuantificación de procesos de erosión y sedimentación [12].

Este modelo incluye además del módulo de turbulencia y el módulo hidrodinámico, trae consigo el módulo de transporte de sedimentos por carga de fondo y por suspensión, se halla también el modelo de transporte de mezclas sedimentadas y calidad de agua, este utiliza esquemas numéricos especialmente estables en cualquier situación, pero primordialmente adecuados para flujos discontinuos y, en concreto, para cauces torrenciales y regímenes irregulares [12].

3.4. VALORACIÓN ECONÓMICA AMBIENTAL

En el contexto de la economía del ambiente y los recursos naturales es definida la valoración económica ambiental como; cito textualmente, todo intento de asignar valores cuantitativos a los bienes y servicios proporcionados por recursos naturales independientemente de si existen o no precios de mercado que ayuden a hacerlo [14].

Por lo cual, la valoración económica ambiental se fundamenta como herramienta para estimar bienes monetarios del ambiente además del rol que establecen en cuanto a los precios de mercado, así mismo, es útil como insumo para el análisis, vigilancia y regulación del deterioro ambiental. Para la autoridad ambiental este le permite contar con una idea sobre el valor total de la externalidad y lleva a cabo la determinación de los objetivos y montos finales de la compensación socioeconómica al efectuar una aproximación de la evaluación de los daños ocasionados por el proyecto. Esto permite de una u otra forma elegir el método de valoración económica adecuado para cada caso en el que se requiera, esto indica también el valor de los beneficios y costos valorados a través de la aplicación de distintos métodos contando con el periodo de duración del impacto [15].

Para estimar la valoración ambiental se tienen diferentes tipos de métodos los cuales dependen de lo que se requiera o se esté predestinado a realizar, así entonces, existen métodos como la valoración contingente, costos de viaje, transferencia de beneficios, costos de restitución y precios de mercados, estos son algunos de los métodos de valoración tanto de uso directo como de uso indirecto, siendo la valoración contingente el único cuyo uso es directo [16].

3.4.1. METODOLOGIA DE VALORACION ECONOMICA AMBIENTAL

3.4.1.1. MÉTODO CAMBIO DE PRODUCTIVIDAD

Este método se basa en la teoría de la función de producción, donde el bien o servicio ecosistémico es un insumo en el proceso de producción. Su cambio en este implicaría una variación en la producción ya sea en los costos o en la alteración de productividad, o que afectará el bienestar del individuo e incidirá en la cantidad producida del bien con mercado [17].

Estos cambios ambientales pueden afectar la producción con efecto en la eficiencia productiva en varios sectores de la economía: industrial, agrícola y pecuario. En el caso agrícola la productividad disminuye por efectos contaminantes (lluvia ácida) y por impactos erosivos en el suelo [17].

Este método de medición indirecta, es muy utilizado por su fácil comprensión, ya que se basa en la relación que existe entre el atributo ambiental, bienes y servicios existentes en el mercado; lo que da a entender que si hay un cambio en el atributo ambiental habrá una variación en la producción del bien con que este está relacionado, esta variación se valora económicamente con base a precios de mercado [17].

Se busca entonces valorar el recurso natural a través del efecto que este tiene sobre la producción, ya sea sobre el costo o sobre las ganancias generadas, por otro bien que si tiene mercado. En el caso de que el efecto en producción llegue a tener cambios en los precios, se deberá calcular el nuevo precio de equilibrio para valorar el cambio en producción; además, se deberá incluir el efecto en el cambio del excedente del consumidor [17].

Uno de los casos más corrientes es cuando la calidad ambiental produce utilidades en forma directa como argumento de utilidad individual, es decir que los cambios que experimente traerán cambios en los costos de producción, afectando el precio y la cantidad de producto final [17].

3.4.1.2. APLICACION DEL METODO

Este método comprende dos fases, la primera se debe realizar por determinación del efecto físico y luego, la estimación monetaria de dicho efecto.

Para los efectos físicos se tiene en cuenta:

- Aplicar técnicas estadísticas de regresión, en donde se aísla la influencia de las variables causales en forma particular o específica para así explicar el comportamiento de la variable dependiente o variable explicada.
- Resultados de investigaciones o pruebas de laboratorio. Se puede llegar a obtener funciones de daño, las cuales facilitan la estimación del impacto ambiental.

- Es importante para estimar el efecto físico tener presente que existirá un efecto ambiental natural que deberá ser controlado [17].

3.4.1.3. VALORACIÓN MONETARIA

Este se realiza utilizando los precios de mercado y de proyectos cuyo efecto de la producción no afecte el precio del bien; en los casos en que el mercado presenta distorsiones la utilización directa de los precios observados lleva errores técnicos en la evaluación, no logrando evaluaciones objetivas del impacto [17].

La valoración monetaria tiene límites en cuanto a:

- En ocasiones es muy difícil determinar el efecto individual de un bien o servicio ecosistémico entre un conjunto de ellos.
- Las relaciones de causalidad determinadas en hábitats determinados no siempre podrán ser directamente aplicables a otros, ya que existen factores inherentes a las condiciones de cada uno de estos.
- Si los efectos en producción son cambios sustanciales en los mercados, la información necesaria será escasa, y en el caso de países en desarrollo, mucha de la información de mercado es difícil de obtener e incluso en algunos casos no existe.
- Las relaciones de causa-efecto que se establecen definen la situación “con” y “sin” proyecto, pero en la naturaleza los procesos ambientales son graduales [17].
- En los casos en que los cambios de producción impliquen modificaciones importantes en el mercado, pueden verse afectados bienes y servicios sustitutos y complementarios del bien en cuestión [17].

3.5. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Ituango está ubicado en la región norte del departamento de Antioquia, limita con los municipios de Tarazá, Valdivia, Toledo, Peque, Briceño, Dabeiba, Mutatá, aproximadamente a 198 Km. de la ciudad de Medellín, es uno de los municipios más grandes de Antioquia en extensión y cuenta con una población cercana a los 25.000 habitantes [7].

El proyecto Hidroeléctrico Ituango se ubica sobre el río Cauca, en el llamado “cañón del Cauca”, tramo en el cual este río, que nace en el sur del país, corre a través de profundos cañones y desciende unos 800 m. El río Cauca es uno de los más importantes del país, con un recorrido de 1.350 km; su cuenca de unos

37.800 km² recorre más de 150 municipios de Colombia, el cual descarga sus aguas al río Magdalena, que a su vez lo hace al Mar Caribe, en el norte [7] [18].

El proyecto se sitúa al noroccidente del departamento de Antioquia, ocupando predios entre los municipios de Ituango y Briceño, La presa estará localizada a unos 8 km aguas abajo del puente de Pescadero, sobre el río Cauca, en la vía a Ituango, inmediatamente aguas arriba de la desembocadura del río Ituango al río Cauca. Es el proyecto de generación de energía más grande que se está construyendo en Colombia. Generará 2400 MW de energía con ocho unidades de generación con la implementación de turbinas tipo Francis [21]. Este está constituido por una presa de 225 m de altura y 20 millones de m³ de volumen, y una central subterránea de 2.400 MW de capacidad instalada y 13.930 GWh de energía media anual. Este proyecto comprende, obras para la desviación temporal del río Cauca, la cual consiste túneles que se taponaran una vez construida la presa; el vertedero para evacuación de crecientes, controlado por cinco compuertas, y el túnel de descarga intermedia, para control y vigilancia del llenado del embalse y garantizar, de cualquier manera, la descarga aguas abajo de la presa, con un caudal mínimo de 21 m³/s exigido por la autoridad ambiental. Al exterior se cuenta con la subestación principal la cual cuenta con 500 kV, y donde llegan los cables de potencia [18].

4. METODOLOGÍA

4.1. FASE I: CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

4.1.1. HIDROLOGÍA EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA ITUANGO

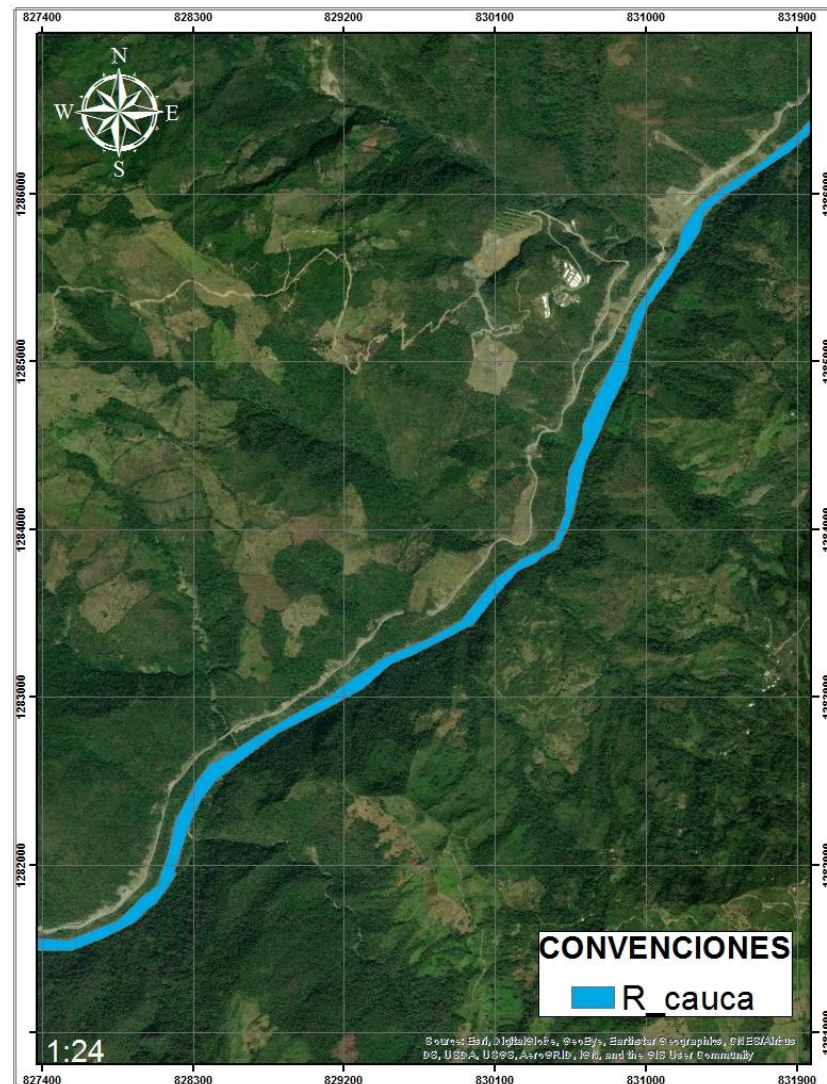
Se realizó la respectiva delimitación de la cuenca y del área de influencia en el software ArcGIS en donde se encuentra la Central Hidroeléctrica Ituango (CHI) a partir de la extracción del DEM correspondiente al área de interés.

Ilustración 1 Mapa delimitación de la Cuenca Cauca.



Fuente: Autoras

Ilustración 2 Delimitación área de influencia

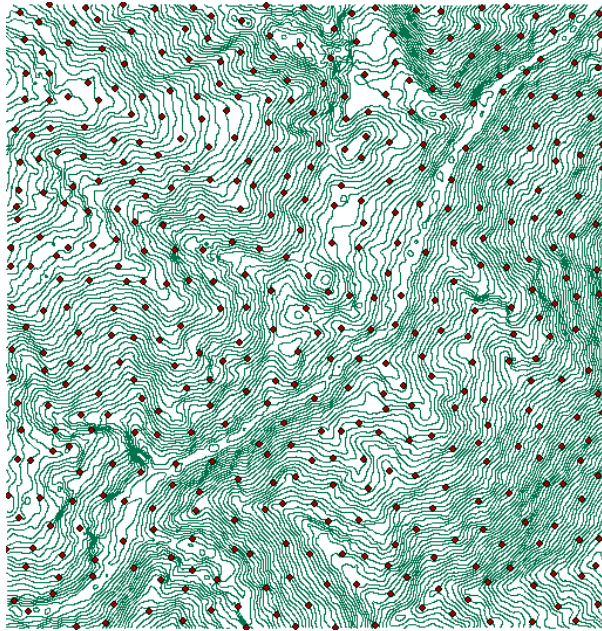


Posteriormente se realizó el dominio de modelación mediante la extracción del área de estudio el cual está dado por 7 km aguas abajo de la Central Hidroeléctrica Ituango (CHI), seguidamente se procedió a crear un Modelo Digital de Terreno (MDT) en ArcGIS, para el cual se tuvo en cuenta la siguiente información:

1. Shape curvas de nivel
2. Altimetría de la Zona

En donde, las curvas de nivel fueron generadas por el programa ArcGIS y la altimetría de la zona se realizó a partir de un Shape de puntos que se situaron a lo largo del DEM en distintos lugares, con el fin de determinar la altura y/o elevación de cada uno de estos.

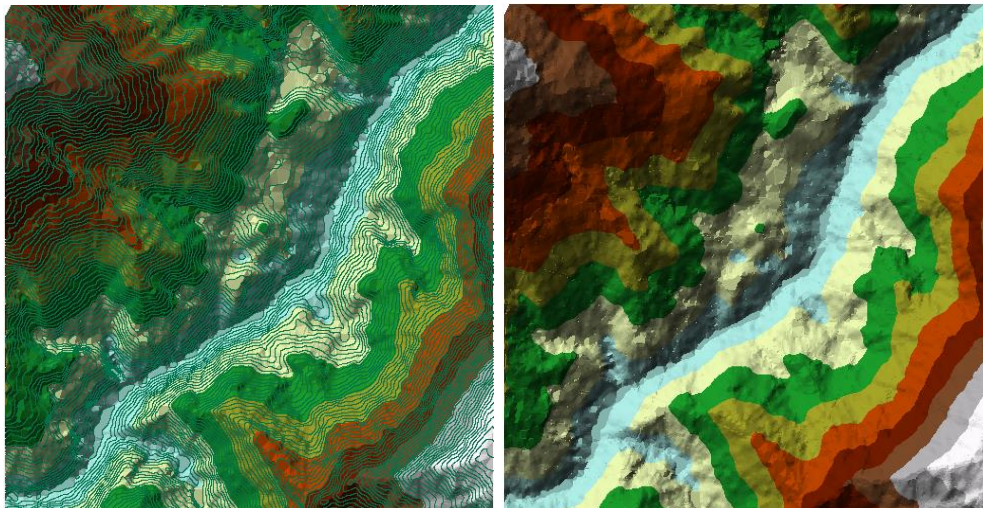
Ilustración 3 Curvas de nivel y altimetría



Fuente: Autoras

Por consiguiente, se creó un TIN (Red de Triangulación Irregular) de acuerdo con las elevaciones anteriormente extraídas.

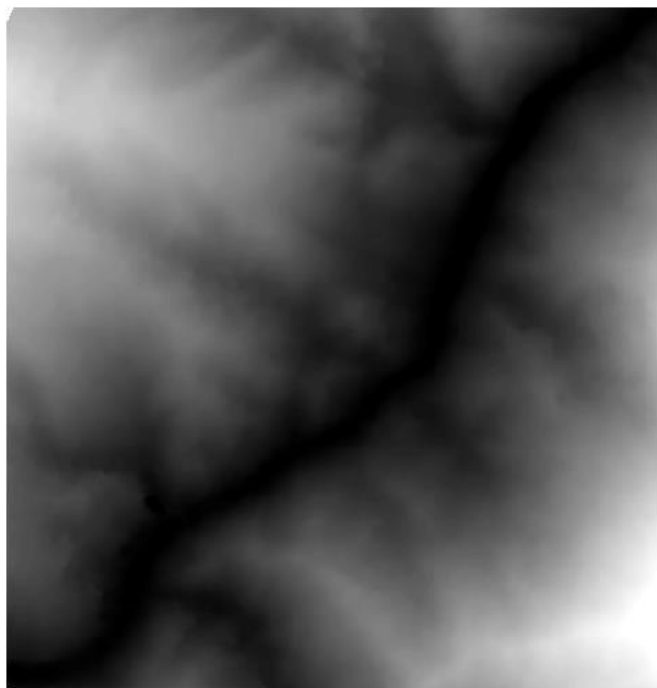
Ilustración 4 Formato TIN



Fuente: Autoras

Así entonces, se transformó el archivo formato TIN generado a formato Raster.

Ilustración 5 Formato Raster



Fuente: Autoras

4.1.2. CALIDAD DEL AGUA EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA ITUANGO

La construcción del proyecto hidroeléctrico Ituango trae consigo diferentes alteraciones en la calidad del agua, estas implican la incorporación constante de residuos líquidos y sólidos a los cuerpos de agua ya sean superficial o subterránea, movimientos de tierra, remoción de vegetación y excavaciones subterráneas, lo que puede llegar a modificar las propiedades de las corrientes de agua por el aporte de sustancias y alterar los parámetros indicadores de calidad como lo son sólidos suspendidos, oxígeno disuelto, y turbidez haciéndolos perjudiciales o inhabilitándolos para usos posteriores [19].

El río Cauca, es el receptor de vertimientos por la construcción de túneles y de descargas de diferentes campamentos de zonas de plantas de asfalto y concreto lo que implica la modificación de las dinámicas y el comportamiento de los cuerpos de agua, esto puede aumentar la degradación del río por los cambios en la concentración de sedimentos [19].

En general los cuerpos de agua evaluados para la operación de la Hidroeléctrica Ituango se encuentran en categoría media, esto quiere decir que tienen cierto

grado de contaminación, no todo es por la construcción y operación de esta, la mayoría es debido al receptor de aguas residuales municipales que tienen intervenciones por procesos de extracción minera, solo dos puntos cuentan con un índice de calidad en mala categoría, estos localizados en el río Cauca, uno cerca a la desembocadura de la quebrada Niquia y el otro en el sitio de la presa [19].

4.1.3. CONDICIONES FÍSICAS EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA ITUANGO

Se dio cumplimiento a la revisión bibliográfica en cuanto a las características asociadas a cobertura vegetal y tipos de suelo cerca del área de influencia de la CHI, para la cobertura vegetal se tuvo en cuenta el shape de coberturas en el cual se describe una vegetación secundaria, que generalmente es producto de sucesión de pastos o cultivos, hacia coberturas arbóreas, se encuentran también rastrojos y cobertura en estado de sucesión temprano [20].

Así mismo se encontraron comunidades naturales denominadas por árboles de altura promedio superior a los 5m y con densidad de copas superior al 70% con una extensión superior a las 50 ha incluyendo bosques densos, fragmentados y de galería o riparios [20].

Los bosques fragmentados comprenden territorios cubiertos por bosques naturales o densos cuya continuidad horizontal está afectada por la inclusión de otros tipos de coberturas como pasto, cultivos o vegetación en transición, las cuales deben representar entre 5% y 30% del área total de la unidad de bosque natural [20].

En cuanto al bosque de galería o ripario Se refiere básicamente a las coberturas representadas por vegetación arbórea localizada justamente en las márgenes de cursos de agua permanentes o temporales. Este tipo de cobertura está ampliamente limitada por su amplitud, ya que rodea los cursos de agua y los drenajes naturales [20].

Posteriormente se identificaron los tipos de suelo localizados cerca al área de influencia en donde se encontraron suelos de cordillera y suelos de clima cálido húmedo.

- Suelos de cordillera, saturados, moderadamente evolucionados, en clima cálido seco, desarrollados en relieve quebrado. Localizados sobre las vertientes del cañón del río Cauca [20].

- Suelos de clima cálido húmedo, generalmente desaturados, en relieve quebrado a muy quebrado, poco a moderadamente evolucionados. Se extienden hacia las vertientes medias del cañón del río Cauca, desde el sur de la confluencia del río San Andrés hasta la quebrada Valluvia al norte y un sector correspondiente a la cuenca del río Ituango en la vertiente occidental del río Cauca [20]

4.1.4. ESTIMACIÓN DE VARIABLES Y PARÁMETROS DE CALIBRACIÓN

Se realizó la identificación correspondiente de cada uno de los parámetros necesarios para el establecimiento de los escenarios, como parámetros de calibración en el modelo hidrodinámico se tuvo en cuenta el coeficiente de rugosidad mencionado anteriormente, en el cual se identificaron zonas arbóreas. Por otro lado, para el modelo hidrodinámico con sedimentos se tuvo en cuenta un estudio de transporte de sedimentos en Ríos Colombianos donde se daban a conocer datos de sedimentos en el río Cauca estipulados por el IDEAM, lo cual influyó para dar un resultado confiable de la simulación.

Se hallaron también los caudales de entrada, en este caso, un caudal máximo, caudal mínimo y el caudal estándar de la estación más cercana aguas arriba del embalse, correspondiente a Pte. Pescadero.

4.1.5. ESTABLECIMIENTO DE ESCENARIOS

Se establecieron 3 escenarios diferentes teniendo en cuenta las reglas de operación de la CHI (Central Hidroeléctrica Ituango), cuando se encuentra al máximo y al mínimo de ejecución [1].

Se identificaron 3 caudales necesarios para operación del software:

El caudal obtenido fue utilizado para el escenario máximo como el escenario más catastrófico de la modelación, este caudal se tomó de las reglas de operación del embalse cuando este opera al 100 % es decir, en su máxima capacidad.

No obstante, en el expediente (LAM 2233) se puede observar que el caudal máximo que puede generar la CHI es de $25300 \frac{m^3}{s}$ [1].

$$Q_{max} = Q_v + Q_{MT} + Q_b$$

En donde

Q_v : Caudal de Vertedero

Q_{mt} : Caudal Mínimo Turbinado

QMT: Caudal Máximo Turbinado

Qb: Caudal Base o Constante

$$Qv = 22000 \frac{m^3}{s} \quad QMT = 1350 \frac{m^3}{s} \quad Qb = 1700 \frac{m^3}{s}$$
$$Q_{max} = 22000 \frac{m^3}{s} + 1350 \frac{m^3}{s} + 1700 \frac{m^3}{s}$$
$$Q_{max} = 25050 \frac{m^3}{s}$$

Fuente: Autoras

Para el caudal estándar se utilizó la estación Pte. Pescadero que resulta ser las más cercanas aguas arriba de la CHI, este caudal se tomó de los datos suministrados por el IDEAM, en donde se realizó un llenado de datos para estimar el promedio de todos los años y así establecer el promedio mensual de la estación.

$$Q_{estandar} = 1012.1 \frac{m^3}{s}$$

Fuente: Autoras con información del IDEAM

Para el caudal mínimo se tuvo en cuenta que para operar la CHI se necesita un mínimo del 30%, para lo que fue necesario solo el caudal base y el mínimo turbinado.

$$Q_{min} = Qb + Qmt$$
$$Q_{min} = 1700 \frac{m^3}{s} + 1181 \frac{m^3}{s}$$
$$Q_{min} = 2881 \frac{m^3}{s}$$

Fuente: Autoras

Posteriormente se obtuvo el valor de concentración de sedimentos a partir de una revisión bibliográfica de los expedientes de la CHI de la ANLA donde se tomó como dato principal $2.79 \times 10^6 \text{ Ton/Año}$ para material de lecho de la estación Pte. Pescadero ubicada aguas arriba de la CHI, teniendo en cuenta que existe una descarga de fondo lo cual abrirá paso por el vertedero y traerá consigo sedimentos [1].

Sin embargo, el Software IBER requiere como unidad principal g/l para introducir el valor de entrada de sedimentos en suspensión, para lo cual se necesitó el caudal anual multianual de la estación Pte. Pescadero **1012.1 m³/s**.

Por consiguiente, se realizaron las siguientes operaciones para obtener las unidades establecidas por el Software IBER:

$$2.79 \times 10^6 \frac{TON}{AÑO} * \left(\frac{1000000 g}{1 TON} \right)$$

$$= 2.79 \times 10^{12} \frac{g}{Año}$$

$$1012.1 \frac{m^3}{s} * \left(\frac{31536000 s}{1 Año} \right)$$

$$= 3.19 \times 10^{10} \frac{m^3}{Año}$$

$$\frac{2.79 \times 10^{12} \frac{g}{Año}}{3.19 \times 10^{10} \frac{m^3}{Año}} = 87.46 \frac{g}{m^3}$$

$$87.46 \frac{g}{m^3} * \left(\frac{1 m^3}{1000 L} \right)$$

$$= 0.08746 \frac{g}{L}$$

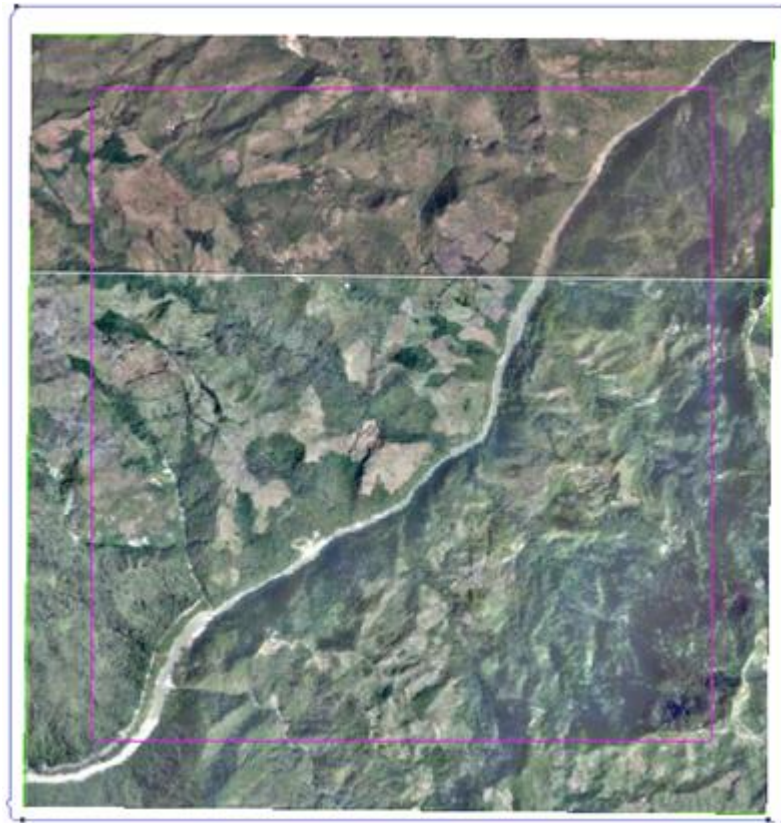
Fuente: Autoras

4.1.6. EJECUCIÓN DEL SOFTWARE IBER

Para la ejecución del programa Iber, se procedió a importar la ortofoto de la zona a simular al igual que el MDT que se obtuvo del programa ARCGIS, este MDT fue importado como una única superficie para así generar una malla por error

cordal, el cual fue el porcentaje máximo que se permitió entre la malla y la geometría del MDT, generando unos límites estándar en la ortofoto.

Ilustración 6 Ascii con límites predeterminados

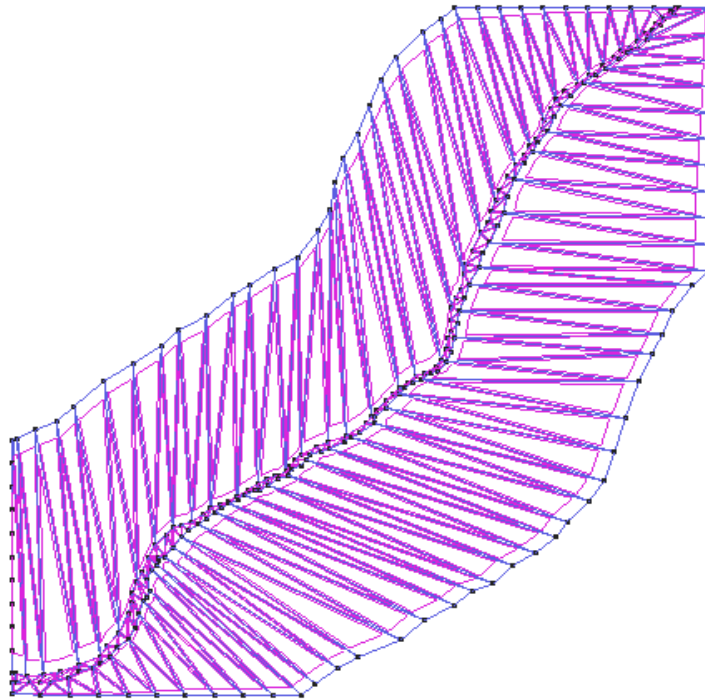


Fuente: Autoras

Posteriormente, se creó un contorno nuevo entre los límites del MDT que fue cargado y se procedió a eliminar los anteriores límites generados.

Seguido a esto, se dibujó el contorno a simular en este caso el del río Cauca uniendo los nuevos límites creados del MDT con los del río, con esto se generaron las superficies tanto del río como de su alrededor.

Ilustración 7 Superficies Ortofoto



Fuente: Autoras

Con las superficies generadas se introdujeron las condiciones hidrodinámicas correspondientes al modelo, estas fueron:

- Condiciones iniciales con un calado de 0.0 en el Río Cauca, ya que al agregar datos en este se genera inestabilidad en el modelo.
- Condiciones de contorno, en esta sección se introdujeron para el análisis de entrada los caudales correspondientes a simular y se asignó en la entrada de cauce.

Tabla 1 Valor caudales Mínimo, Máximo y Estándar

CAUDALES	VALOR(m ³ /s)
MÍNIMO	2881
ESTÁNDAR	1012.1
MÁXIMO	25050

Fuente: Autoras

- Uso del suelo, el software Iber ya contaba con una serie de valores predeterminados de Manning y gracias a la revisión bibliográfica se identificaron zonas arbóreas, ya que según el EIA y a partir de un shape de coberturas se logró evidenciar zona boscosa en el área de influencia, es decir, bosque tropical húmedo y seco así que a partir de ellos se seleccionaron los siguientes:

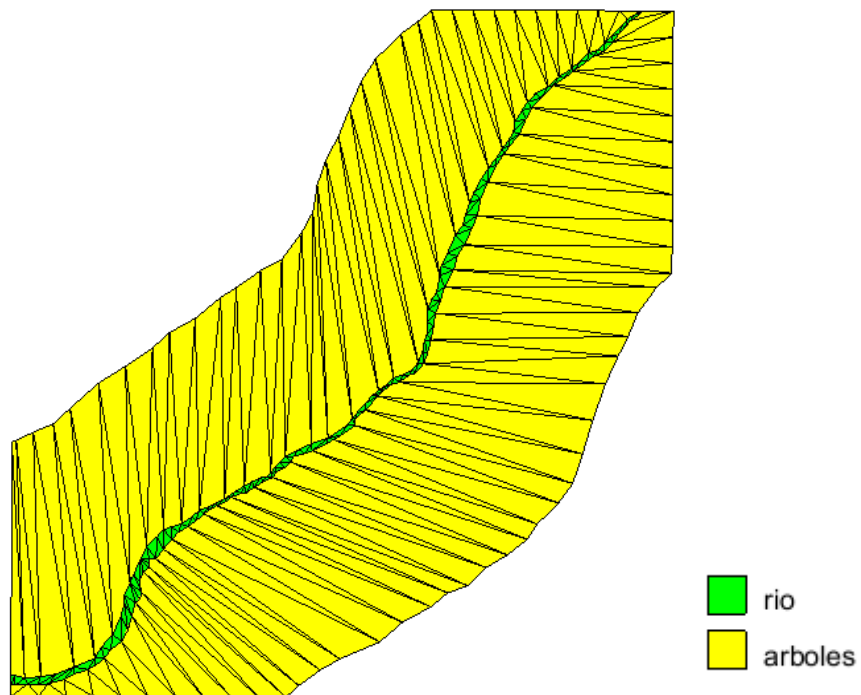
Tabla 2 Valor uso del suelo

USO DEL SUELO	MANNING (n)
RIO	0,025
ÁRBOLES	0,12

Fuente: Autoras

Se generó el correspondiente mapa para el uso de suelo, con sus respectivos valores de manning.

Ilustración 8 Uso de suelo



Fuente: Autoras

Al tener ya las condiciones hidrodinámicas, se generó el mallado del modelo este fue un mallado no estructurado el cual puede combinar diferentes elementos de 3 o 4 lados y es utilizado especialmente en hidráulica fluvial, además de esto son mallas compuestas de facetas triangulares, más complejas, pero mucho más flexibles para la generación automática de geometrías complejas. Los valores del mallado fueron asignados a las superficies que se generaron anteriormente teniendo valores de:

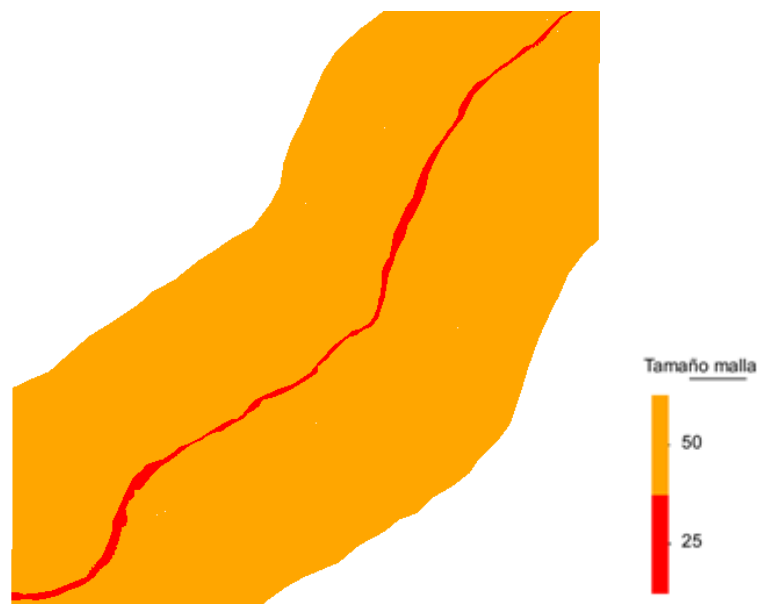
Tabla 3 Valor del tamaño de mallado

TAMAÑO MALLADO	SUPERFICIE
25	RIO
50	ÁRBOLES

Fuente: Autoras

Se generó el correspondiente mapa para cada superficie con su respectivo tamaño.

Ilustración 9 Tamaño malla



Fuente: Autoras

Por último, se ingresó el valor de la entrada de sedimentos en suspensión que es de $0.08746 \frac{g}{L}$, este procedimiento se realizó para los tres escenarios de caudal, máximo, mínimo y estándar. El procedimiento se ejecutó con un tiempo estimado de 86400 segundos en intervalos o pasos de tiempo de 10 segundos obteniendo resultados de calado o lámina de agua.

4.2. FASE II: EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

4.2.1. IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS

Se realizó la identificación de impactos teniendo en cuenta los 3 escenarios simulados en la fase I del proyecto, donde se logra ver para cada uno de los caudales la concentración de sedimentos respectivamente, trayendo consigo afectaciones y alteraciones al recurso hídrico, a la cobertura vegetal y a las actividades pesqueras de la zona.

Así entonces se tuvo un criterio para la identificación de impactos sobre las 3 dimensiones principales, medio físico, medio biótico y medio social, teniendo en cuenta una previa revisión bibliográfica de los impactos que estos generan y una relación entre la afectación que da la extensión del agua con sedimentos a la cobertura vegetal ya que se da una pérdida de vegetación, lo que conlleva a la erosión del suelo. Lo mismo ocurre con la modificación del suelo ya que altera las propiedades físicas y químicas de está perdiendo su capacidad de absorción generando la erosión del mismo. En cuanto a los peces trae consecuencias en la irritación de sus branquias lo que reduce su resistencia a enfermedades, disminuye los índices de crecimiento y su reproducción por el entierro y sofocamiento de los huevos, al desplazamiento de plantas, invertebrados e insectos del lecho del río repercutiendo en la fuente de alimentación de estos, reduciendo la oferta pesquera aguas abajo.

4.2.2. CUANTIFICACIÓN DE IMPACTOS

Como consideraciones para la cuantificación biofísica de los recursos impactados se tuvo en cuenta el área física de afectación a partir de revisión bibliográfica secundaria, tanto del EIA como de otros estudios relacionados con el Proyecto Hidroeléctrico Ituango (Expediente LAM 2233) y shapes de coberturas de la zona los cuales fueron primordiales para la extracción del área de coberturas vegetales, identificando el área física a afectar (hectáreas de tierra, N° de peces y N° de familias afectadas por la actividad pesquera) que se ven impactados directamente o cuya extracción o aprovechamiento se ven afectadas.

4.3. FASE III: VALORACIÓN ECONÓMICA DE IMPACTOS

4.3.1. ESTUDIOS PREVIOS

Se desarrolló la búsqueda de información secundaria en diferentes bases de datos como Scopus, Science Direct, Google Académico, Redalyc y entidades como la ANLA, el IDEAM y el Instituto Humboldt, sobre estudios ya desarrollados de valoraciones a impactos con ecosistemas similares al que presenta la zona de estudio en donde está ubicada la hidroeléctrica Ituango para tener en cuenta las diferentes metodologías y poder valorar los impactos.

4.3.2. SELECCIÓN DE LAS METODOLOGÍAS

Se le asignó a cada impacto identificado una metodología de valoración económica acorde al recurso natural a valorar, esta se llevó a cabo teniendo en cuenta la cuantificación biofísica. La metodología a utilizar para los impactos es la pérdida de productividad.

4.3.3. IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE VALORACIÓN

Se realiza la valoración según la metodología estipulada de acuerdo con cada impacto identificado para los 3 escenarios de simulación, máximo, estándar y mínimo, considerando también la cuantificación biofísica de cada uno.

5. DESARROLLO CENTRAL

5.1. FASE I: CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

5.1.1. EJECUCIÓN DEL SOFTWARE IBER

Al realizar la respectiva ejecución del programa, se observaron y analizaron los escenarios generados para así identificar el comportamiento de los sedimentos en cada uno de estos.

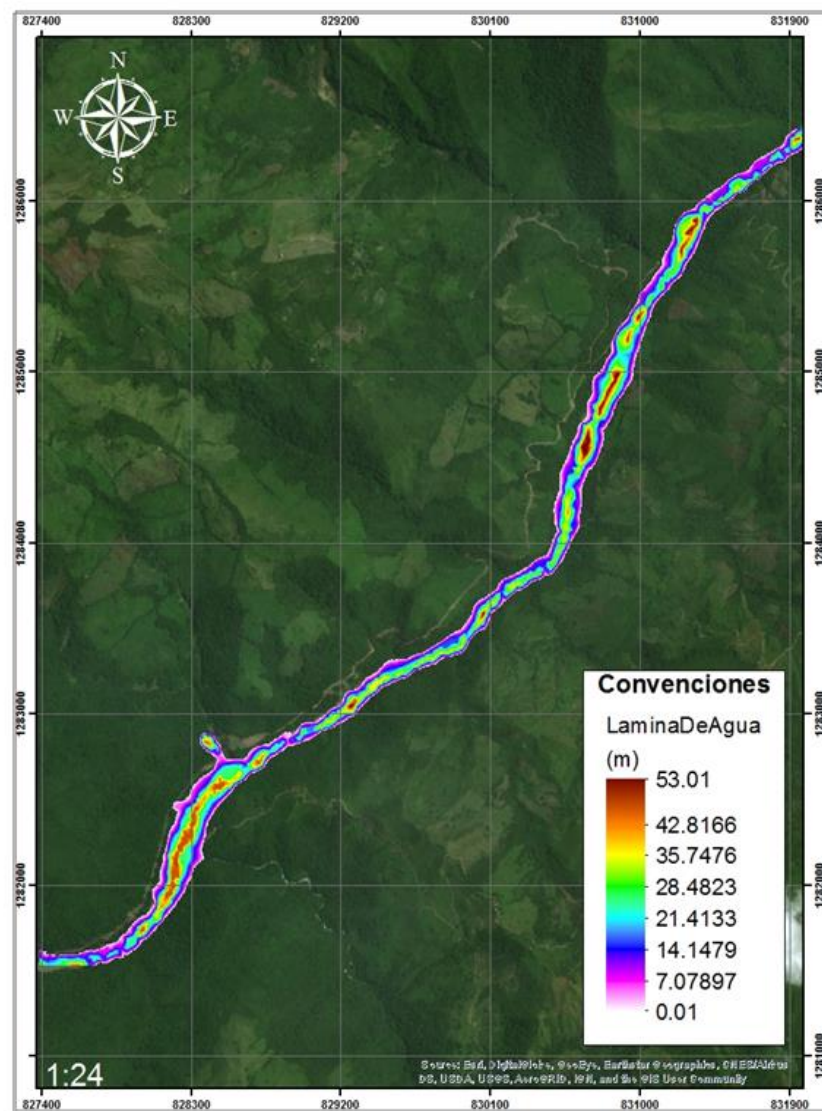
5.1.2. MODELOS HIDRODINÁMICOS

Inicialmente se realizó el modelo hidrodinámico que se llevó a cabo con el fin de observar la amenaza por inundación en la CHI para los tres escenarios teniendo en cuenta los posibles caudales generados a partir de las condiciones presentadas en el embalse, este fue desarrollado por el Software Iber y cuyo dominio abarca los 7 km aguas abajo del embalse.

A continuación, se muestran los modelos de inundación para los posibles caudales (mínimo, estándar y máximo).

En el siguiente mapa se muestran las áreas de inundación obtenidas a lo largo del río Cauca aguas abajo de la CHI para una condición de caudal mínimo de $2281 \text{ m}^3/\text{s}$, en donde se observa que en la parte alta del río en el Km 2 se encuentra el primer punto crítico en donde se evidencia una mancha de inundación, la cual tiene una extensión de banca izquierda de 70.54 m y banca derecha de 59.31 m con una lámina de agua de 53.01 m, el segundo punto crítico se encuentra a los 5 Km viéndose reflejado en la parte baja del río una mancha de inundación con una extensión de banca izquierda de 60.40 m y banca derecha de 42.65 m y una lámina de agua de 53.01 m, sin embargo, se observa que en los trayectos restantes del tramo del río la lámina de agua se reduce a un valor promedio de 14.14 m a 21.41 m aproximadamente, dato que se mantiene constante.

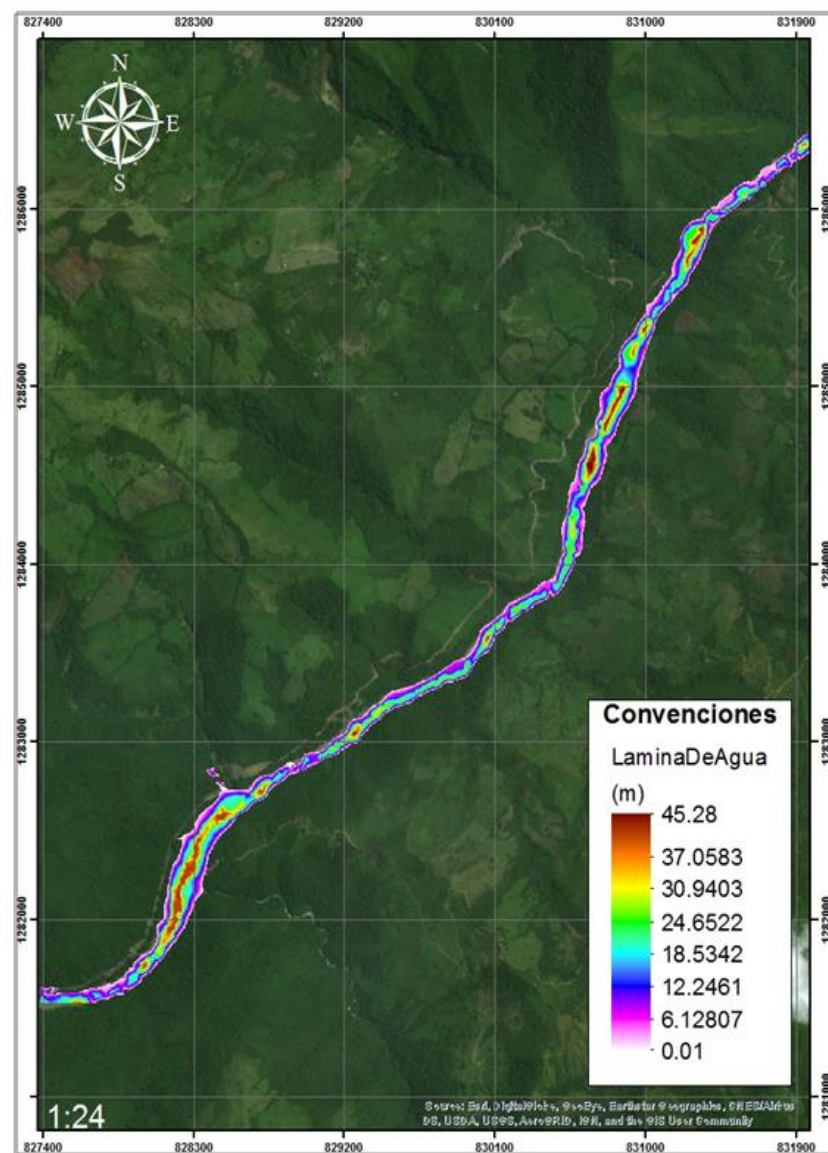
Ilustración 10 Modelo Hidrodinámico Condición Mínima



Fuente: Autoras.

Para este mapa se muestran las áreas de inundación obtenidas a lo largo del río Cauca aguas abajo de la CHI para una condición de caudal estándar de $1012.1 \text{ m}^3/\text{s}$, en donde se observa que en la parte alta del río en el Km 2 se encuentra el primer punto crítico en el que se evidencia una mancha de inundación la cual tiene una extensión de banca izquierda de 44.84 m y banca derecha de 86.79 m con una lámina de agua de 45.28 m, el segundo punto crítico se ubica en el Km 5 reflejando en la parte baja del río una mancha de inundación con una extensión de banca izquierda de 44.80 m y banca derecha de 35.72 m y una lámina de agua de 45.28 m, no obstante, se identifica que en los trayectos restantes del tramo del río la lámina de agua se reduce a un valor promedio entre 12.24 m a 18.53 m aproximadamente, valor que se mantiene constante.

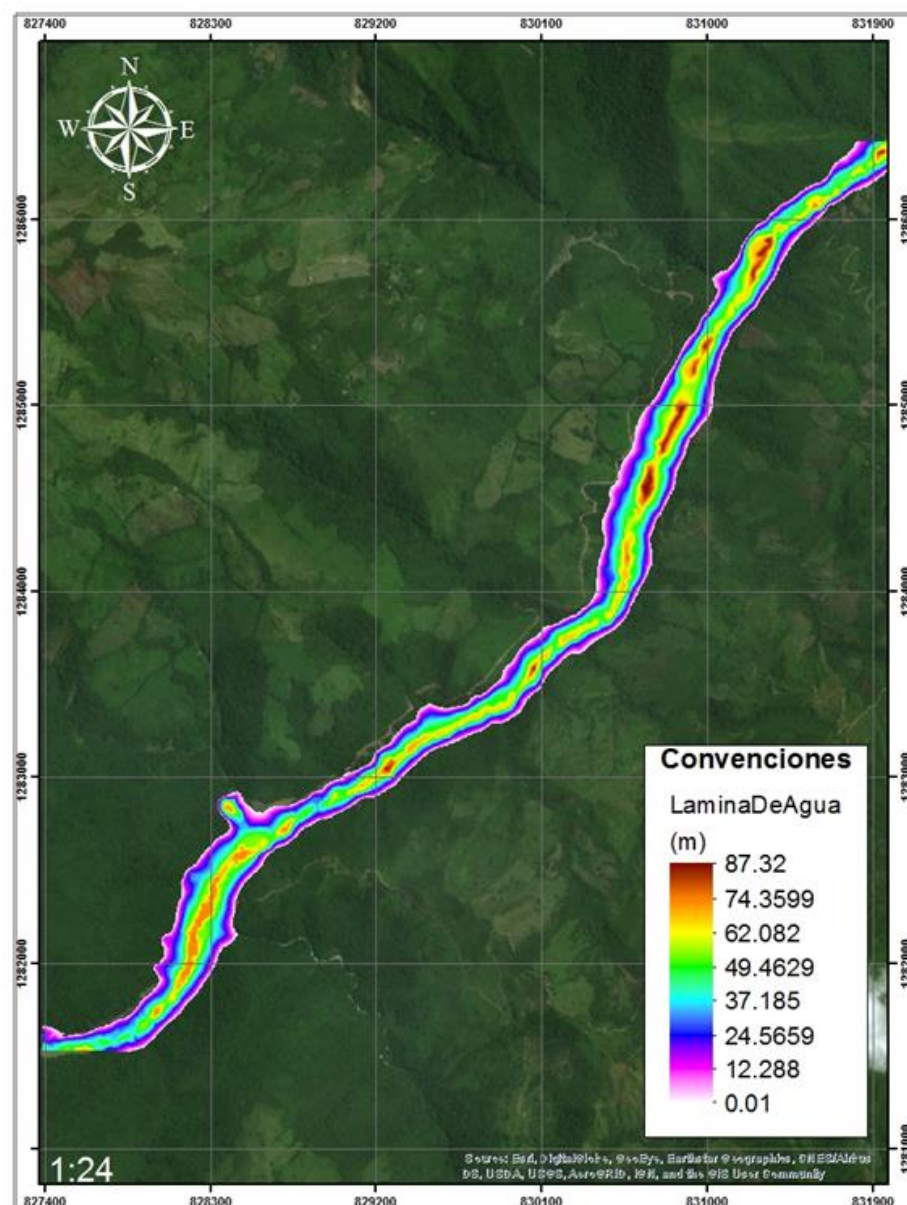
Ilustración 11 Modelo Hidrodinámico Condición Estándar



Fuente: Autoras

En cuanto al último mapa se muestran las áreas de inundación obtenidas a lo largo del río Cauca aguas abajo de la CHI para una condición de caudal máximo de $25050 \text{ m}^3/\text{s}$, en donde se observa que en la parte alta del río en el Km 2 y 3 se encuentra el primer punto crítico en el que se evidencia una mancha de inundación la cual tiene una extensión de banca izquierda de 286.75 m y banca derecha de 189.07 m con una lámina de agua de 87.32 m, el segundo punto crítico se ubica en el Km 5 y 6 reflejando en la parte baja del río una mancha de inundación con una extensión de banca izquierda de 147.94 m y banca derecha de 102.76m y una lámina de agua de 87.32 m.

Ilustración 12 Modelo Hidrodinámico Condición Máxima



Fuente: Autoras

Al observar los modelos hidrodinámicos de inundación para las tres condiciones de caudales podemos hacer una breve comparación entre ellos con la siguiente tabla.

Tabla 4 Resultados de modelos de inundación

CAUDAL (M3/S)		LAMINA DE AGUA (m)	ANCHO DE MANCHA (m) Pto Critico 1		ANCHO DE MANCHA(m) Pto Critico 2	
			IZQUIERDA	DERECHA	IZQUIERDA	DERECHA
ESTÁNDAR	1012.1	45.28	44.84	86.79	44.8	35.72
MÍNIMO	2281	53.01	70.54	59.31	60.4	42.65
MÁXIMO	25050	87.32	286.75	189.07	147.94	102.76

Fuentes: Autoras

Se puede observar que las manchas de inundación más altas se dan cuando se presenta un nivel de caudal máximo lo que puede deberse al manejo de un mayor flujo de agua en el cauce reflejando una amenaza por inundación, generando afectaciones al medio biótico, la pérdida o la fragmentación del hábitat, al cambio en la abundancia de especies que se encuentran en la cuenca del río cauca sin dejar atrás la alteración en las propiedades físicas y químicas del suelo debido a que pierde su capacidad de absorción dando lugar a la erosión del mismo [19].

Los valores mínimos registrados de mancha de inundación en el caudal estándar, se deben a que este es representativo de la estación Pte. Pescadero localizada aguas arriba de la CHI, lo cual indica que el caudal fue tomado en un área fuera de alteraciones físicas del cauce donde el flujo del agua es normal, es decir, sin perturbaciones.

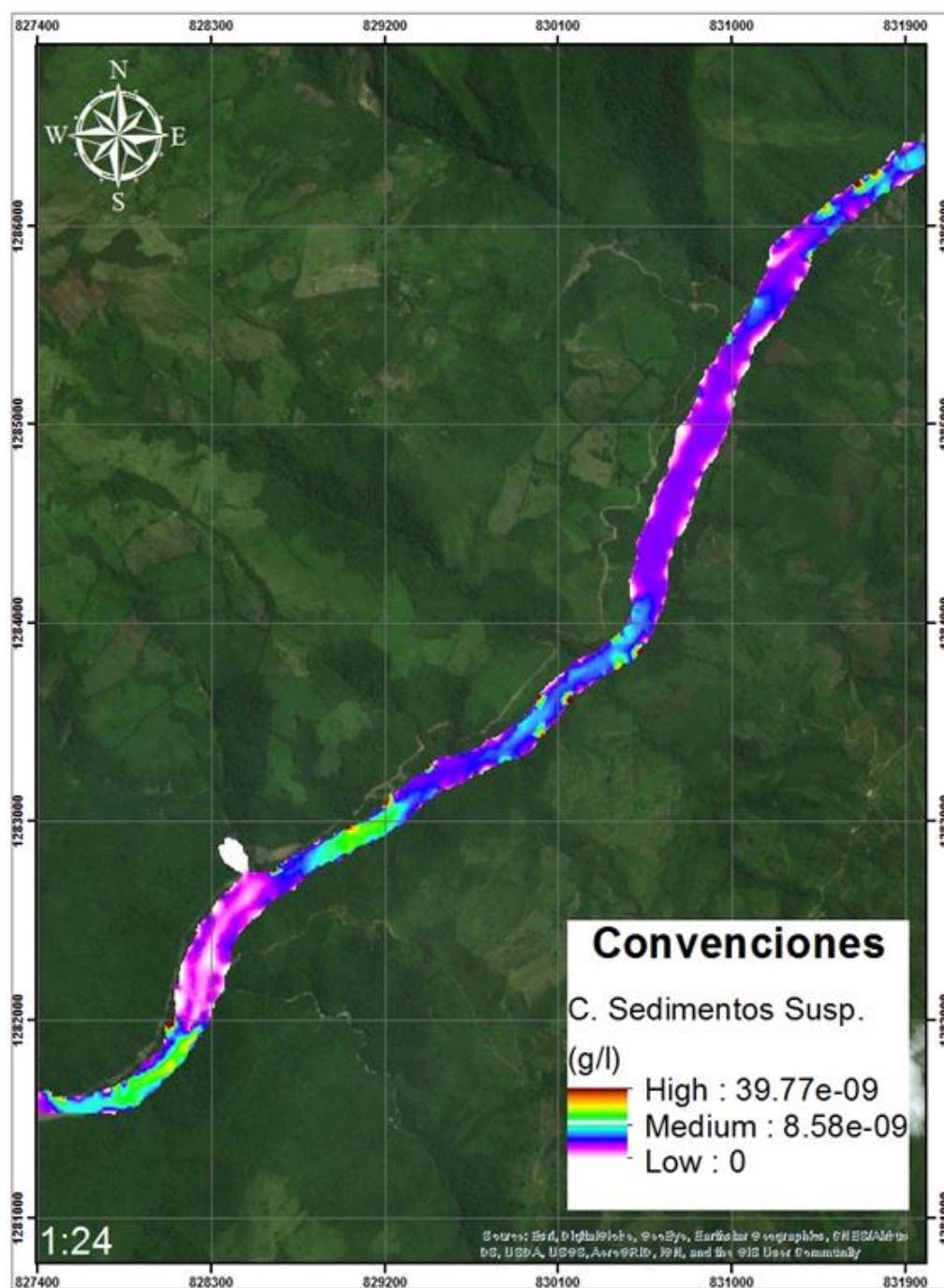
Por otro lado, para estos modelos no se contaba con datos de batimetrías ni información específica del área de influencia como lo era el ancho del río. Así mismo se utilizó un modelo de elevación digital de 30 para todos los escenarios, el cual presenta errores en la horizontal y en la vertical, dando una inconsistencia en los datos de lámina de agua arrojados al momento de realizar la simulación del modelo hidrodinámico, debido a que el grado de incertidumbre es proporcional a la resolución de este por lo que varía en los 30. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el modelo hidrodinámico solo fue una base para el verdadero modelo de concentración de sedimentos, datos que se utilizaron para la fase de valoración económica ambiental.

5.1.3. MODELOS DE CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN

Seguidamente se realizó el modelo de concentración de sedimentos en suspensión ingresando a la entrada del río el valor hallado gracias a la revisión bibliográfica de los expedientes de la CHI el cual fue de 0,08746 g/l.

En la ilustración mostrada a continuación se presentan los valores de concentración de sedimentos para un caudal mínimo, en donde se puede observar que en la parte alta del río hay una concentración media-alta lo cual puede deberse a la aglomeración que se presenta en este primer km aguas abajo del embalse, resultante de la descarga de fondo para las partículas más pequeñas que realiza la CHI, de igual forma se tiene en cuenta el material restante de la construcción al cual no se le puede tener un control adecuado lo cual produce que la concentración de sedimentos aumente. Posterior al Km 1 se ve un aumento en el ancho del río generando una suspensión de los sedimentos disminuyendo de esta forma su concentración hasta el km 2 donde se ve una reducción en el ancho del río en donde vuelven a aglomerarse los sedimentos.

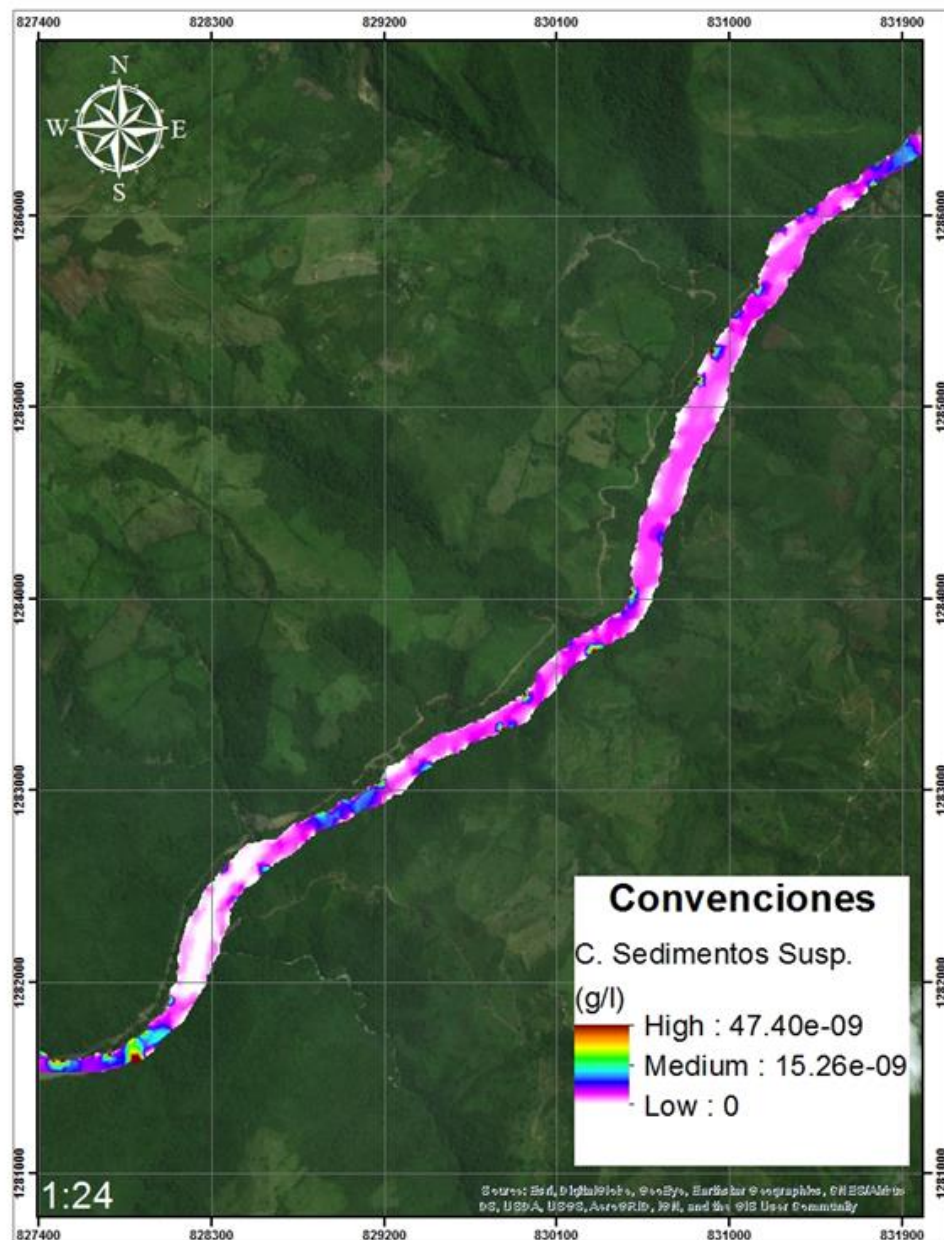
Ilustración 13 Concentración sedimentos en suspensión Caudal Mínimo



Fuente: Autoras

Para el caudal estándar se presentan los valores de concentración de sedimentos, en donde se puede observar que el inicio del río es la parte más angosta la cual es susceptible a aglomeración de sedimentos haciendo que este aumente su concentración. Así mismo se observa que desde el km 1 hasta el final no se identifica gran cantidad de sedimentos en suspensión debido a que este caudal fue tomado aguas arriba de la CHI donde aún no existía ningún tipo de alteración ni perturbación por parte del embalse que altere la concentración de sedimentos del río Cauca.

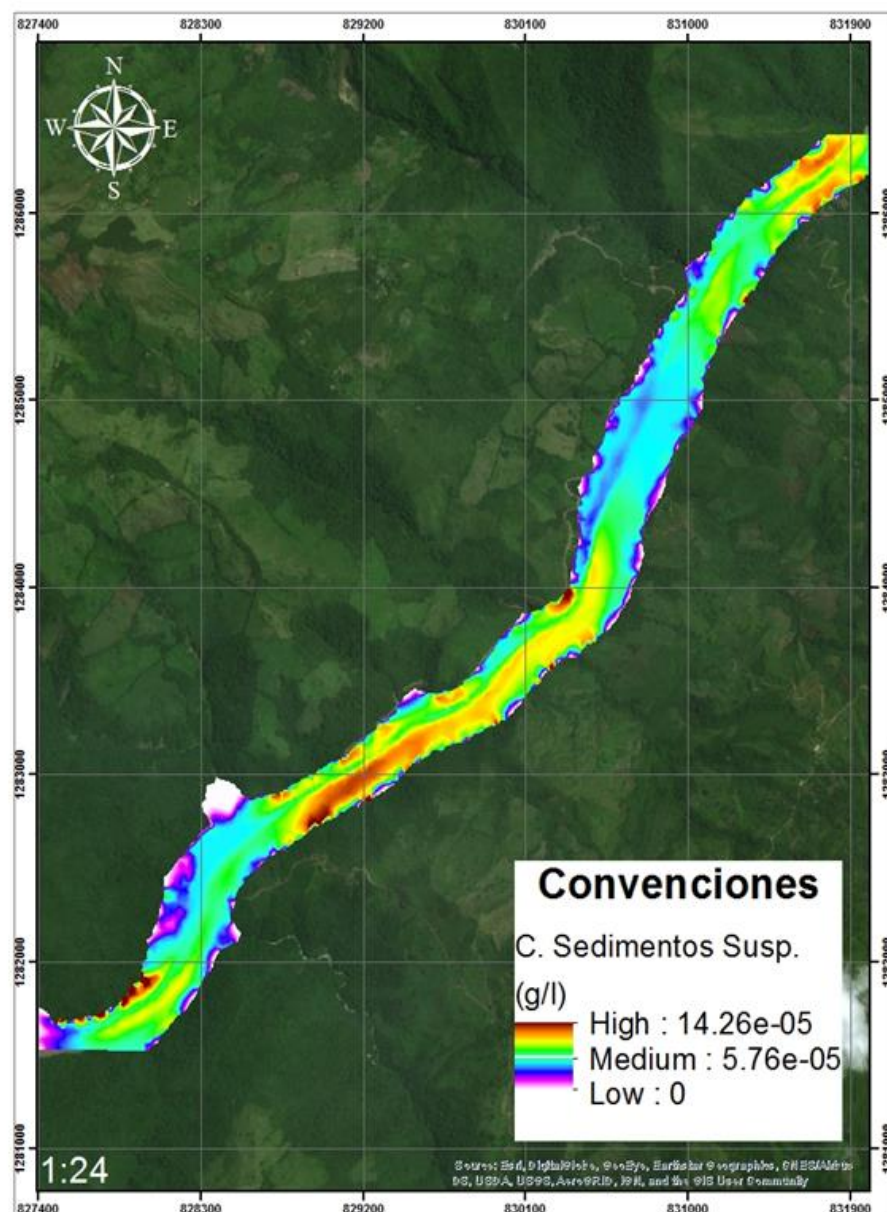
Ilustración 14 Concentración Sedimentos en suspensión Caudal Estándar



Fuente: Autoras

Por último se presentan los valores de concentración de sedimentos para un caudal máximo, en donde se puede observar que en la parte alta, media y baja del río hay una concentración alta de sedimentos lo cual puede deberse tanto al flujo máximo de agua como a la aglomeración que se presenta aguas abajo del embalse, resultante de la descarga de fondo para las partículas más pequeñas que realiza la CHI, de igual forma se tiene en cuenta el material restante de la construcción al cual no se le puede tener un control adecuado lo cual produce que la concentración de sedimentos aumente.

Ilustración 15 Concentración Sedimentos en suspensión Caudal Máximo



Fuente: Autoras

Tabla 5 Resultados de modelos de concentración de sedimentos

CAUDAL (m^3/s)		CONCENTRACIÓN (g/l)	ANCHO DE AGUA CON SEDIMENTOS (m) Pto Critico 1		ANCHO DE AGUA CON SEDIMENTOS (m) Pto Critico 2	
			IZQUIERDA	DERECHA	IZQUIERDA	DERECHA
ESTÁNDAR	1012.1	0.0058	11.45	47.3	/	/
MÍNIMO	2281	0.0049	34.46	66.12	16.2	62.88
MÁXIMO	25050	0.101	208.12	147.04	144.71	135.04

Fuentes: Autoras.

A su vez se encontraron valores de concentración de sedimentos en la parte alta y media del Río Cauca los cuales dan una referencia de la concentración máxima en mg/l que maneja el Río Cauca.

Tabla 6 Producción máxima de sedimentos alto y medio Cauca

Vertiente	Area km^2	Caudal m^3/seg	$\bar{Q}_r$ $Lt/seg/km^2$	Q_{sp} $Ton/año/km^2$	Q_{sl} mm	C mg/l
Pacífico	73040	6493	90	1514	0.6	533
Atrato y Sinú	80660	5900	74	1147	0.4	491
Caribe N E	25350	786	31			
Catatumbo	22230	1178	53	598	0.2	358
Orinoquia (alta)	43400	2200	51	3900	1.5	2424
Amazonia (alta)	26160	2179	83	3715	1.4	1419
Alto Magdalena	54360	1354	25	1652	0.6	2095
Magdalena Medio	83280	2768	33	(-)	(-)	
Bajo Magdalena	65430	531	8	(-)	(-)	
Alto Cauca	22810	542	23	646	0.2	890
Cauca Medio y Nechí	36200	1792	50	465	0.18	295
Orinoquia (baja)	347210	20800	60			
Amazonia (baja)	261560	16500	63	151	0.06	76

Fuente: [21]

La Central Hidroeléctrica Ituango está localizada en el cauca medio por lo cual se hace la conversión a g/l, generando una concentración de sedimentos de 0.295 g/l, al compararlo con las concentraciones de caudal máximo, mínimo y estándar se puede analizar que existe una relación cercana a este valor máximo de concentración, en donde el caudal mínimo llega a 0.0049 g/l , el estándar a

0.0058 g/l y el máximo llega a una concentración de 0.101 g/l, así entonces se observa que el caudal máximo es el que presenta mayor concentración de sedimentos aguas abajo de la CHI, lo cual puede deber al flujo máximo de agua que se presenta, al atrapamiento de sedimentos en el embalse y por tanto un déficit en la carga de sedimentos transportados por el río en las zonas aguas abajo, generando así afectaciones al recurso hídrico y al cauce volviéndolo más abrasivo, presentando fenómenos de degradación. Esta degradación se ve reflejada en un aumento de la pendiente del lecho provocando cauces más rectos y tal vez eliminando las formas trenzadas y meandricas que tiene el río aguas abajo al reducirse gran parte del material grueso granular que queda retenido en el embalse [19].

5.2. FASE II: EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

5.2.1. IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS

Para la identificación de impactos se tuvieron en cuenta los 3 escenarios, es decir, la concentración de sedimentos con un caudal máximo, estándar y mínimo en donde se puede observar las concentraciones y la extensión que se da por el agua con sedimentos de cada uno para así tener en cuenta el área afectada por dichos sedimentos, para lo cual el caudal máximo tiene un área afectada de 183 ha, el caudal mínimo de 68 ha y el estándar de 51 ha.

5.2.2. MEDIO FÍSICO

Modificación a la calidad del suelo

Los sedimentos juegan un papel importante en la modificación de la calidad del suelo lo cual se debe a la alteración que sufren las propiedades físicas y químicas de éste en cuanto a la pérdida de su capacidad de absorción dando lugar a la erosión del mismo. Esta, es una de las problemáticas relevantes en este proyecto ya que este fenómeno se encarga de la degradación de los ecosistemas, afectando a la economía por medio de la agricultura; y por ende los cultivos más representativos de la zona (Café y Maíz), cambiando físicamente los nutrientes de estos mediante el arrastre de partículas de los horizontes superiores [22].

Además de la sedimentación, la calidad del suelo se ve afectada por los movimientos de tierra desarrollados para la actividad de construcción en las etapas de descapote, excavaciones superficiales y la disposición de sobrantes de excavación, que afectan la estabilidad estructural del suelo y lo exponen a una degradación de su estructura minimizando el tamaño de los agregados. Por ende, a estas actividades se disminuye la capacidad de infiltración, el lavado de

nutrientes. También, la incorporación de hidrocarburos u otros productos químicos ya sean por derrames u otras actividades y la formación de lixiviados modificarán los rangos de PH, alterando las propiedades físicas y químicas de este haciendo que el suelo tenga poca productividad.

De igual forma, al tratarse de suelos que se encuentran en proceso de formación de estructura, cuyo tamaño de los agregados no son muy evidentes y teniendo en cuenta que estos suelos son superficiales y que la mayor disponibilidad de nutrientes se halla en el primer horizonte, cualquier afectación de éste, implica alteraciones en la fertilidad [19].

5.2.3. MEDIO BIÓTICO

Cambio de la abundancia de las especies que conforman la comunidad de peces

Los movimientos de tierra, la remoción a la vegetación y la construcción de obras generan residuos vegetales y de suelos los cuales llegan a las corrientes de agua estos factores y los vertimientos de aguas residuales modifican las características de los cuerpos de agua deteriorándolos y ocasionando que estos lleguen a ser inhabilitados y por ende alterando las comunidades acuáticas [19].

El flujo natural del agua en la cuenca es primordial pero también lo es la sedimentación natural de los ríos, aquella que transporta los nutrientes. La cual se está perdiendo gracias a los muros de las presas de las hidroeléctricas que no solo tienen consecuencias en contención del flujo de agua, sino que también atrapan y acumulan los sedimentos que deberían llegar aguas abajo para añadir nutrientes al río, En consecuencia, de eso, se observa una gran disminución de peces [23].

La sedimentación no es el único problema que presenta la migración de peces, la formación del embalse permite la proliferación de especies de ambientes lenticos, y así mismo, reduce la abundancia de especies típicas de río. Así entonces el desplazamiento aguas abajo de la presa y la posible reducción en la influencia del río Cauca sobre las ciénagas localizadas aguas abajo de la presa, debido a la probable socavación del lecho del río, llevará a la pérdida de ambientes apropiados para la crianza de especies migratorias y, por ende, a la reducción en su abundancia en la cuenca baja del río Cauca.

La interrupción en el eje longitudinal de la cuenca debido a la construcción de la presa elimina la posibilidad de entrada de nuevos individuos de especies migratorias que se aproximan desde la cuenca baja a las asociaciones de especies que se encuentran en las cuencas alta y media dado que el embalse no presenta condiciones apropiadas para su crianza.

La reducción en el tamaño de las poblaciones de las especies migratorias y el incremento de la abundancia de otras, modificará la estructura actual de la asociación de especies de peces en la cuenca alta, media y baja del Río Cauca.

De igual forma las posibles descargas de aguas del fondo del embalse, poco frecuentes en la operación de la central, causarán deterioro en la calidad del río aguas abajo. Esto puede ocasionar altas mortalidades de peces, especialmente si esta descarga se desarrolla durante los estiajes [19].

Pérdida y disminución de la cobertura vegetal

En el área de estudio se presentan principalmente dos zonas características de vegetación, Bosque Húmedo Tropical y Bosque Seco Tropical donde se evidencian coberturas vegetales que conforman sucesiones tempranas como consecuencia de perturbaciones de distinto origen como lo son la alteración a la dinámica de los drenajes, los cuales sirven como fuente abastecedora de agua, duración y cambios en los usos del suelo, las cuales se ven afectadas por la gran incidencia de los sedimentos evaluados en esta zona, dando origen a la pérdida masiva de vegetación, por ende a la erosión del suelo [1].

La disminución de la cobertura vegetal, es un impacto primordial, debido a su irreversibilidad y a los efectos secundarios que desencadena su pérdida sobre recursos como la fauna terrestre a causa de la intervención en sus hábitats y a la fragmentación de sus ecosistemas, en conexión con lo anterior; trae impactos como la alteración de las comunidades hidrobiológicas, en términos de pérdida de variedad y la abundancia ictiológica y la alteración en las dinámicas reproductivas de algunas comunidades de peces, además de esto, se debe tener en cuenta que incide en aspectos como la regulación del recurso hídrico, por lo cual también afectaría este cuerpo de agua de una u otra forma [1].

A su vez, existen más afectaciones a la cobertura vegetal por la ejecución de obras principales y el llenado del embalse que intervendrán las coberturas del Área de Influencia Directa del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, las coberturas más afectadas son los bosques secundarios por lo cual habrá disminución en el tamaño de los parches y se alterarán las poblaciones de las especies vegetales. por otro lado, los servicios ambientales que generan estas coberturas vegetales en la zona se verán afectados debido a la alteración dinámica de los drenajes, algunos de los cuales funcionan como fuentes abastecedoras de agua, se presentará erosión y pérdida de los suelos y se perderán áreas que funcionan como sumideros de CO₂ [19].

La eliminación de coberturas vegetales en las áreas puntuales de obras y el embalse puede en cierta medida producir cambios en las coberturas vegetales

cercanas debido a los efectos de la fragmentación donde se interrumpen el flujo genético entre los parches de vegetación, condición que generará cambios en la estructura y composición de las coberturas vegetales [19].

5.2.4. MEDIO SOCIAL

Cambio en las actividades pesqueras

De acuerdo a lo registrado en las licencias ambientales, el componente social es aquel sobre el cual recae la mayor presión desde la etapa de pre construcción. Esto se debe a los impactos que traen sobre las actividades productivas de la zona como lo son la (pesquera, agropecuaria, minera), cambiando las dinámicas poblacionales, trayendo presión migratoria, desplazamiento y reasentamiento y deterioro en la calidad el agua que se refleja en la afectación a la economía familiar, entre otros [24].

En este punto del proyecto la población pesquera ya se encuentra afectada debido a factores antrópicos y al deterioro generalizado de ecosistema del río Cauca por la contaminación, sedimentación de las ciénagas y sobrepesca, lo que se manifiesta especialmente en una amplia disminución en las capturas de especies comerciales. La construcción de la presa abarca un gran impedimento para las poblaciones que se reproducen aguas arriba, las cuales no podrán alcanzar la madurez sexual y sin reproducción, no habrá reclutamiento de nuevos ejemplares lo cual se refleja en la disminución de la población de peces en el río. El impacto se dará tanto aguas abajo como aguas arriba, afectando a las personas que se dedican a la pesca, ya sea comercial o de consumo [1].

A su vez, Hidroituango está presentando procesos de contaminación aguas abajo que dificultan la subienda, es decir, la época del año donde los peces abundan aún más, aunque a este aspecto se le añade la gran contaminación del río, sin embargo y estos no han desaparecido totalmente de las aguas del Río Cauca. Son otros los problemas que acarrearán con la disminución y erradicación de la pesca, por lo cual en la zona aguas abajo, pese a esto la disminución es precisamente por la prohibición, la privatización del río, que impide que esta actividad económica siga desarrollándose [25].

5.3. CUANTIFICACIÓN DE IMPACTOS

A continuación, se presentan los impactos a cuantificar para los recursos afectados.

Tabla 7 Impactos a cuantificar

DIMENSIÓN	IMPACTO A CUANTIFICAR	INFORMACIÓN DISPONIBLE	INF. CUANTIFICABLE
FÍSICA	Modificación de la calidad del suelo	A partir del Manual de Valores de Hidroituango se pudo identificar que los cultivos representativos son cultivos de café y maíz. Así mismo y gracias a la topografía del terreno se logra identificar las ha cultivadas en la zona de estudio [30].	8 ha
BIOTICA	Cambio de la abundancia de las especies que conforman la comunidad de peces	En el estudio de impacto ambiental, se identificaron las 3 especies con más presencia en el río. [19]	3 especies de peces
	Pérdida y disminución de cobertura vegetal	A partir de los shapes de cobertura vegetal se indicó cuantas hectáreas de bosque se ven afectados aguas abajo del Proyecto.	Mínimo 68 ha
			Estándar 51 ha
			Máximo 183 ha
SOCIAL	Cambio en las actividades pesqueras	A partir de Estudio de Impacto Ambiental se logra identificar las familias afectadas por la disminución de actividad pesquera en el proyecto aguas abajo de la CHI [19].	60 Familias

Fuente: Autores

5.4. FASE III: VALORACIÓN ECONÓMICA DE IMPACTOS

5.4.1. SELECCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE VALORACIÓN

Se realizó la selección de la metodología para cada impacto identificado utilizando información secundaria, la cual es tomada de diferentes bases de datos, como Scopus, ScienceDirect, Google académico y entidades del estado. A continuación, se hace la valoración económica para cada impacto con la metodología cambio de productividad, ajustando el valor económico de estas para el año 2019.

5.4.2. MODIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO

La metodología desarrollada para este impacto es el cambio de productividad método que tiene como finalidad evaluar el valor de un bien ambiental cuando su función de producción se ve afectada, la pérdida de este valor puede medirse según el cambio de productividad a partir de su degradación [26].

Es claro que la erosión juega un papel importante al servicio ecosistémico y por ende debe valorarse respectivamente, esta alternativa consiste en evaluar económicamente el efecto que tiene la modificación de la calidad del suelo (erosión) en la productividad agrícola de los cultivos más representativos de la zona de influencia.

Para la implementación de esta metodología debe tenerse en cuenta el tipo de cultivo y cuántas hectáreas se cosechan en la zona de estudio, el valor comercial de un kilo de maíz y la mano de obra del agricultor.

Al tener en cuenta lo anterior, se realizó la búsqueda de información secundaria, en donde al momento de la revisión se encontraron distintos estudios donde se podía recolectar dicha información, los cuales son, Manual de Valores de Hidroituango, el Expediente LAM 2233 de la Central Hidroeléctrica Ituango, Manual de cultivos.

Cultivos de maíz

Antioquia es el segundo productor de maíz blanco del país, sin embargo, ocupa el octavo puesto como productor de maíz amarillo, lo cual puede observarse en la siguiente tabla extraída del manual de cultivos de maíz.

Tabla 8 Producción por departamento de maíz blanco

Maíz blanco	Área sembrada 2012 A	Área sembrada 2012 B
Córdoba	25,800	14,000
Antioquia	17,950	17,691
Tolima	17,710	16,161
Cesar - Norte	6,425	11,780
Bolívar	5,785	11,755
Cundinamarca	8,970	7,300
Meta	11,200	3,327
Huila	6,030	6,650
Sucre	8,303	2,200
Cesar - Sur	5,700	4,150
Vale de Cauca	4,978	4,535
Guajira	2,560	5,130
Santander	2,000	2,650
Eje Cafetero	2,168	2,180
Nariño	495	3,469
Atlántico	1,045	2,370
Cauca	503	480
Total	127,622	115,828

Fuente: [27]

El mayor número de cultivos en Antioquia se encuentran en pequeñas áreas de minifundio, con siembras tradicionales que no emplean semillas mejoradas, ni técnicas de manejo integrado del cultivo. Entre los factores principales que influyen en la producción de maíz están el clima y el suelo. Sin embargo, Algunos de los agricultores no utilizan fertilizantes, no más adicionan materia orgánica semi descompuesta en el momento de la siembra. Antioquia cuenta con el 8,6% del maíz sembrado en el país, es decir, 46.455 ha, de las cuales 33.740 ha son de maíz blanco y 12.716 de amarillo [27].

Por otra parte, los nutrientes que tiene mayor importancia en la producción de maíz son Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Azufre, Magnesio, Boro y Zinc, No obstante, vale aclarar la que deficiencia de cualquiera de estos elementos necesarios para el cultivo, afectará la producción.

Tabla 9 Niveles de extracción de nutrientes por tonelada de grano de maíz producida en Antioquia

Municipio	TASAS DE EXTRACCIÓN							
	kg. nutriente. T.Maíz producida ⁻¹					g. nutriente. T Maíz producida ⁻¹		
	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Azufre	Magnesio	Zinc	Boro	Hierro
Concordia	15,6	4,2	11,4		1,4	63	25	146
Sopetrán 07A	27,5	3,7	15,4	1,0	2,8	53	32	169
Sopetrán 07B	24,6	3,3	16,4	1,5	2,2	59	34	172

Fuente: [27]

A partir del Manual de Valores de Hidroituango se pudo identificar que la cosecha de maíz se siembra dos veces al año, así mismo, que los tamaños de cultivos de maíz son inferiores a 1/4 de hectárea por cosecha. Por otro lado, se tiene en cuenta también uno de los estudios que hizo Agronet (La red de información y comunicación del sector agropecuario colombiano) en donde se identifica el área sembrada de maíz en toda Antioquia siendo de 32.292 ha y un área cosechada de 31.214 ha.

Tabla 10 Principales cultivos por área sembrada

Cultivo	Área Sembrada (ha)		Variación (%)	Participación (%)	Área Cosechada (ha)		Variación (%)	Participación (%)
	2013	2014			2013	2014		
TOTAL	435.115	427.491	- 1,8	100,0	376.091	374.747	-0,4	100,0
Café	137.126	130.939	-4,5	30,6	109.756	110.116	0,3	29,4
Plátano	60.688	62.104	2,3	14,5	56.266	57.993	3,1	15,5
Caña Panelera	39.542	39.116	-1,1	9,2	38.300	37.211	-2,8	9,9
Banano	38.987	37.492	-3,8	8,8	38.607	37.173	-3,7	9,9
Maíz Tradicional	34.003	32.292	-5,0	7,6	32.542	31.214	-4,1	8,3
Cacao	18.822	19.737	4,9	4,6	13.782	14.889	8,0	4,0
Frijol	15.701	15.271	-2,7	3,6	14.976	14.316	-4,4	3,8
Arroz Secano Manual	13.342	14.781	10,8	3,5	13.221	13.550	2,5	3,6
Caucho	8.950	9.531	6,5	2,2	1.503	2.663	77,2	0,7
Papa	9.984	9.083	-9,0	2,1	10.015	8.836	-11,8	2,4
Otros Cultivos	57.971	57.144	-1,4	13,4	47.125	46.786	-0,7	12,5

Fuente: [28]

En la zona de estudio los cultivos cuentan con un área de 8 hectáreas la cual fue tomada gracias a la topografía y un shape en el que se midió las hectáreas de cultivos que están ubicados cerca de la zona de influencia.

Así mismo, se identificó el valor comercial de un kilo de maíz a precio de 2019 para todos los tipos de maíz, sin embargo, el tipo de maíz más representativo en la zona es el maíz blanco retrillado que tiene un costo por kilo de 1600 COP.

Tabla 11 Valor kilo de maíz

TIPO DE MAÍZ	UNIDADES	PESOS	USD	EUR
MAÍZ CASCARA AMARILLO	Kg	1000	0,324	0,283
MAÍZ AMARILLO RETRILLADO	Kg	1350	0,437	0,382
MAÍZ BLANCO RETRILLADO	Kg	1600	0,518	0,453
MAÍZ CASCARA AMARILLO IMPORTADO	Kg	1000	0,324	0,283
MAÍZ CASCARA BLANCO	Kg	1100	0,356	0,311

Fuente: [29]

Posteriormente, se realizó la búsqueda del costo de mano de obra hacia los agricultores, así entonces a partir del Manual de Valores Hidroituango se identificaron, los ingresos mensuales según oficio en donde se evidencia el salario mensual a los agricultores que es de \$800.000, Sin embargo, la información encontrada corresponde al año 2010, para lo cual se tuvo en cuenta que cada año se debe actualizar con base al incremento del salario mínimo legal vigente. Para lo cual se elaboró la siguiente tabla en donde se tuvo en cuenta en incremento salarial de cada año hasta el año actual 2019 [30].

Tabla 12 Salario mensual agricultor

AÑO	SALARIO MENSUAL AGRICULTOR	INCREMENTO SALARIO MÍNIMO
2010	\$ 800.000.00	
2011	\$ 832.000.00	4%
2012	\$ 880.256.00	5.80%
2013	\$ 915.642.29	4.02%

2014	\$	961.424.41	5%
2015	\$	1.005.649.93	4.60%
2016	\$	1.076.045.42	7%
2017	\$	1.151.368.60	7%
2018	\$	1.219.299.35	5.90%
2019	\$	1.292.457.31	6%

Fuente: Autores

Luego de tener la información específica para el desarrollo de la metodología se procede a valorar económicamente el impacto teniendo en cuenta cuántas toneladas o kilogramos producen 8 ha de maíz al año y el valor comercial del maíz, para lo cual se realizó una regla de tres teniendo en cuenta

$$1 \text{ Ha de maíz} \rightarrow 3,71 \text{ Ton/año}$$

$$8 \text{ Ha} \rightarrow X$$

$$X = 29.68 \text{ Ton/Año}$$

$$X = 29680 \text{ Kg/Año [31]}$$

Así entonces, se realiza una multiplicación de la producción de las 8 hectáreas de maíz al año por el valor comercial del maíz

$$29680 \text{ Kg/Año} * 1600 \text{ Pesos}$$

$$47'488.000 \text{ Pesos/Año}$$

Seguido a esto se cuenta con la cantidad de trabajadores que se necesita para las 8 hectáreas de maíz, en donde se evidencia que para 1 hectárea de maíz se necesitan 4 trabajadores, es decir que para 8 hectáreas se necesitan alrededor de 32 trabajadores [32]. Se realiza entonces la multiplicación de los 32 trabajadores por el salario mensual del trabajador.

$$32 \text{ Trabajadores} * 1'292.457 \text{ Pesos}$$

$$41'358.624 \text{ Pesos}$$

Por último, se obtiene información sobre el valor de 8 hectáreas de terreno en Antioquia con un costo de \$280'000.000 [33].

Tabla 13 Valor del impacto de modificación de la calidad del suelo

ACTIVIDAD	VALOR PROYECTADO
Hectáreas de maíz	\$ 47.488.000.00
Trabajadores	\$ 41.358.624.00
Terreno	\$ 280.000.000.00
Total	\$ 368.846.624.00

Fuente: Autores

A partir de la tabla anterior, se evidenció el costo que trae el Proyecto Hidroituango hacia el impacto sobre la modificación de la calidad del suelo, el cual refleja un valor de \$368'846.624, valor que se relaciona a las hectáreas de maíz producidas y su valor comercial, a la cantidad de trabajadores y su salario mensual y al valor del terreno del área influenciada, cabe resaltar que este impacto se tomó hacia el cultivo de maíz por ser el más representativo de la zona.

5.4.3. CAMBIO DE LA ABUNDANCIA DE LAS ESPECIES QUE CONFORMAN LA COMUNIDAD DE PECES.

A partir de la caracterización biótica del estudio de impacto ambiental se pudo determinar las especies capturadas en el área de la cola del embalse, exactamente, en el tramo de la zona de estudio, lo cual puede observarse en la siguiente tabla.

Tabla 14 Número de individuos, abundancia relativa y biomasa de las especies icticas capturadas en la área de la cola del embalse

Especie	Número de individuos	Abundancia relativa (%)	Biomasa total (g)	% de Biomasa	Biomasa media	CV Biomasa	Talla media	CV talla
Brycon henni	9	60,00	260,28	93,52	28,92	0,70	98,09	0,21
Cetopsorhamdia nasus	1	6,67	7,52	2,70	7,52	0,00	74,70	0,00
Chaetostoma leucomelas	5	33,33	10,5	3,77	2,10	0,16	37,78	0,06
Total	15		278,3					

Fuente: [34]

De igual forma se considera el valor comercial para cada una de estas especies gracias a un estudio de investigación del DANE y a la Guía Ilustrada de Peces del Cañón del Río Porce de Antioquia el cual nos sirvió para identificar el nombre común de cada especie, que puede verse en la siguiente tabla [35].

Tabla 15 Valor comercial de especies

ESPECIE	Brycon Henni	Cetopsorhamdia Nasus	Chaetostoma Leucomelas
NOMBRE COMÚN	Sabaleta	Cucha	Bagre
PRECIO (\$/Kg)	\$ 7.767	\$ 8.000	\$ 12.900

Fuente: [36]

Posterior a tener la información requerida, se realiza el método de cambio de productividad evidenciado en la siguiente tabla donde se multiplica la biomasa de cada especie por el valor comercial de esta.

Tabla 16 Valor del impacto en el cambio de la abundancia de peces

ESPECIE	BIOMASA (g)	BIOMASA (Kg)	ABUNDANCIA RELATIVA	PECES/M2	PRECIO (\$/Kg)	TOTAL
Brycon Henni	28.92	0.029	60%	1128000	\$ 7.767.00	\$ 253.373.209.92
Cetopsorhamdia Nasus	7.52	0.008	6.67%	125396	\$ 8.000.00	\$ 7.543.823.36
Chaetostoma Leucomelas	2.1	0.002	33.33%	626604	\$ 12.900.00	\$ 16.974.702.36
						\$ 277.891.735.64

Fuente: Autoras

5.4.4. PÉRDIDA Y DISMINUCIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL

Para la posterior valoración de este impacto se tienen en cuenta los servicios ecosistémicos relacionados a la cobertura vegetal, a continuación, se muestran los principales servicios ecosistémicos

Tabla 17 Identificación de servicios ecosistémicos

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS		
TIPO	SERVICIO	DESCRIPCIÓN
De aprovisionamiento	Retención Hídrica	Determinar cuanta escorrentía se da en el área de influencia.
	Madera	Establecer volumen y valor comercial de los bosques maderables.
De regulación	Regulación climática (Captura de Carbono)	Identificar cuánto carbono captura el bosque.
De apoyo	Ciclaje de nutrientes	Determinar según el tipo de suelo cuales son los principales nutrientes y buscar su valor comercial de cada uno.

Fuente: Autores

Retención Hídrica

El servicio de regulación hídrica se establece la importancia de conservar en buen estado las coberturas naturales sobrantes que se encuentran en el área del proyecto, fundamentalmente las que se encuentran en zonas de pendientes

y cerca de cuerpos de agua, lo que predomina la permeabilidad de los bosques para absorber agua lluvia, la cual es más alta y más rápida en bosques que en suelos con otro tipo de usos.

A partir de la información suministrada por la gobernación de Antioquia se identifica que la zona de estudio presenta una escorrentía media de 1387.9 mm/año.

La probabilidad de días mojados en Ituango varía considerablemente durante el año. La temporada más mojada dura 8,4 meses, de 1 de abril a 14 de diciembre, con una probabilidad máxima de un día mojado es del 83 % [37].

A partir de información del Ideam se obtiene la precipitación media anual en Ituango, la cual hace referencia a los 1865.2 mm. Así mismo, se observa que Ituango presenta una escorrentía media de 1387.9 mm, se tiene en cuenta que nuestra zona de estudio para el escenario máximo se abarcan 183 ha por lo cual su escorrentía anual en medida de volumen es de $2.539.857 \text{ m}^3$, el escenario estándar abarca 51 ha con un volumen de 707.829 m^3 y para el escenario mínimo se tienen 68 ha con un volumen de 953.772 m^3 lo cual se evidencia en las siguientes tablas donde también se estipula el valor comercial del agua no tratada a un precio de $2.885 \text{ \$/m}^3$.

Tabla 18 Valor servicio ecosistémico de retención hídrica escenario máximo

Escorrentía (mm)	Escorrentía (L/m^2)	Área (m^2)	Escorrentía (L/m^2) * Área	Volumen (L)	Volumen (m^3)
1387,9	1387,10	1.830.000	2.539.393.000	2.538.393.000	2.538.393
Precio agua no tratada ($\text{\$/m}^3$)		Volumen (m^3)/año	Agua no tratada * Volumen	Precio Agua no tratada ($\text{\$/año}$)	
\$ 2.885.00		2.538.393	\$ 7.323.263.805.00	\$ 7.323.263.805.00	

Fuente: Autores

Tabla 19 Valor servicio ecosistémico de retención hídrica escenario estándar

Escorrentía (mm)	Escorrentía (L/m^2)	Área (m^2)	Escorrentía (L/m^2) * Área	Volumen (L)	Volumen (m^3)
1387,9	1387,9	510.000	707.829.000	707.829.000	707.829
Precio agua no tratada ($\text{\$/m}^3$)		Volumen (m^3)/año	Agua no tratada * Volumen	Precio Agua no tratada ($\text{\$/año}$)	
\$ 2.885.00		707.829	\$ 2.042.086.665.00	\$ 2.042.086.665.00	

Fuente: Autores

Tabla 20 Valor servicio ecosistémico de retención hídrica escenario mínimo

Escorrentía (mm)	Escorrentía (L/m ²)	Área (m ²)	Escorrentía (L/m ²) * Área	Volumen (L)	Volumen (m ³)
1387,9	1387,9	680.000	943.772.000	943.772.000	943.772
Precio agua no tratada (\$/m ³)		Volumen (m ³)/año)	Agua no tratada * Volumen	Precio Agua no tratada (\$/año)	
\$ 2.885.00		943.772	\$ 2.722.782.220.00	\$ 2.722.782.220.00	

Fuente: Autores

Con respecto a las tablas anteriores, se puede observar el costo que trae el Proyecto Hidroituango sobre el impacto en la disminución de la cobertura vegetal en cuanto al servicio ecosistémico de retención hídrica, en el cual se evidencian los costos hacia los 3 escenarios de simulación, siendo el escenario máximo aquel con un mayor costo para este servicio de \$7.337.487.445, cabe resaltar que los otros dos escenarios reflejan un valor de \$2.751.362.220 para el escenario mínimo y \$2.042.086.655 para el escenario estándar.

Madera

Los bosques más importantes en el área de estudio están representados por el bosque tropical seco y bosque tropical húmedo, en este contexto, se establece que es necesario desarrollar métodos de análisis económico que permitan cuantificar y valorar los bosques.

Según el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) los economistas y los tomadores de decisión consideran oportuno el valor de los bosques con respecto a sus usos directos, ya sean las materias primas que proporcionan (maderas, leña, carbón, entre otros). Vale resaltar que para estos bienes y servicios se encuentran mercados y actividades comerciales. Para esta metodología, se considera el volumen de madera útil para estacón, es decir, el volumen comercial y el volumen de madera para leña, que corresponde al volumen remanente, donde, se tiene el Volumen total menos el Volumen comercial en unidades de (m³/ha), todo esto tomado del EIA.

Por otro lado, Se consideraron los precios actuales de madera en pie para estacón con un valor de \$35.000 (pesos/m³) y de madera en pie para leña de \$5.000 (pesos/m³). Estos valores se tuvieron en cuenta en el momento de valorar este servicio en las dos zonas de vida [19].

Se estimó un valor total para cada uno de los escenarios en cuanto al área que cada uno de estos abarca, es decir, para un escenario mínimo con un área de 68 ha el valor total es de \$405.327.600 de pesos, para un escenario estándar con un área de 51 ha el valor total es de \$303.995.700 de pesos y por último

para un escenario máximo con un área de 183 ha el valor total es de \$1.090.808.100 de pesos, lo cual puede evidenciarse en las siguientes tablas.

Tabla 21 Valor total de la madera para un escenario mínimo

Cobertura	Vt (m ³ /ha)	Vc (m ³ /ha)	VL (m ³ /ha)	Área (ha)	Estación (pesos)	Leña (Pesos)	Valor total
B.T.H							
B.SEC	220.87	125.51	95.36	68	\$298.713.800	\$32.422.400	\$331.136.200
B.T.S							
B.SEC	112.67	17.59	95.08	68	\$41.864.200	\$32.327.200	\$74.191.400
TOTAL							\$405.327.600

Fuente: Autores con información del EIA

Tabla 22 Valor total de la madera para un escenario estándar

Cobertura	Vt (m ³ /ha)	Vc (m ³ /ha)	VL (m ³ /ha)	Área (ha)	Estación (pesos)	Leña (Pesos)	Valor total (Pesos)
B.T.H							
B.SEC	220.87	125.51	95.36	51	\$224.035.350	\$24.316.800	\$248.352.150
B.T.S							
B.SEC	112.67	17.59	95.08	51	\$31.398.150	\$24.245.400	\$55.643.550
TOTAL							\$303.995.700

Fuente: Autores con información del EIA

Tabla 23 Valor total de la madera para un escenario máximo

Cobertura	Vt (m ³ /ha)	Vc (m ³ /ha)	VL (m ³ /ha)	Área (ha)	Estación (pesos)	Leña (Pesos)	Valor total (Pesos)
B.T.H							
B.SEC	220.87	125.51	95.36	183	\$803.891.550	\$87.254.400	\$891.145.950
B.T.S							
B.SEC	112.67	17.59	95.08	183	\$112.663.950	\$86.998.200	\$199.662.150
TOTAL							\$1.090.808.100

Fuente: Autores con información del EIA

Captura de Carbono

Las existencias de carbono orgánico presente en los suelos naturales representan un balance dinámico entre la absorción de material vegetal muerto

y la pérdida por descomposición (mineralización). Para el servicio de captura de carbono se evidencia como en grandes parches de bosques se concentran valores medios y altos en lugares específicos como el Parque Nacional Natural Paramillo en Ituango, zonas en el municipio de Peque y un área de cobertura natural (bosque denso) en el municipio de Valdivia, en consecuencia con el servicio de regulación climática que opera a escala ecológica global es claro como las áreas naturales cumplen un papel en el almacenamiento de Carbono importante, establecidas principalmente por bosques tropicales, los cuales retienen y acumulan más carbono que otro ecosistema terrestre [38].

A partir de un estudio realizado por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, se identificó la cantidad de carbono por municipio mostrada en la siguiente tabla.

Tabla 24 Cantidad de reservas de carbono y valor económico para el área de estudio, por municipio

Municipio	Área (ha)	% Área	Carbono (Ton)	% Carbono	CO2e (Ton)	U\$ Dólar CO2e	Millones Pesos CO2e
BRICEÑO	17,798.94	5%	1,555,048.36	5%	5,707,027.49	1,836,514.62	5,325.9
BURITICÁ	15,838.38	5%	1,420,613.62	5%	5,213,651.98	1,459,822.55	4,233.5
ITUANGO	179,229.42	52%	17,539,612.70	57%	64,370,378.62	23,116,940.15	67,039.1
LIBORINA	6,387.03	2%	462,953.42	2%	1,699,039.06	475,730.94	1,379.6
OLAYA	1,934.64	1%	138,400.73	0%	507,930.67	142,220.59	412.4
PEQUE	28,523.70	8%	2,240,407.01	7%	8,222,293.74	2,518,778.17	7,304.5
SABANALARGA	11,375.46	3%	866,227.01	3%	3,179,053.12	890,134.87	2,581.4
SAN ANDRÉS	8,815.23	3%	661,074.35	2%	2,426,142.86	679,320.00	1,970.0
SANTA FE DE ANTIOQUIA	23,541.66	7%	1,651,591.28	5%	6,061,340.01	1,697,175.20	4,921.8
TOLEDO	3,148.65	1%	248,216.04	1%	910,952.87	255,066.80	739.7
VALDIVIA	30,594.24	9%	2,248,132.62	7%	8,250,646.70	2,948,725.17	8,551.3
YARUMAL	19,369.53	6%	1,743,301.17	6%	6,397,915.28	1,816,989.56	5,269.3
Total general	346,556.88	100%	30,775,578.31	100%	112,946,372.39	37,837,418.62	109,728.5

Fuente: [38]

Para saber cuánto carbono se captura en 183 ha de bosque para el escenario máximo, se realiza una operación sencilla teniendo en cuenta el valor económico de carbono total capturado en las 179.229 hectáreas de Ituango.

$$179.229 \text{ ha} \rightarrow 67.039.000.000 \text{ Co}_2\text{e}$$

$$183 \text{ ha} \rightarrow X$$

$$X = 68.449.508 \text{ Pesos}$$

Lo anterior se realiza para los 3 escenarios de simulación, debido a que el área que abarca la mancha de inundación no es la misma para los tres escenarios, lo cual puede observarse en la siguiente tabla.

Tabla 25 Valor servicio ecosistémico captura de carbono en los tres escenarios

ESCENARIOS	ÁREA (ha)	VALOR SERVICIO ECOSISTÉMICO
Mínimo	68 ha	\$ 25.434.790.00
Estándar	51 ha	\$ 19.076.092.00
Máximo	183 ha	\$ 68.449.508.00

Fuente: Autores

Con respecto a las tablas anteriores, se puede observar el costo que trae el Proyecto Hidroituango sobre el impacto en la disminución de la cobertura vegetal en cuanto al servicio ecosistémico de captura de carbono, en el cual se evidencian los costos hacia los 3 escenarios de simulación, siendo el escenario máximo aquel con un mayor costo para este servicio de \$68.449.508, cabe resaltar que los otros dos escenarios reflejan un valor de \$25.434.790 para el escenario mínimo y \$19.076.092 para el escenario estándar.

Ciclaje de nutrientes

Los suelos en esta zona son profundos a superficiales, limitados por factores físicos y químicos. La fertilidad está entre baja a moderada, reacción fuerte a ligeramente ácida, muy alta a baja la capacidad de intercambio catiónico [39].

Los principales macronutrientes del suelo en esta área son los mismos vistos en los cultivos de maíz ya que el suelo evidentemente es el mismo en esta zona, por ende, los principales son [40]:

- Nitrógeno
- Fósforo
- Potasio
- Magnesio

Se toman valores de concentración de cada nutriente teniendo en cuenta los tipos de bosque presentados en el sitio de estudio, la cobertura que se escogió tuvo en cuenta bosques tropicales húmedos ya que este comprende igualmente vegetación secundaria [20].

Por ende, se encontraron valores de concentración para cada nutriente en cada uno de los horizontes, sin embargo, el horizonte que se tiene en cuenta es el A identificado en la siguiente tabla.

Tabla 26 Contenido de nutrientes en suelos de bosques tropicales húmedos

Fuentes de variación y variables dependientes	Horizonte O		Horizonte O incubado		Horizonte A		Horizonte C	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Factor principal: sitio	24,7	< 0,001	25,4	< 0,001	5,8	0,01	7,1	0,001
Nitrógeno (kg/ha)	6,0	0,01	53,6	< 0,001	2,1	0,16	0,7	0,50
Fosforo (kg/ha)	2,9	0,09	3,1	0,08	2,5	0,12	6,8	0,01
Potasio (kg/ha)	3,5	0,06	28,4	< 0,001	12,7	0,001	11,3	0,001
Magnesio (kg/ha)	7,9	0,01	17,7	< 0,001	5,1	0,02	6,2	0,01
Materia orgánica (t/ha)	25,2	< 0,001	59,9	< 0,001	4,1	0,04	12,3	0,001
Relación C/N	131,3	< 0,001	11,5	0,001	35,4	< 0,001	22,9	< 0,001

Fuente: [41]

Por otro lado, se tuvo en cuenta el valor comercial de cada uno de estos macronutrientes gracias a un estudio de nutrientes, lo cual puede verse en la siguiente tabla.

Tabla 27 Valor comercial de nutrientes

NUTRIENTES	COSTO (\$/Kg)
N	\$ 3.226.00

P	\$ 6.249.00
K	\$ 2.592.00
Mg	\$ 7.122.00

Fuente: [42]

Posteriormente se estima la pérdida de nutrientes para cada uno de los escenarios y se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 28 Valor de nutrientes para escenario mínimo

VALOR TOTAL NUTRIENTES (\$/Kg)					TOTAL
NUTRIENTES	N	P	K	Mg	
ÁREA (ha)	68	68	68	68	
CANTIDAD(Kg/ha)	2	3	13	5	
PRECIO (\$)	\$ 3.226.00	\$ 6.249.00	\$ 2.592.00	\$ 7.122.00	
TOTAL	\$ 460.672.80	\$ 1.062.330.00	\$ 2.238.451.20	\$ 2.469.909.60	\$ 6.231.363

Fuente: Autores

VALOR TOTAL NUTRIENTES (\$/Kg)					TOTAL
NUTRIENTES	N	P	K	Mg	
ÁREA (ha)	51	51	51	51	
CANTIDAD (Kg/ha)	2	3	13	5	

PRECIO (\$)	\$ 3.226.00	\$ 6.249.00	\$ 2.592.00	\$ 7.122.00	
TOTAL	\$ 345.504.60	\$ 796.747.50	\$ 1.678.838.40	\$ 1.852.432.20	\$ 4.673.522

Tabla 29 Valor de nutrientes para escenario estándar

Fuente: Autores

Tabla 30 Valor de nutrientes para escenario máximo

VALOR TOTAL NUTRIENTES (\$/Kg)					TOTAL
NUTRIENTES	N	P	K	Mg	
ÁREA (ha)	183	183	183	183	
CANTIDAD(Kg/ha)	2	3	13	5	
PRECIO (\$)	\$ 3.226.00	\$ 6.249.00	\$ 2.592.00	\$ 7.122.00	
TOTAL	\$ 1.239.751.80	\$ 2.858.917.50	\$ 6.024.067.20	\$ 6.646.962.60	\$ 16.769.699

Fuente: Autores

A partir de la tabla anterior, se evidenció el costo que trae el Proyecto Hidroituango hacia el impacto sobre la cobertura vegetal en cuanto al servicio ecosistémico de ciclaje de nutrientes el cual refleja un valor para el escenario mínimo de \$6.231.363, para el escenario estándar de \$4.673.522 y para el escenario máximo de \$16.769.699, valor que se relaciona con la cantidad de nutrientes en el suelo y el valor comercial de cada uno de ellos.

5.4.5. CAMBIO EN LAS ACTIVIDADES PESQUERAS

Se determina que la metodología identificada para este impacto es la misma que se da en la modificación de la calidad del suelo, es decir, el cambio de productividad. Este método se asocia con el cambio en el bienestar de las personas, que a través de la valoración de este se adquiere una aproximación del valor del impacto ambiental.

Para el desarrollo de esta metodología se debe tener en cuenta el valor comercial de un kilogramo de pescado, la mano de obra del pescador y/o comerciante de pesca, las familias afectadas por la pérdida de la actividad productiva y la producción de pesca al año. Posterior a esto, se desarrolló la búsqueda de información secundaria, en donde al momento de la revisión se encontraron estudios e informes en los cuales se podía recolectar la información requerida, dentro de estos informes está, Informes de EPM, La contraloría, boletín de acuicultura y la FAO.

Como ya se sabe la sedimentación y otros factores como la construcción y privatización del río generan grandes pérdidas en las actividades pesqueras de la zona, las comunidades aguas abajo pueden enfrentar grandes pérdidas económicas debido a que su mayor ingreso se da por la actividad productiva de la pesca.

Según un informe del boletín de acuicultura la producción en Antioquia para el 2017 es de 6.048 Ton/Año de peces, evidenciando en la siguiente tabla que el departamento con mayor producción de peces es Antioquia.

Tabla 31 Producción piscícola por departamento (toneladas)

DEPARTAMENTO	Año				
	2013	2014	2015	2016	2017
ANTIOQUIA	5.532	5.864	6.216	6.589	6.048
BOYACA	1.588	1.683	1.784	1.891	2.044
CALDAS	185	196	208	220	301
CAQUETÁ	1.238	1.312	1.391	1.474	2.224
CASANARE	2.898	3.072	3.256	3.452	3.535
CAUCA	1.358	1.439	1.526	1.617	2.381
CÓRDOBA	1.573	1.667	1.767	1.873	2.236
CUNDINAMARCA	2.853	3.024	3.206	3.398	3.571
LA GUAJIRA	423	448	475	504	541
HUILA	33.521	43.894	46.528	49.319	55.594
META	12.925	13.124	13.911	14.746	15.101
NARIÑO	1.544	1.637	1.735	1.839	2.585
PUTUMAYO	1.063	1.127	1.194	1.266	1.274
QUINDIO	106	112	119	126	168
SANTANDER	1.238	1.312	1.391	1.474	2.140
RISARALDA	894	948	1.004	1.065	1.142
SUCRE	2.505	2.655	2.815	2.983	3.042
TOLIMA	4.512	4.783	5.070	5.374	6.024
VALLE	2.405	2.549	2.702	2.864	3.318
OTROS	6.065	6.429	6.815	7.224	6.961
TOTAL	84.426	97.277	103.114	109.300	120.230

Fuente: [43]

De igual forma, se identificó el valor comercial de un kilogramo de pescado para todos los tipos de pescado, sin embargo, el tipo de pescado más representativo en la zona es el pescado tilapia que tiene un costo por kilogramo de 15000 COP.

Tabla 32 Valor kilogramo de pescado

TIPOS DE PESCADO	UNIDADES	PESOS	USD	EUR
PESCADO BASA	kg	10000	3.237	2.829
PESCADO BOCACHICO	kg	13000	4.208	3.676
PESCADO MERLUZA	kg	13000	4.208	3.678
PESCADO TILAPIA	kg	15000	4.856	4.243

Fuente: [29]

A partir del EIA (estudio de impacto ambiental) se logró identificar las familias afectadas por la disminución de la actividad productiva de la pesca agua abajo de la CHI, este estudio muestra que existen un total de 161 personas pertenecientes a 60 familias que dependen económicamente de la actividad minera, sin embargo, la actividad de la pesca, se encuentra ligada a la actividad minera, ya que ambas se realizan en el mismo sitio. Prácticamente todas las familias que hacen minería como actividad principal, también desarrollan pesca en el tramo aguas abajo del embalse [19].

El volumen y costo de la actividad productiva de la pesca, obtenida por 60 de las familias que se afectarían por el proyecto se observa en la siguiente tabla.

Tabla 33 Producción pesquera para todas las familias en tramo del embalse

Época de extracción	Un año		Cincuenta años	
	libras	Valor pesca	Libras	Valor pesca
Verano (libras)	25.760	368'960.000	1'288.00	18.448'000.000
Invierno (libras)	860	3'000.000	43.000	150'000.000
Pesca total	26.620	371'960.000	1.331.000	18'598.000.000

Fuente: [19]

Tabla a la cual se le realiza un ajuste de valores, debido a que el valor de pesca que se encuentra allí es para el año 2011, por ende, se busca el IPC histórico

desde el 2011 hasta el 2019 para realizar el respectivo ajuste, lo cual se observa en la siguiente tabla.

Tabla 34 Ajuste de valores de pesca por el IPC

AÑO	PESCA ANUAL	IPC
2011	\$ 371.960.000	
2012	\$ 381.035.824	2%
2013	\$ 388.427.919	1.94%
2014	\$ 402.644.381	3.66%
2015	\$ 429.903.405	6.77%
2016	\$ 454.622.851	5.75%
2017	\$ 473.216.926	4.09%
2018	\$ 488.265.224	3.18%
2019	\$ 503.645.579	3.15%

Fuente: Autores

Seguido a esto, se investigó acerca de la mano de obra del pescador y/o comerciante de pesca, para lo que se evidenció en un informe de la contraloría el ingreso mensual para un trabajador comerciante con un salario de \$772.500, en consecuencia, de esto, la información encontrada corresponde al año 2010, para lo cual se tuvo en cuenta la actualización de cada año con base al incremento del salario mínimo legal vigente. Así entonces se elaboró la siguiente tabla en donde se tuvo en cuenta en incremento salarial de cada año hasta el año actual 2019 [44].

Tabla 35 Salario mensual comerciante

AÑO	SALARIO MENSUAL COMERCIANTE	INCREMENTO SALARIO MINIMO
2010	\$ 772.500.00	
2011	\$ 803.400.00	4%
2012	\$ 849.997.20	5.80%
2013	\$ 884.167.09	4.02%
2014	\$ 928.375.44	5%
2015	\$ 971.080.71	4.60%

2016	\$	1.039.056.36	7%
2017	\$	1.111.790.31	7%
2018	\$	1.177.385.94	5.90%
2019	\$	1.248.029.09	6%

Fuente: Autores

Posteriormente, y ya que se cuenta con la información necesaria para el desarrollo de la metodología el paso a seguir es una multiplicación sencilla teniendo la cantidad de trabajadores en la zona (80 Trabajadores) y su salario mensual.

*80 Trabajadores * 1'248.029 Pesos*

99'842.320 Pesos

Así entonces, se realiza el valor proyectado teniendo en cuenta el valor total de la pesca anual y el valor en pesos de 80 trabajadores de la zona.

Tabla 36 Valor del impacto en el cambio de las actividades pesqueras

ACTIVIDAD	VALOR PROYECTADO
Pesca Anual	\$ 503.645.578.63
Trabajadores	\$ 99.842.320.00
Total	\$ 603.487.898.63

Fuente: Autores

A partir de la tabla anterior, se evidenció el costo que trae el Proyecto Hidroituango hacia el impacto sobre el cambio en las actividades pesqueras, el cual refleja un valor de \$603.487.898, teniendo en cuenta que eso es lo que se pierde al año por la actividad pesquera, cabe resaltar que este valor se relaciona con la pesca total en un año, los trabajadores que viven de esta actividad productiva y el salario mensual del pescador o comerciante, todo esto en el área de influencia del Proyecto Hidroituango.

Por último, se identificó el valor total de todos los impactos teniendo en cuenta cada uno de los escenarios, evidenciando que para el escenario mínimo se tuvo un valor total de \$4.410.002.230, para el escenario estándar un valor total de \$3.620.058.226 y para el escenario máximo se tuvo un valor total de \$9.749.517.369 siendo este el escenario que presenta mayor valor económico en cuanto a la valoración de cada impacto, lo cual se puede observar en las siguientes tablas.

Tabla 37 Valoración económica escenario mínimo, valor total impactos.

ESCENARIO MÍNIMO	
IMPACTO	VALOR
Modificación de la calidad del suelo	\$ 368.846.624.00
Cambio de la abundancia de las especies que conforman la comunidad de peces	\$ 277.891.735.00
Pérdida y disminución de cobertura vegetal	
Retención hídrica	\$ 2.722.782.220.00
Madera	\$ 405.327.600.00
Captura de carbono	\$ 25.434.790.00
Ciclaje de nutrientes	\$ 6.231.363.00
Cambio en las actividades pesqueras	\$ 603.487.898.00
TOTAL	\$ 4.410.002.230.00

Fuente: Autores

Tabla 38 Valoración económica escenario estándar, valor total impactos

ESCENARIO ESTÁNDAR	
IMPACTO	VALOR
Modificación de la calidad del suelo	\$ 368.846.624.00
Cambio de la abundancia de las especies que conforman la comunidad de peces	\$ 277.891.735.00
Pérdida y disminución de cobertura vegetal	
Retención hídrica	\$ 2.042.086.655.00
Madera	\$ 303.995.700.00
Captura de carbono	\$ 19.076.092.00
Ciclaje de nutrientes	\$ 4.673.522.00
Cambio en las actividades pesqueras	\$ 603.487.898.00
TOTAL	\$ 3.620.058.226.00

Fuente: Autores

Tabla 39 Valoración económica escenario máximo, valor total impactos.

ESCENARIO MÁXIMO

IMPACTO	VALOR
Modificación de la calidad del suelo	\$ 368.846.624.00
Cambio de la abundancia de las especies que conforman la comunidad de peces	\$ 277.891.735.00
Pérdida y disminución de cobertura vegetal	
Retención hídrica	\$ 7.323.263.805.00
Madera	\$ 1.090.808.100.00
Captura de carbono	\$ 68.449.508.00
Ciclaje de nutrientes	\$ 16.769.699.00
Cambio en las actividades pesqueras	\$ 603.487.898.00
TOTAL	\$ 9.749.517.369.00

Fuente: Autores

6. ANÁLISIS RESULTADOS

De acuerdo con los escenarios de concentración de sedimentos generados a partir del Software Iber se puede inferir que en los 3 escenarios se genera sedimentación presentando valores en cada escenario de: escenario máximo mayor sedimentación a lo largo del área de influencia en los 7 km aguas abajo del embalse con una extensión de mancha para banca izquierda de 208.12 m y banca derecha de 147.04 m para el primer punto crítico evidenciado en la parte media del río, para el segundo punto crítico evidenciado en la parte baja del río la extensión de banca izquierda es de 144.71 m y banca derecha de 135.04 m.

El escenario estándar presenta menor sedimentación en el área de influencia con una extensión de mancha para banca izquierda de 11.45 m y banca derecha de 47.30 m para el punto crítico evidenciado en la parte alta, cabe resaltar que en este escenario el caudal con el que se realizó la simulación se encontraba en la estación Puente Pescadero aguas arriba de la CHI para el cual aún no existía algún tipo de alteración en su flujo natural.

Por último, para el escenario mínimo se presenta en el área de influencia una extensión de la mancha para banca izquierda de 34.46 m y banca derecha de 66.12 m para el primer punto crítico, para el segundo punto crítico se evidencio una extensión de banca izquierda de 16.2 m y banca derecha de 62.88. Sin embargo, el escenario con mayor concentración de sedimentos se da para un caudal máximo lo cual puede deberse a variables como el flujo máximo de agua, la aglomeración de sedimentos que se presenta aguas abajo del embalse, los problemas de erosión, agradación y aquel material restante del proceso de construcción, es decir, las partículas más pequeñas a las cuales no se le tiene un debido control.

Por lo anterior se establecieron los impactos más significativos que generan estos 3 escenarios de simulación, los cuales van asociados a la modificación en la calidad del suelo, el cambio en la abundancia de peces, la pérdida en la cobertura vegetal y los cambios en las actividades pesqueras, todo esto dado por la generación de sedimentos aguas abajo del embalse.

A partir de la valoración económica realizada para los tres escenarios, se obtuvo como resultado que el impacto con mayor valor económico en cuanto a pérdidas de servicios ecosistémicos en la disminución de cobertura vegetal fue la retención hídrica.

Para los tres escenarios se obtiene un costo en la valoración de este impacto en pesos, con cantidades correspondientes para cada uno de: Escenario mínimo \$2.722.782.220 COP, escenario estándar \$2.042.086.655 COP y para el escenario máximo con un monto más alto de \$7.323.263.805 COP, este impacto causa que en la zona de estudio se afecte los procesos de escorrentía y este propensa a inundaciones o deslizamientos ya que alteraría su estabilidad por la presión que el agua genera sobre el suelo por no poseer una cobertura vegetal que incida a una mayor capacidad de infiltración en está y que ayude a reducir la velocidad del cauce hasta que este vuelva a su estado natural, por ende, es necesario la protección y el mejoramiento de los bosques presentes en la zona de estudio, la creación de áreas protegidas y estrategias de conservación que incluyan el uso sostenible de los diferentes recursos que aporta el bosque.

El segundo factor que se ve afectado significativamente es el cambio de actividades pesqueras ya que muestran un costo en la valoración económica de los tres escenarios de \$603.487.898 COP, este monto es lo que se pierde al año en la actividad de pesca, hay que tener en cuenta que el río Cauca es el segundo río más importante de Colombia para la economía regional y nacional ya que cuenta con una gran diversidad de especies que recorren todo su cauce.

Por otro lado, se realizó la valoración económica para cuatro impactos más, uno de estos es la modificación en la calidad del suelo en donde se afecta la producción agrícola, por esta razón se valoró la producción de maíz blanco ya que es la más significativa en la zona de estudio, dando un costo de \$368.846.624 COP, al alterar la calidad del suelo se refleja un impacto al medio

socioeconómico de la población ya que altera las condiciones químicas de este, lo que lleva a que el cultivo ya no se de en esa zona o que la población busque un nuevo asentamiento y medio productivo .

Otro impacto valorado fue el cambio de la abundancia de especies que conforman la comunidad de peces, dando un costo para las tres especies valoradas de \$277.891.735 COP, este valor da al alterar el río, ya sea por los movimientos de tierra, la remoción a la vegetación y la sedimentación hace que las características de los cuerpos de agua cambien deteriorándolos y ocasionando que estos lleguen a ser inhabilitados para estas especies valoradas, haciendo que exista altas tasas de mortalidad y modificando la estructura actual del río como tal.

Por último, en el impacto de pérdida y disminución de la cobertura, se valoraron tres servicios ecosistémicos aparte de la retención hídrica, entre estos está el servicio de madera dando un costo en la valoración económica para cada escenario de: Escenario mínimo \$405.327.600 COP, escenario estándar \$303.995.700 COP y por último para el escenario máximo de \$1.090.808.100 COP este con un valor más notorio que los otros escenarios evaluados ya que se ven afectadas más áreas de los bosques más representativos como lo son el tropical seco el cual se encuentra en vía de extinción y el bosque tropical húmedo.

El segundo servicio ecosistémico evaluado fue la captura de carbono, con un costo en la valoración económica para el escenario mínimo de \$25.434.790 COP, escenario estándar \$19.076.092 COP y para el escenario máximo de \$68.449.508 COP, los bosques naturales y el carbono del suelo tienden a estar en equilibrio pero al momento en que se lleva a cabo la deforestación (causa de CO_2) o la reforestación, este equilibrio existente se pierde.

Como tercer y último servicio ecosistémico, se tiene el ciclaje de nutrientes, con un costo de valoración económica total para los macronutrientes valorados en cada escenario de: escenario mínimo \$6.231.363 COP, escenario estándar \$4.673.522 COP y escenario máximo \$16.769.699 COP este costo estima la pérdida de nutrientes en nuestra zona de estudio para suelos en bosques tropicales húmedos.

7. IMPACTO SOCIAL

Este trabajo es una de las primeras investigaciones que involucran una simulación de sedimentos haciendo uso del programa IBER, para así dar una respectiva valoración económica a los impactos generados aguas abajo de la central hidroeléctrica Ituango ubicada en el río Cauca.

Por otra parte, este proyecto fomenta el uso de herramientas como lo son los programas de simulación con el uso de conocimiento en hidrología, modelación hidrodinámica y transporte de sedimentos, con el fin de ayudar a los procesos educativos actuales en la elaboración de trabajos investigativos.

Como proyección a futuro se espera que el presente proyecto sirva de fuente de consulta para estudios posteriormente realizados a la temática de valoración económica tenida en cuenta en esta investigación y para estudios futuros con enfoques en simulación de sedimentos en la operación de una Central Hidroeléctrica, permitiendo reforzar la educación a distancia y virtual de múltiples instituciones educativas.

8. CONCLUSIONES

Se utilizó un modelo de elevación digital de 30 para los tres escenarios, el cual presenta errores en la horizontal y en la vertical, dando una inconsistencia en los datos de lámina de agua arrojados al momento de realizar la simulación del modelo hidrodinámico en estos, lo cual se debe a la incertidumbre que genera el modelo de elevación digital.

El modelo hidrodinámico se utilizó únicamente para mirar la mancha de inundación, el modelo utilizado para realizar la valoración económica ambiental fue la simulación de concentración de sedimentos.

El escenario máximo presenta mayor sedimentación a lo largo del área de influencia en los 7 km aguas abajo del embalse con una extensión de mancha para banca izquierda de 208.12 m y banca derecha de 147.04 m para el primer punto crítico evidenciado en la parte media del río, para el segundo punto crítico evidenciado en la parte baja del río la extensión de banca izquierda es de 144.71 m y banca derecha de 135.04 m.

El escenario estándar presenta menor sedimentación en el área de influencia en los 7 km aguas abajo del embalse con una extensión de mancha para banca izquierda de 11.45 m y banca derecha de 47.30 m para el punto crítico evidenciado en la parte alta, cabe resaltar que el caudal con el que se realizó la simulación se encontraba en la estación Puente Pescadero aguas arriba de la CHI para el cual aún no existía algún tipo de alteración por parte del embalse.

La metodología empleada (Cambio de Productividad), permite acercarnos al valor económico de los impactos más significativos dados por la sedimentación en la Central Hidroeléctrica Ituango, evaluando el valor de un bien ambiental cuando este se ve perdido o degradado.

El impacto más significativo teniendo en cuenta los escenarios de simulación se da en la disminución o pérdida de cobertura vegetal en cuanto al servicio ecosistémico de retención hídrica el cual trae un costo para el proyecto en un escenario mínimo de \$2.751.362.220, escenario estándar \$2.042.086.655 y para el escenario máximo con un monto más alto de \$7.323.263.805.

Aguas abajo de la Central Hidroeléctrica Ituango las comunidades pesqueras y la población en sí se ven afectadas en cuanto a sus actividades productivas que requieren de la venta, consumo y comercialización de la pesca.

En cuanto a la valoración económica el escenario máximo con respecto a los otros dos escenarios es el que presenta mayor valor debido a que trae consigo un monto más alto en los impactos ambientales, cabe destacar que esto puede deberse al flujo máximo de agua, es decir, al caudal y a que tiene un área de inundación mayor.

El valor total de todos los impactos con respecto a los 3 escenarios, se da para el escenario mínimo con un valor total de \$4.410.002.230, para el escenario estándar un valor total de \$ 3.620.058.226 y para el escenario máximo se tuvo un valor total de \$9.749.517.369 siendo este el escenario que presenta mayor costo en cuanto a la valoración de cada impacto.

La valoración ambiental se realizó para los servicios ecosistémicos que se consideraban más importantes, teniendo en cuenta sus funciones y su productividad en la parte social, esto se realizó evaluando los impactos anualmente, teniendo en cuenta que el embalse tendrá una vida útil de 50 años

y que estos costos se tendrán que ajustar al cambio de la moneda anualmente, por ende, hay que aclarar que no se evaluaron temas sociales más a fondo como desplazamientos que pueden afectar el estilo de vida de la población haciendo que estas tengan que dejar o cambiar su forma de trabajo u oficio.

En cuanto a los servicios ecosistémicos se observó que el servicio de captura de carbono no es tan significativo con respecto a su valor económico y a los otros servicios que se presentan.

9. RECOMENDACIONES

Se recomienda la realización de batimetrías a lo largo del cauce del río para así determinar la profundidad aproximada de este y poder hacer uso de esos datos para un modelo más preciso.

Se recomienda para futuras investigaciones realizar simulaciones que abarquen el río completamente para poder observar la influencia que se da en todo el trayecto y así poder tener una valoración más aproximada de toda la población.

Si se quiere seguir trabajando en este proyecto, podría llevarse a cabo simulaciones en distintos programas que manejen de una u otra forma las mismas características para así comparar el funcionamiento de las herramientas con respecto a los resultados que se obtengan y/o logren.

Realizar simulaciones de sedimentos ya sea con el programa Iber o con diferentes programas en la zona de la ciénaga para analizar el comportamiento y los impactos que se podrían generar en el agua por la gran cantidad de estos haciendo que el proceso de acumulación y sedimentación sea más notorio.

Para investigaciones futuras, podría hacerse el cálculo de la concentración de sedimentos en los tramos aguas arriba y aguas abajo de la Central Hidroeléctrica Ituango para su posterior comparación dando un valor más acertado de este.

10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN E.S.P, «EXPEDIENTE LAM 2233,» MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, ANTIOQUIA, 2012.
- [2] M. A. Torres y H. Caballero, «Hidroeléctricas y desarrollo local ¿mito o realidad? caso de estudio: Hidroituango,» 31 Agosto 2014. [En línea]. Available: <http://www.bdigital.unal.edu.co/46937/1/45321-236403-2-PB.pdf>. [Último acceso: 04 12 2018].
- [3] G. O. D., Evaluación de impacto ambiental: un instrumento preventivo para la gestión ambiental, Mundiprensa Libros, 2003.
- [4] D. Gómez y J. Posada, «La fuerza hidroeléctrica,» nº 04, p. 88, 2009.
- [5] N. Geographic, «Energía Hidroeléctrica,» 5 Septiembre 2010. [En línea]. Available: <http://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/energia-hidroelectrica>. [Último acceso: 20 Noviembre 2017].
- [6] J. G. Vagras, «Tesis final Ituango,» Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C., 2012.

- [7] E. Montoya, «Impactos sociales y económicos de la hidroeléctrica en Ituango,» Universidad de Medellín, Medellín, 2014.
- [8] R. Martínez, M. Ángeles, D. Torres, J. González, A. Marcano y M. García, «IMPACTO AMBIENTAL CAUSADO POR LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS,» Universidad de Oriente (UDO), Venezuela, 2009.
- [9] M. V. Santana, «Caracterización de Impactos Ambientales y Sociales generados por la construcción de grandes centrales hidroeléctricas en el país,» Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C., 2014.
- [10] H. Manrique, «HIDROELÉCTRICAS E IMPACTO AMBIENTAL,» Hidroeléctricas y ambiente, Santiago de Cali, 2010.
- [11] G. Asendo, «El impacto de la contaminación de las hidroeléctricas y pisciculturas,» 13 Marzo 2014. [En línea]. Available: <http://www.elquintopoder.cl/medio-ambiente/el-impacto-de-la-contaminacion-de-las-hidroelectricas-y-pisciculturas/>. [Último acceso: 20 Noviembre 2017].
- [12] L. C. b. G. C. E. E. J. P. b. E. V. J. D. a. y. A. C. c. E. Bladéa, «Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríosIber — River modelling simulation tool,» Science Direct, vol. 3, nº 1, pp. 1-10, 2014.
- [13] I. e. I. mesa, «evaluación del impacto de los embalses por retención de sedimentos sobre la morfología del cauce del río magdalena mediante el análisis de tramos representativos en el comportamiento sedimentológico entre el embalse de Betania y el municipio de regidor,» universidad de la Salle, p. 165, 2016.
- [14] A. Hernández, «Metodologías para la valoración económica de bienes, servicios ambientales y recursos naturales,» Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, Bogotá D.C., 2003.
- [15] Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, «Valoración Económica - Instrumentos Económicos en la Evaluación de Impacto Ambiental,» [En línea]. Available: <http://www.anla.gov.co/valoracion-economica-instrumentos-economicos-evaluacion-impacto-ambiental>. [Último acceso: 20 Noviembre 2017].
- [16] L. García y A. Colina, «Métodos directos e indirectos en la valoración económica de bienes ambientales. Aplicación al valor de uso recreativo del Parque Natural de Somiedo*,» Estudios de economía aplicada, vol. 22, nº 3, p. 27, 2004.
- [17] G. C. Cerón, Economía aplicada a la valoración de impactos ambientales, Manizales, 2005.
- [18] EPM, «Proyecto Hidroeléctrico Ituango,» EPM, [En línea]. Available: <https://www.epm.com.co/site/Nuestrosproyectos/ProyectoItuango/Generalidades.aspx>. [Último acceso: 20 Noviembre 2017].

- [19] Empresas Públicas de Medellín E.S.P, «ACTUALIZACIÓN DE ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL - EVALUACIÓN AMBIENTAL,» 4 10 2011. [En línea]. Available: <https://www.epm.com.co/site/Portals/0/ACTUALIZACION%20ESTUDIO%20DE%20IMPACTO%20AMBIENTAL-EVALUACION%20AMBIENTAL.pdf>. [Último acceso: 20 12 2018].
- [20] A. P. Cruz, J. Rodríguez Ortiz y J. Aguirre Ceballos, «Guía Ilustrada del Proyecto Hidroeléctrico Ituango – Antioquia,» *EPM*, Vols. %1 de %2l. Geografía, vegetación y flora, nº 18, p. 146, 2016.
- [21] IDEAM, « Transporte de Sedimentos en Ríos Colombianos,» Agosto 1985. [En línea]. Available: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/012546/Transportedesedimentos.pdf>. [Último acceso: 22 12 2018].
- [22] J. Valdez Zertuche, M. Acuña Zepeda y. M. Badii, «Causas e Impactos Socio-Económico y Ambientales de la Erosión,» Abril 2015. [En línea]. Available: [http://www.spentamexico.org/v10-n1/A6.10\(1\)76-87.pdf](http://www.spentamexico.org/v10-n1/A6.10(1)76-87.pdf) . [Último acceso: 20 01 2019].
- [23] P. U. J. Colombia, «Pesquisa Javeriana Hidroituango,» [En línea]. Available: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:cnYoJknY6oEJ:https://www.javeriana.edu.co/pesquisa/tag/hidroituango/+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=co>. [Último acceso: 30 01 2019].
- [24] M. A. V. Santana, «Caracterización de Impactos Ambientales y Sociales generados por la construcción de grandes centrales hidroeléctricas en el país.,» 2014. [En línea]. Available: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/12036/Art%C3%ADculo%20Alejandra%20Viviescas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 28 01 2019].
- [25] D. C. d. Hidroituango, «La Pesca en el Cañón del Río Cauca - Hidroituango y la gran contaminación del río,» 2011. [En línea]. Available: <https://debatehidroituango.blogspot.com/2012/07/la-pesca-en-el-canon-del-rio-cauca.html>. [Último acceso: 01 02 2019].
- [26] C. E. O. Romero, «VALORACIÓN ECONÓMICA DE RECURSOS NATURALES,» [En línea]. Available: http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/difusion/eventos/tasaciones/VALUACION_ECONOMICA_DE_RRNN.pdf. [Último acceso: 05 02 2019].
- [27] Gobernación de Antioquia, «Manual Técnico del Cultivo de Maíz Bajo Buenas Prácticas Agrícolas,» 2015. [En línea]. Available: <https://conectarural.org/sitio/sites/default/files/documentos/MANUAL%20DEL%20CULTIVO%20DE%20%20MAIZ.pdf>. [Último acceso: 08 02 2019].

- [28] Ministerio de Agricultura , «Principales Cultivos por Área Sembrada en el Año 2014,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.agronet.gov.co/Documents/Antioquia.pdf>. [Último acceso: 10 02 2019].
- [29] Central Mayorista de Antioquia, «Lista de Precios frutas, verduras, hortalizas, abarrotes en Medellín y Antioquia,» 10 02 2019. [En línea]. Available: <https://www.lamayorista.com.co/>. [Último acceso: 10 02 2019].
- [30] Empresas Públicas de Medellín E.S.P, «Manual de Valores Unitarios Para el Pago de compensaciones por Actividades Económicas y Productivas,» 10 11 2010. [En línea]. Available: https://www.hidroituango.com.co/documentos/Administrativos/Manuales_politica/Manual_de_valores_Hidroituango_parte_2.pdf. [Último acceso: 11 02 2019].
- [31] Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE, Secretaria Técnica Comercio Exterior. , «Documento Maíz Tecnificado en Colombia,» [En línea]. Available: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/maiz_tecnificado.pdf. [Último acceso: 12 02 2019].
- [32] UNISEM, «Costo de Producción de Maíz en Tierra Venida,» 23 04 2016. [En línea]. Available: <https://semillastodoterreno.com/2016/04/costo-de-produccion-de-maiz-en-tierra-venida>. [Último acceso: 12 02 2019].
- [33] Antioquia, «Precio de Hectárea de Tierra,» [En línea]. Available: <https://antioquia.olx.com.co/q/precio-de-hectarea-de-tierra/c-410>. [Último acceso: 12 02 2019].
- [34] Empresas Públicas de Medellín E.S.P, «ACTUALIZACIÓN ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL – CARACTERIZACIÓN MEDIO BIÓTICO,» *Consorcio Generación Ituango*, p. 337, 2011.
- [35] Empresas Públicas de Medellín E.S.P, «Guía Ilustrada Peces Cañón del Río Porce Antioquia,» [En línea]. Available: <https://docplayer.es/14115133-Guia-ilustrada-peces-canon-del-rio-porce-antioquia.html>. [Último acceso: 14 02 2019].
- [36] DANE, «Boletín Semanal Precios Mayoristas,» [En línea]. Available: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Semana_12abr_16abr_2014.pdf. [Último acceso: 15 02 2019].
- [37] w. spark, «Clima Promedio en Ituango,» [En línea]. Available: <https://es.weatherspark.com/y/22559/Clima-promedio-en-Ituango-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>. [Último acceso: 14 02 2019].
- [38] Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, «VALORACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO VALORACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO

HIDROELÉCTRICO ITUANGO - ANTIOQUIA,» 2017. [En línea]. Available: [http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/34206/Informe](http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/34206/Informe%20t%C3)

%A9cnico%20final_SE_ltuango.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Último acceso: 13 02 2019].

[39] EPM, «Línea Base - Estudio de Impacto Ambiental,» 2011. [En línea]. Available: https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/ltuango/EIA_MEDIO_ABIOTICO.pdf. [Último acceso: 14 02 2019].

[40] R. Guerrero, «Fertilización de Cultivos en Clima Cálido,» [En línea]. Available: <http://www.monmeros.com/descargas/dpmanualcalido.pdf>. [Último acceso: 15 02 2019].

[41] J. A. Aules, B. E. McLaren y J. F. Romero, «CONTENIDO NUTRIMENTAL DEL SUELO Y DE LA HOJARASCA DEL ÁRBOL PIONERO Cecropia EN BOSQUES MADUROS Y SECUNDARIOS DE LA ZONA HÚMEDA TROPICAL DEL ECUADOR,» 08 02 2017. [En línea]. Available: <https://revistas.ufrj.br/index.php/oa/article/viewFile/11918/8614>. [Último acceso: 18 02 2019].

[42] J. C. Manchado, «La sustentabilidad en la agricultura pampeana: Valoración económica del balance de nutrientes para las principales actividades agropecuarias extensivas en la Región Centro Sur de la Provincia de Buenos Aires,» 08 Octubre 2010. [En línea]. Available: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-valorac_econom_nutrientes_manchado2010.pdf. [Último acceso: 16 02 2019].

[43] C. D. L. ACUICULTURA, «DIRECCIÓN DE CADENAS PECUARIAS, PESQUERAS Y ACUÍCOLAS,» 2018. [En línea]. Available: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Acuicultura/Boletines/Cifras%20Sectoriales%202018%20de%20Mayo%20de%202018%20Acuicultura.pdf>. [Último acceso: 12 02 2019].

[44] Contraloría General de la República, «GESTIÓN DE LAS AUTORIDADES AMBIENTALES EN EL PROCESO DE LICENCIAMIENTO PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO,» 08 2018. [En línea]. Available: <https://www.contraloria.gov.co/documents/20181/1134239/Informe+Auditoria+ITUANGO.pdf/239ac985-f378-4eda-8cbc-e3129d87a66c?version=1.1>. [Último acceso: 12 02 2019].

[45] Rauhermi, «Sedimentación de Embalses,» 29 02 2016. [En línea]. Available: <http://eselagua.com/2016/02/29/sedimentacion-de-embalses-un-tema-de-poco-interes/>. [Último acceso: 15 02 2019].

A. ANEXO hojas de cálculo, valoración económica ambiental.