





ACTIVIDAD 10: MODELIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO DE ITUANGO (21/10/2015)





ANEJO X



ANEJO X

ÍNDICE



ÍNDICE

Capítulo 1.	
1. ANTECEDENTES	AX.1.1
Capítulo 2.	
2. MODELIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL PROYECTO	HIDROELÉCTRICO
ITUANGO	AX.2.1
2.1. Objetivos	AX.2.2
2.2. Metodología	AX.2.3
2.2.1. Descripción del modelo	AX.2.3
2.2.2. Datos de partida	AX.2.9
2.3. Resultados de la calidad del agua	AX.2.24
2.3.1. Situación Actual: Río Cauca	AX.2.25
2.3.2. Situación Futura: Embalse de Ituango	AX.2.38
2.3.3. Situación Futura: Aguas abajo	AX.2.71
2.4. Diagnóstico de la calidad del agua	AX.2.83
2.4.1. Situación Actual: Río Cauca	AX.2.84
2.4.2. Situación Futura: Embalse de Ituango	AX.2.86
2.4.3. Situación Futura: Aguas abajo	AX.2.91
2.4.4. Balance neto de emisiones de GEI	AX.2.93
2.5. Conclusiones	AX.2.94
2.6. Referencias	AX.2.98

APÉNDICE I. DESCRIPCIÓN DE LAS FICHAS DE LOS RESULTADOS DE CALIDAD DEL AGUA DEL EMBALSE DE ITUANGO

APÉNDICE II. DESCRIPCIÓN DE LAS FICHAS DE LOS RESULTADOS DE CALIDAD DEL AGUA EN EL TRAMO DE RÍO LOCALIZADO AGUAS ABAJO DEL EMBALSE

APÉNDICE III. FICHAS 2. EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LAS VARIABLES EN DISTINTOS PUNTOS DEL EMBALSE BAJO DIFERENTES ESCENARIOS DE REMOCIÓN EN CADA ESCENARIO CLIMÁTICO

APÉNDICE IV. FICHAS 2. EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LAS VARIABLES EN DISTINTOS PUNTOS DEL EMBALSE BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE LLENADO

ANEJO V. FICHAS 3. EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LAS VARIABLES EN DISTINTOS PUNTOS DEL EMBALSE BAJO DIFERENTES ESCENARIOS DE REMOCIÓN

APÉNDICE VI. FICHAS 4. EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA ANOMALÍA EN DISTINTOS PUNTOS DEL EMBALSE BAJO DIFERENTES ESCENARIOS DE REMOCIÓN.

APÉNDICE VII. FICHAS 5. EVOLUCIÓN ESPACIAL DE LAS VARIABLES A LO LARGO DEL PERFIL LONGITUDINAL DEL EMBALSE.

APÉNDICE VIII. FICHAS 1. EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA VARIABLES EN DISTINTOS PUNTOS DEL RÍO BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE LLENADO.



ANEJO X

APÉNDICE IX. FICHAS 2. EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LAS VARIABLES EN DISTINTOS PUNTOS DEL RÍO BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE REMOCIÓN.

APÉNDICE X. FICHAS 3. EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA ANOMALÍA EN DISTINTOS PUNTOS DEL RÍO BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE REMONICIÓN





ANEJO X



ANEJO X

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

		Vacuática
🗄 IH cantabria	OFLADORLEIDENTING	Incention

1. ANTECEDENTES

Con fecha 18 de diciembre de 2014 se firmó un contrato entre Empresas Públicas de Medellín (EPM E.S.P.) y "Consorcio Fundación Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria (F.I.H.A.C.), Aquática Ingeniería Civil, S.L., Grupo Elemental S.A.S." (en adelante el Consorcio), cuyo objeto es llevar a cabo el proyecto "Implementación de un modelo para simular la calidad de agua del embalse y aguas abajo del proyecto hidroeléctrico Ituango" (en adelante el Proyecto).

El Plan de trabajo del Proyecto establece la entrega de un informe sobre el modelado de la calidad del agua del río (situación actual) y del futuro embalse de Ituango.

Cumpliendo con el hito establecido, este documento recoge dicho análisis.

En Santander, a 21 de octubre de 2015

Fdg: Raúl Medina Santamaría edrático de la Universidad de Cantabria







ANEJO X



ANEJO X

CAPÍTULO 2

MODELIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO



2. MODELIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO Y DEL RÍO CAUCA.

En las últimas décadas, entre las modificaciones más significativas que el hombre ha realizado en el ambiente está la construcción de embalses con el fin de satisfacer, principalmente, las necesidades de almacenamiento de agua, generación de energía eléctrica y regulación de los caudales de los ríos. La creación de un embalse implica el cambio brusco de un ecosistema terrestre a uno acuático, y al tiempo, el cambio de un ecosistema lótico (río) a uno léntico, con movimientos de agua muy lentos y débiles (Roldán y Ramírez, 2008).

Los embalses tienden a almacenar agua durante largos periodos de tiempo (grandes tiempos de residencia). Esto permite que en su interior se desarrollen procesos internos de ciclo de materia que varían estacional y anualmente, por lo que las variaciones en el transporte y mezcla son importantes en esas escalas de tiempo. También las variaciones en profundidad son mucho más importantes en un embalse que en un río. En la mayoría de los casos, la luz no penetra hasta el fondo del embalse por lo que los procesos de intercambio y la productividad se limitan a las capas superiores. En muchos embalses la mezcla vertical de sus aguas sólo se produce durante algunos periodos del año, por lo que existen grandes gradientes verticales de temperatura y densidad y, por consiguiente, de todos los procesos ecológicos asociados.

Una de las principales cuestiones a estudiar en un embalse son el efecto de la remoción de la vegetación antes del proceso de llenado del embalse y la evolución del estado trófico tras el proceso de llenado y puesta en marcha del embalse.

La remoción de la vegetación ha generado mucha controversia cada vez que se ha construido un nuevo embalse en zonas tropicales debido a los efectos generados sobre la fauna acuática. Por una parte, el mantenimiento de la vegetación terrestre sumergida tiene un impacto positivo por (1) proporcionar substrato para el perifiton y bentos que son recursos alimenticios importantes para los peces, (2) prevenir la sobrepesca, (3) disponer de nichos ecológicos para la reproducción y refugio, incrementando la supervivencia y reclutamiento de la fauna acuática, (4) aumentar la productividad ecológica debido al aporte de materia orgánica, nutrientes y diversidad estructural, (5) mitigar los impactos de la erosión en los bordes del embalse por la acción del viento y variaciones de nivel, y (6) reducir los elevados costes de remoción (Agostinho et al., 2007). Sin embargo, un exceso de vegetación inundada puede originar una serie de impactos negativos que podrían neutralizar en algunas zonas los beneficios de mantener la vegetación. Entre dichos impactos negativos cabe destacar la posible anoxia en las regiones más profundas del embalse, resultado de la descomposición de la materia orgánica, pudiendo elevar la mortandad de peces o limitar su distribución en el nuevo ecosistema. Además, los troncos sumergidos pueden interferir en la navegación, actividades de recreo, redes de pesca y servir como soporte para la proliferación de macrófitos (Ploskey, 1985).





Una vez llenado el embalse, la evolución de la calidad del agua se modificará debido a las nuevas condiciones del ecosistema acuático, especialmente el estado trófico. La eutrofización en los embalses es un proceso que resulta del aumento de nutrientes, principalmente nitratos y fosfatos, que proporcionan un desarrollo exagerado del fitoplancton y plantas acuáticas. Este proceso ocasiona: (1) aumento de la producción en términos de biomasa, (2) disminución de diversidad de especies, (3) fuertes fluctuaciones de oxígeno disuelto, dióxido de carbono y pH en el ciclo de día-noche, (4) alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en el fondo, y (5) aparición de densas masas de algas y vegetación acuática que impiden el paso de la luz y aumentan la materia orgánica en descomposición. Por todo ello, la eutrofización es uno de los principales problemas de los embalses por la interferencia que provoca en la generación hidroeléctrica, el aumento de costos en el tratamiento de aguas para consumo humano y la disminución de la vida útil del embalse. De tal modo que la norma más racional de gestión es la de "prevenir" la eutrofización en los embalses, pues corregirla es a menudo costos y difícil, si no imposible (Roldán & Ramírez, 2008).

El principal objetivo del presente proyecto es estimar a corto, medio y largo plazo las consecuencias del Proyecto Hidroeléctrico Ituango sobre la calidad del agua asociadas a la vida útil del nuevo ecosistema generado. Con este fin se recurre al uso de herramientas de modelización, más concretamente al modelo D-Water Quality, para establecer el comportamiento del sistema en diferentes épocas climáticas y escenarios de remoción de la vegetación inundada. Este modelo permite, en primer lugar, integrar como datos de entrada los resultados hidrodinámicos previamente obtenidos con Delft3D-FLOW (niveles, caudales, temperaturas,...) y, en segundo lugar, modelar de manera conjunta todos los procesos fisicoquímicos y biológicos que condicionan la calidad del agua cuyo.

Cabe señalar que el embalse a estudiar aún no existe y las campañas de campo existentes/realizadas en el tramo de río afectado por el proyecto presentan una baja resolución espacial y temporal. Debido a ello, con el fin de validar el modelo y la parametrización seleccionada, se compararán cualitativamente los resultados obtenidos al simular la situación actual, el río, con los valores medios mensuales de todas las medidas disponibles.

2.1. Objetivos

Por tanto, los objetivos específicos de este estudio son:

- Estudiar y analizar la calidad del agua del río Cauca en su situación actual.
- Estudiar y analizar la calidad del agua en el embalse para diferentes tiempos de inicio de llenado del embalse de acuerdo con diferentes épocas climáticas (1984, año medio, niña y niño).
- Estudiar y analizar la calidad del agua en el embalse para diferentes escenarios de remoción de la vegetación a inundar (remociones teóricas y supervisadas).





 Evaluar el efecto de la construcción del embalse aguas abajo de la zona de estudio para los diferentes escenarios de modelado planteados (épocas climáticas y remociones).

En los siguientes apartados se realiza una descripción general de la metodología empleada para llevar a cabo el estudio donde, en primer lugar, se plantean los escenarios de modelado y, en segundo, se detalla la configuración del modelo efectuada para la simulación numérica de la calidad del agua en el embalse y en el río después de la actuación. Además, en el siguiente apartado se presentan los resultados obtenidos para ambos cuerpos de agua y, finalmente, se recogen las principales conclusiones obtenidas en esta actividad.

2.2. Metodología

2.2.1. Descripción del modelo

2.2.1.1. Descripción del modelo D-Water Quality

D-Water Quality es el motor de los módulos de calidad de agua y ecología del software Delft3D. Está basado en una extensa librería de procesos y sustancias que pueden ser seleccionados para analizar la calidad de agua y sedimento conjuntamente.

Su librería de procesos cubre una gran parte de aspectos de la calidad del agua y ecología, desde trazadores conservativos, oxígeno disuelto, nutrientes, materia orgánica, materia inorgánica en suspensión, metales pesados, bacterias y micro-contaminantes orgánicos a algas complejas.

Resuelve la ecuación de transporte tridimensional para una concentración c de una sustancia, mediante el método de volúmenes finitos.

$$\frac{\partial_{c}}{\partial t} + U\frac{\partial_{c}}{\partial x} + V\frac{\partial_{c}}{\partial y} + W\frac{\partial_{c}}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial x}\left(D_{x}\frac{\partial_{c}}{\partial x}\right) - \frac{\partial}{\partial y}\left(D_{y}\frac{\partial_{c}}{\partial y}\right) - \frac{\partial}{\partial y}\left(D_{z}\frac{\partial_{c}}{\partial y}\right) = S - Kc \quad (6.24)$$

donde U(x,y,z,t), V(x,y,z,t) y W(x,y,z,t) son las velocidades en las direcciones x, y, z; c(x,y,z,t) la concentración de la sustancia; D_x , D_y y D_z son los coeficientes de dispersión; S la cantidad de la sustancia introducida en el medio; K es una tasa de degradación. Los valores de velocidad y coeficientes de dispersión son obtenidos directamente de la hidrodinámica realizada con el modelo Delft3D.

En D-Water Quality los componentes de un ecosistema acuático se dividen en grupos funcionales (Figura 2.1). Un grupo funcional incluye una o más sustancias que muestran un comportamiento físico y/o químico similar. Para obtener una descripción completa del sistema de agua a simular, los grupos funcionales tienen que combinarse. En la figura 2.1. se detallan dichos vínculos entre grupos.







Figura 2.1. Esquema general de las sustancias incluidas en D-Water Quality. Las sustancias se organizan en grupos funcionales subrayados en su cabecera, a excepción de algunas sustancias que forman un grupo por sí mismas. Las principales relaciones entre las sustancias se indican mediante flechas; no obstante muchas relaciones se omiten en el gráfico.

Los grupos funcionales incluidos en D-Water Quality son:

- 1. Salinidad, cloruros y trazadores
- 2. Temperatura del agua y tasas de dependencia con la temperatura
- 3. Bacterias coliformes
- 4. Oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno (DBO)
- 5. Sedimentos suspendidos y sedimentación
- 6. Nutrientes, materia orgánica y aceptores de electrones.
- 7. Productores primarios: fitoplancton, perifiton, macrófitos
- 8. Consumidores primarios: zooplancton
- 9. Metales pesados y micro-tóxicos orgánicos
- 10. Modelado del sedimento

En este trabajo, se utilizarán los grupos funcionales 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 10 para modelar la calidad del agua tanto del río antes de la construcción del embalse como del embalse.



DEL EMBALSE Y AGUAS ABAJO DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO PARA SIMULAR LA CALIDAD DEL AGUA

2.2.1.2. Modelo conceptual

En este apartado se detalla el modelo conceptual empleado para la simulación de la calidad del agua en el río y en el embalse, teniendo en cuenta los grupos funcionales anteriormente citados.

Como se ha señalado anteriormente, el modelo D-Water Quality está formado por un conjunto de módulos (grupos funcionales) que interaccionan entre sí, tal y como se sintetiza en el esquema de la figura 2.2. Dicho esquema muestra como el fitoplancton consume nutrientes (N, P, Si, S, CO₂) y produce oxígeno y detritus orgánico dentro de las limitaciones impuestas por la depredación (zooplancton, macroinvertebrados bentónicos,...) y el régimen de luz (proceso análogo para perifiton y macrófitos).



Figura 2.2. Síntesis de los módulos presentes en D-Water Quality y sus interacciones (flechas).

Dicha luz se va extinguiendo conforme penetra en la columna de agua debido a la biomasa fitoplanctónica, los sedimentos en suspensión y el detritus. Los sedimentos en suspensión varían con los caudales de entrada y los fenómenos de sedimentación y resuspensión. El detritus, que puede ser aportado de forma natural y/o antrópica, se descompone liberando nutrientes y CO₂ y consumiendo oxígeno disuelto.

La sedimentación lidera la acumulación de materia orgánica en el sedimento, donde también tiene lugar la descomposición. Los fenómenos de dispersión vertical a través de la interfaz sedimento-agua favorecen que los nutrientes, el CO₂ y el CH₄ (anoxia) liberados durante este proceso de mineralización, retornen a la columna de agua.





El dióxido de carbono y el metano producidos en la respiración y mineralización son intercambiados entre la superficie del agua y la atmósfera generando emisiones de GEI.

Por último, la biomasa de la vegetación inundada se transforma en materia orgánica que se incorpora a la columna de agua y al sedimento. Su descomposición incrementa el consumo de oxígeno disuelto, la liberación de nutrientes y la producción de dióxido de carbono y metano del sistema.

En base a todo lo anterior, se ha desarrollado un modelo conceptual (figura 2.3) adaptado a los requerimientos de nuestro caso de estudio. A continuación, se enumeran los procesos clave incluidos en el mismo:

- Producción primaria del fitoplancton.
- Producción y consumo de oxígeno disuelto.
- Ciclos de los nutrientes (N, P, S y Si)
- Ciclo de la materia orgánica, incluida la descomposición de la vegetación inundada durante el llenado del embalse.
- Producción y conversión de CO₂ y CH₄ (GEI).
- Interacción de la materia inorgánica particulada con la luz.
- Transporte y mortalidad de coliformes fecales y totales.

Aunque también puede incluirse el consumo de fitoplancton por depredadores, las campañas de campo realizadas en la zona de estudio muestran valores muy bajos de zooplancton en el río Cauca, por lo que éste será obviado durante el modelado.





Figura 2.3. Modelo conceptual aplicado en el modelo D-Water Quality. (CF = Coliformes Fecales, CT = Coliformes Totales, MI = Materia Inorgánica particulada, OD = Oxígeno disuelto, XOD = C/N/P/S Orgánico Disuelto, XOP = C/N/P/S Orgánico Particulado, PP = Productores Primarios, SUD = SUlfuro Disuelto, VI = Vegetación Inundada, Procesos en anoxia)

En dicho modelo se muestran las principales interacciones entre las variables implicadas en los procesos descritos con anterioridad, tanto en la columna de agua, como en el sedimento. Como elemento central se encuentra la materia orgánica particulada y disuelta (XOP + XOD) procedente tanto de los seres vivos existentes en el sistema (principalmente, fitoplancton (PP) y vegetación inundada (VI)), como de las entradas por la cola del embalse, afluentes y escorrentía. Según su composición, dicha materia orgánica se subdivide en carbono orgánico (X = C), nitrógeno orgánico (X = N), fósforo orgánico (X = P) y azufre orgánico (X = S). A su vez, la fracción particulada se subdivide en 5 tipos según la velocidad de descomposición: 1 = rápida, 2 = media, 3 = lenta, 4 = refractaria y 5 = muy muy lenta. Ésta última se asocia a vegetación leñosa y, a diferencia del resto, no sufre transporte. Todas ellas van a ser objeto del proceso de mineralización, consumiendo O₂ (aceptor de electrones) y produciendo CO₂ y nutrientes (N, P, Si, S). En ausencia de O₂ (anoxia), lo cual tiende a ocurrir en el sedimento o en las inmediaciones del mismo, los aceptores de electrones pasan a ser el NO₃ o SO₄ (en ese orden, según disponibilidad), liberándose también CH₄.





Además de los procesos de mineralización (descomposición) de la materia orgánica, se contemplan también los procesos de sedimentación y resuspensión de las distintas variables, así como los intercambios con la atmósfera (reaireación del O_2 y el CO_2 y volatilización/ebullición del CH₄), claves en el balance de GEI; la oxidación del CH₄; la nitrificación del NH₄; la desnitrificación del NO₃ (en anoxia) y la oxidación del SUD.

La materia inorgánica particulada (MI) sólo se tiene en cuenta en los cálculos de extinción de la luz en la columna de agua. Ésta si divide en 3 fracciones según su diámetro y, por tanto, según su velocidad de sedimentación: arcillas y limos (1), arena muy fina (2) y arena fina (3). Fracciones superiores se encuentran en bajas concentraciones en el embalse, descartándose del estudio por entenderse que se depositarán en la zona próxima a la cola, no teniendo una incidencia significativa sobre el patrón de penetración de la luz en el embalse.

Por último, con el fin de evaluar si se cumple con los criterios de calidad del agua para los posibles futuros usos del embalse recogidos en el Decreto 1594 de 1984, también se tiene en cuenta el módulo de coliformes fecales y totales (CF + CT). Éste, sin embargo, no interacciona con el resto de procesos.

2.2.1.3. Configuración del modelo de calidad de aguas

Para poder llevar a cabo el análisis de la calidad del agua en la zona de estudio es necesario configurar el modelo de calidad de agua con las diferentes características existentes antes de la actuación y después de la actuación. Es por ello, que en el marco de este trabajo se muestra la estrategia de simulación llevada a cabo en este estudio para cada una de los las simulaciones véase la figura 2.4.

En un primer lugar se evaluará la calidad del agua que presenta el río Cauca (en la actualidad), el futuro embalse de Ituango y aguas abajo del mismo, con el fin de evaluar si se cumple con los criterios de calidad del agua en el Decreto 1594 de 1984. Posteriormente para análisis de la calidad del agua es fundamental para poder diagnosticar la evolución del estado trófico del embalse y evaluar también los cambios que experimentará la sección del río aguas abajo de la presa, ya que el régimen natural del ecosistema acuático queda modificado por la construcción de la misma. El análisis de la calidad del agua se realizará mediante bajos escenarios de remoción con el fin de evaluar el papel que juega la vegetación a inundar en la calidad el agua del embalse. Finalmente se realiza una estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero, antes y después de actuación.



ANEJO X

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO PARA SIMULAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL EMBALSE Y AGUAS ABAJO DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO



Figura 2.4. Representación de la estrategia de simulación para evaluar la calidad del agua en el Proyecto Hidroeléctrico de Ituango.

<u>2.2.2. Datos de partida</u>

2.2.2.1. Hidrodinámica

La información hidrodinámica necesaria como dato de entrada en el modelo D-Water Quality (malla computacional, batimetría, caudales de entrada, detracciones, velocidad del flujo, profundidad y temperatura del agua) es suministrada por el módulo Delft3D-FLOW. La configuración de dicho módulo y los resultados obtenidos tras su implementación se recogen en el informe de la Actividad 9: Comportamiento Hidrodinámico del Embalse de Ituango y del río Cauca. Implementación de un modelo para simular la calidad del agua del embalse y aguas abajo del proyecto hidroeléctrico de Ituango".

2.2.2.2. Condiciones iniciales

Calidad

De acuerdo con el modelo conceptual desarrollado, las sustancias que precisan de la determinación de un valor inicial para el conjunto de la masa de agua (río/embalse) son: oxígeno disuelto (OXY), 3 fracciones de materia inorgánica (IM1 a IM3), amonio (NH4), nitrato (NO3), fosfato (PO4), carbono inorgánico total (TIC), metano (CH4), alcalinidad (Alka), Sulfato (SO4), Sulfuro disuelto total (SUD), 5 fracciones de carbono orgánico





particulado (POC1 a POC5), 5 fracciones de nitrógeno orgánico particulado (PON1 a PON5), 5 fracciones de fósforo orgánico particulado (POP1 a POP5), 5 fracciones de sulfuro orgánico particulado (POS1 a POS5), carbono orgánico disuelto, nitrógeno orgánico disuelto, fósforo orgánico disuelto, sulfuro orgánico disuelto, 3 fracciones de fitoplancton (GREENS), coliformes totales (TColi), coliformes fecales (FColi), 3 fracciones de materia inorgánica en sedimento (IM1S1 a IM3S1) y 3 clases de detritus (DetC, DetN y DetP).

La tabla 2.1 muestra las condiciones iniciales utilizadas en la modelización. Éstas se han establecido promediando las medidas disponibles en la zona de estudio. Se ha dado un valor de concentración igual a cero para aquellas sustancias carentes de datos de campo previos. Éstas últimas no se incluyen en la tabla 2.2.

Condiciones iniciales											
Parámetro	Unidades	Valor									
OXY	gO2/m3	6.34									
IM1	gDM/m3	1688									
IM2	gDM/m3	1385									
IM3	gDM/m3	1024									
NH4	gN/m3	0.47									
NO3	gN/m3	0.943									
PO4	gP/m3	0.07									
TIC	gC/m3	17.3									
Alka	gHCO3/m3	67.1									
SO4	gS/m3	19.1									
POC1	gC/m3	0.14									
POC2	gC/m3	0.42									
POC3	gC/m3	0.14									
DOC	gC/m3	1.85									
DON	gN/m3	0.6									
DOP	gP/m3	0.034									
Greens_E	gC/m3	0.02									
Greens_N	gC/m3	0.02									
Greens_P	gC/m3	0.02									
Fcoli	MPN/m3	41303000.8									
Tcoli	MPN/m3	2133395644									

Tabla 2.1. Condiciones iniciales utilizadas en la simulación.

Vegetación

Como se ha mencionado con anterioridad, unos de los objetivos del presente estudio es analizar el papel que juega la vegetación a inundar en la futura calidad del embalse. Es por ello que se ha analizado la información de la vegetación existente en el vaso del embalse véase la figura 2.5)





En la figura 2.5 se puede observar como se encuentra un total de 7 tipologías de cobertura: Bosque de galería ripario, bosque denso, bosque fragmentado, herbazal abierto, herbazal denso, vegetación secundaria alta y vegetación secundaria baja. Tal como se observa en la figura las coberturas de bosque denso y de galería ripario, se encuentran en su mayoría distribuidos entre el río San Andrés y la zona de presa del embalse.



Figura 2.5. Distribución de las tipologías de la vegetación en el vaso del embalse.





2.2.2.3. Condiciones de contorno

• Forzamientos meteorológicos

La radiación de onda corta, la temperatura del aire, la precipitación y la velocidad del viento son variables clave para la correcta caracterización de los procesos fisicoquímicos y biológicos, y por lo tanto para evaluar el comportamiento de la calidad del agua en el río.

Para poder realizar una modelización con una resolución temporal diaria es necesario poseer de manera coetánea de una serie temporal de todas las variables a analizar. En el documento "Actividad 9: Comportamiento Hidrodinámico del Embalse de Ituango. Implementación de un modelo para simular la calidad del agua del embalse y aguas abajo del proyecto hidroeléctrico de Ituango" se explica, en detalle, la obtención de estas series a escala diaria de largo periodo.

• Cargas fisicoquímicas y biológicas

Las cargas fisicoquímicas y biológicas están determinados por los caudales de entrada al sistema provenientes de la hidrodinámica y las concentraciones de todas las sustancias estudiadas en dichos aportes. Las sustancias introducidas son las mismas definidas en el apartado de condiciones iniciales a excepción de las variables ligadas al sedimento, que no requieren una especificación en las entradas de agua al sistema.

Para obtener las series temporales de 10 años se han promediado mensualmente todas las medidas de campo disponibles en la zona de estudio. De este modo, el Cauca y todos los aportes a excepción del río Peque, San Andrés e Ituango se han introducido con los valores presentados en la tabla 2.2. Para su cálculo se han tenido en cuenta los datos de campo tomados en las estaciones de Santa María, Puente Angelinas, Tesorera y Manantiales, todas ellas localizadas en la zona riberina (cola del embalse) y al principio de la zona de transición (zona media del embalse).

FECHA	Alcalinidad Total (gHCO ₃ /m ³)	TIC (mgC/L)	DOC (mgC/L)	POC1 (mgC/L)	POC2 (mgC/L)	POC3 (mgC/L)	Cloruros (mgCl ⁻ /L)	Coliforme s fecales (MPN/m ³)	Coliformes totales (MPN/m ³)	Fosfatos (mgP/L)	Fósforo Orgánico (mgP/L)	Nitratos (mgN/L)	Nitrógeno amoniacal (mgN/L)	Nitrógeno total (mgN/L)	Oxígeno Disuelto (mgO₂/L)	Sulfatos (mgSO₄/L)
Enero	68.2	17.6	2.48	0.16	0.47	0.16	8.30	1683333	127733333	0.09	0.036	1.079	0.5	0.5	6.82	16.20
Febrero	61.8	15.9	1.45	0.13	0.40	0.13	7.69	16185455	525909091	0.07	0.049	1.054	0.5	0.5	7.14	15.28
Marzo	59.0	15.2	3.60	0.18	0.54	0.18	5.75	20083333	335666667	0.08	0.050	0.680	0.5	0.5	6.04	10.18
Abril	66.9	17.2	1.86	0.14	0.42	0.14	5.59	65833333	2983333333	0.05	0.022	0.901	0.5	0.5	5.68	9.18
Mayo	62.1	16.0	2.35	0.15	0.46	0.15	2.68	109750000	3345000000	0.06	0.035	0.930	0.5	0.5	6.25	16.70
Junio	66.8	17.2	1.15	0.13	0.38	0.13	5.94	47055556	6269763636	0.06	0.023	0.776	0.47	0.60	5.75	16.65
Julio	69.2	17.9	1.06	0.12	0.37	0.12	6.60	44166667	2075833333	0.05	0.026	0.881	0.5	0.5	6.08	18.65
Agosto	68.6	17.7	1.14	0.13	0.38	0.13	7.53	19833333	1641500000	0.07	0.028	1.095	0.5	0.5	5.94	20.32
Septiembre	73.2	18.9	1.57	0.13	0.40	0.13	8.65	28666667	5713166667	0.06	0.021	1.030	0.5	0.5	6.75	38.87
Octubre	68.8	17.7	2.28	0.15	0.45	0.15	7.73	32445000	1125175000	0.08	0.031	0.951	0.5	0.5	6.90	27.98
Noviembre	76.8	19.9	1.40	0.13	0.39	0.13	7.20	46300000	1024000000	0.06	0.033	1.060	0.5	0.5	6.59	24.88
Diciembre	63.8	16.4	1.88	0.14	0.43	0.14	6.27	63633333	433666667	0.11	0.051	0.882	0.5	0.5	6.15	14.30

Tabla 2.2. Concentraciones fisicoquímicas y biológicas para el río Cauca y resto de aportes.

En los casos del río Peque, San Andrés e Ituango, se han realizado los promedios con los datos de las estaciones del Peque, San Andrés y Zonas de Presa Aguas Abajo, respectivamente. Dicha información se presenta en las tablas 2.3 a 2.5, respectivamente.





ANEJO X

FECHA	Alcalinidad Total (gHCO ₃ /m ³)	TIC (mgC/L)	DOC (mgC/L)	POC1 (mgC/L)	POC2 (mgC/L)	POC3 (mgC/L)	Cloruros (mgCl ⁻ /L)	Coliforme s fecales (MPN/m ³)	Coliformes totales (MPN/m ³)	Fosfatos (mgP/L)	Fósforo Orgánico (mgP/L)	Nitratos (mgN/L)	Nitrógeno amoniacal (mgN/L)	Nitrógeno total (mgN/L)	Oxígeno Disuelto (mgO ₂ /L)	Sulfatos (mgSO₄/L)
Enero	105.9	27.6	0.68	0.12	0.35	0.12	4.8	720000	44000000	0.035	0.012	0.1285			6.4	21.40
Febrero	141.5	37.2	0.00	0.10	0.30	0.10	1.8	1320000	19011500000	0.024	0.014	0.0875			7.5	21.65
Marzo	122.1	32.0	1.80	0.14	0.42	0.14	0.8	55250000	738500000	0.042	0.028	0.1545			6.7	28.60
Abril	121.9	31.9	0.00	0.10	0.30	0.10	0.5	47500000	100000000	0.067	0.036	0.0965			6.8	20.50
Mayo	84.9	22.0	1.21	0.13	0.38	0.13	1.05	25750000	10732500000	0.024	0.011	0.251			6.0	18.15
Junio	99.9	26.0	0.00	0.10	0.30	0.10	0.5	26750000	273500000	0.017	0.015	0.05855			5.8	16.10
Julio	91.9	23.9	0.00	0.10	0.30	0.10	0.5	85000000	642500000	0.009	0.005	0.13775			5.8	2.00
Agosto	109.4	28.6	0.00	0.10	0.30	0.10	1.05	44500000	563750000	0.026	0.012	0.139875			6.4	17.15
Septiembre	137.3	36.1	0.00	0.10	0.30	0.10	3.05	9750000	611000000	0.043	0.026	1.6365			6.3	53.90
Octubre	93.5	24.3	0.41	0.11	0.33	0.11	5.35	12610000	1342000000	0.044	0.013	0.2035			6.2	22.20
Noviembre	80.2	20.8	0.41	0.11	0.33	0.11	0.5	20000000	2380000000	0.038	0.017	0.166			6.9	26.50
Diciembre	83.9	21.8	1.13	0.13	0.38	0.13	1.05	20150000	1365000000	0.052	0.022	0.117			6.0	10.60

Tabla 2.3. Concentraciones fisicoquímicas y biológicas para el río Peque.

FECHA	Alcalinidad Total (gHCO ₃ /m ³)	TIC (mgC/L)	DOC (mgC/L)	POC1 (mgC/L)	POC2 (mgC/L)	POC3 (mgC/L)	Cloruros (mgCl ⁻ /L)	Coliforme s fecales (MPN/m ³)	Coliformes totales (MPN/m ³)	Fosfatos (mgP/L)	Fósforo Orgánico (mgP/L)	Nitratos (mgN/L)	Nitritos (mgN/L)	Nitrógeno amoniacal (mgN/L)	Nitrógeno total (mgN/L)	Oxígeno Disuelto (mgO ₂ /L)	Sulfatos (mgSO ₄ /L)
Enero	67.2	17.3	0.00	0.10	0.30	0.10	1.3	3650000	292000000	0.027	0.013	0.076	0.009			6.22	12.60
Febrero	61.3	15.8	0.00	0.10	0.30	0.10	0.5	1700000	196500000	0.011	0.005	0.078	0.008			7.19	7.97
Marzo	59.7	15.3	3.15	0.17	0.51	0.17	0.5	8800000	32000000	0.047	0.025	0.159	0.036			6.37	15.20
Abril	56.5	14.5	0.74	0.12	0.35	0.12	0.5	45000000	103000000	0.016	0.010	0.111	0.018			6.20	14.20
Mayo	54.5	14.0	1.86	0.14	0.42	0.14	0.5	52500000	410000000	0.012	0.011	0.084	0.011			6.13	10.95
Junio	51.5	13.2	0.88	0.12	0.36	0.12	1.8	115000000	152000000	0.018	0.008	0.084	0.009			5.41	7.45
Julio	62.0	15.9	0.72	0.12	0.35	0.12	2.8	52250000	906200000	0.044	0.014	0.313	0.013	0.16	1.87	6.23	14.37
Agosto	58.7	15.1	0.36	0.11	0.32	0.11	1.6	36625000	2203100000	0.025	0.010	0.199	0.012			6.63	14.73
Septiembre	79.4	20.6	0.66	0.11	0.34	0.11	0.5	50250000	5305000000	0.091	0.020	0.406	0.025			7.41	19.75
Octubre	61.5	15.8	1.00	0.12	0.37	0.12	0.9	9780000	9151150000	0.023	0.010	0.093	0.009			7.17	12.57
Noviembre	57.3	14.7	0.88	0.12	0.36	0.12	3.0	345500000	7825000000	0.062	0.021	0.087	0.007			6.96	10.78
Diciembre	65.6	16.9	0.68	0.12	0.35	0.12	1.2	5040000	1408500000	0.040	0.023	0.123	0.017			6.35	7.50

Tabla 2.4. Concentraciones fisicoquímicas y biológicas para el río San Andrés.

FECHA	Alcalinidad Total (gHCO ₃ /m ³)	TIC (mgC/L)	DOC (mgC/L)	POC1 (mgC/L)	POC2 (mgC/L)	POC3 (mgC/L)	Cloruros (mgCl ⁻ /L)	Coliformes totales (MPN/m ³)	Coliformes totales (MPN/m ³)	Fosfatos (mgP/L)	Fósforo Orgánico (mgP/L)	Nitratos (mgN/L)	Nitritos (mgN/L)	Nitrógeno amoniacal (mgN/L)	Nitrógeno total (mgN/L)	Oxígeno Disuelto (mgO ₂ /L)	Sulfatos (mgSO ₄ /L)
Enero	68.361	17.635	1.200	0.127	0.380	0.127	6.700	232566667	3466300000	0.078	0.035	1.027	0.023	<1	<1	6.897	15.457
Febrero	61.915	15.929	3.128	0.170	0.509	0.170	5.500	14500000	422500000	0.102	0.057	0.840	0.019	<1	<1	7.078	12.550
Marzo	59.048	15.172	6.312	0.240	0.721	0.240	3.567	27133333	268333333	0.040	0.010	0.801	0.014	<1	<1	6.537	9.167
Abril	61.366	15.784	1.455	0.132	0.397	0.132	4.067	25000000	787000000	0.049	0.024	0.713	0.024	<1	<1	6.523	18.700
Mayo	66.612	17.171	1.636	0.136	0.409	0.136	3.125	87500000	9107500000	0.026	0.021	0.695	0.011	<1	<1	5.633	14.650
Junio	76.006	19.663	1.125	0.125	0.375	0.125	4.950	36500000	1045000000	0.024	0.022	0.768	0.013	<1	<1	7.305	17.200
Julio	65.351	16.838	2.097	0.147	0.440	0.147	3.800	193000000	166633333333	0.031	0.021	0.811	0.010	<1	<1	7.377	16.333
Agosto	71.553	18.481	0.666	0.115	0.344	0.115	7.800	71000000	60000000	0.079	0.033	0.990	0.006	<1	<1	7.375	22.050
Septiembre	84.871	22.022	1.308	0.129	0.387	0.129	8.933	9333333	237666667	0.074	0.034	0.807	0.027	<1	<1	6.900	26.117
Octubre	70.516	18.206	2.400	0.153	0.460	0.153	7.033	33066667	6573666667	0.058	0.031	1.014	0.030	<1	<1	7.063	19.167
Noviembre	69.388	17.907	2.300	0.151	0.453	0.151	5.625	51000000	48425000000	0.063	0.038	0.722	0.011	<1	<1	7.493	20.450
Diciembre	64.264	16.550	15.413	0.443	1.328	0.443	4.138	23550000	2187725000	0.098	0.050	0.975	0.007	<1	<1	6.880	14.440

Tabla 2.5. Concentraciones fisicoquímicas y biológicas para el río Ituango.

La materia inorgánica particulada (IM1 a IM3) constituye una excepción a esta metodología general, pues su cálculo se ha realizado a partir de los ajustes de tendencia realizados para el transporte de sedimentos en la estación Cañafisto y que se recogen en el documento *Memorias del estudio de sedimentos* del *Estudio de Impacto Ambiental –EIA-: Complementación de la Factibilidad Técnica, Económica y Ambiental* realizado por HIDROELÉCTRICA ITUANGO y Consorcio INTEGRA en 2006-2007. Dichos ajustes se efectuaron por medio de regresiones potenciales que permiten estimar el caudal sólido de distintas fracciones de sedimento a partir del caudal líquido, tal y como se detalló en el informe de la "Actividad 4: Configuración e implementación del sistema de modelado. Generación de bases de datos".





2.2.2.4. Parámetros de calibración

Con base en el modelo conceptual desarrollado, en este apartado se detallan los valores adoptados para cada parámetro de calibración del mismo. Con el fin de facilitar la revisión de los distintos parámetros, ésta se presenta a continuación de forma tabulada y agrupada por procesos (tablas 2.6 a 2.8), siguiendo los trabajos de Smits et al. (2009).

Nombre	Proceso / Definición del parámetro	Valor utilizado	Unidades
ku_dFdec20	max. min. rate fast decomp. detr. POC1 at 20°C	0.20	d-1
kl_dFdec20	min. min. rate fast decomp. detr. POC1 at 20°C	0.15	d ⁻¹
ku_dMdec20	max. min. rate medium dec. detr. POC2 at 20°C	0.025	d-1
kl_dMdec20	min. min. rate medium dec. detr. POC2 at 20°C	0.025	d-1
ku_dSdec20	max. min. rate slow dec. detr. POC3 at 20°C	0.0010	d-1
kl_dSdec20	min. min. rate slow dec. detr. POC3 at 20°C	0.0010	d ⁻¹
ku_P5dec20	max. min. rate stem/root POC5 at 20°C	0.00002	d-1
kl_P5dec20	min. min. rate stem/root POC5 at 20°C	0.00002	d-1
k_dprdec20	min. rate part. refractory detr. POC4 at 20°C	0.00010	d-1
k_DOCdec20	min. rate diss. refractory detr. DOC at 20°C	0.0010	d-1
au_dNf	max. stoch. constant nitrogen in fast dec. detritus	0.15	gN ⋅ gC ⁻¹
al_dNf	min. stoch. constant nitrogen in fast dec. detritus	0.075	gN ⋅ gC ⁻¹
au_dNm	max. st. constant N in medium slow dec. detritus	0.12	gN ⋅ gC ⁻¹
al_dNm	min. st. constant N in medium slow dec. detritus	0.06	gN ⋅ gC ⁻¹
au_dNs	max. st. constant N in slow dec. detritus	0.12	gN ⋅ gC ⁻¹
al_dNs	min. st. constant N in slow dec. detritus	0.06	gN ⋅ gC ⁻¹
au_dNPOC5	max. stoch. constant nitrogen in stem/root POC5	0.012	gN ⋅ gC ⁻¹
al_dNPOC5	min. stoch. constant nitrogen in stem/root POC5	0.006	gN ∙ gC ⁻¹
a_dNpr	stoch. constant nitrogen in refractory detritus	0.070	gN ⋅ gC ⁻¹
au_dPf	max. stoch. constant phosphorus in fast dec. detritus	0.015	gP · gC⁻¹
al_dPf	min. stoch. constant phosphorus in fast dec. detritus	0.0075	gP · gC⁻¹
au_dPm	max. st. constant P in medium slow dec. detritus	0.012	gP · gC⁻¹
al_dPm	min. st. constant P in medium slow dec. detritus	0.006	gP · gC⁻¹
au_dPs	max. st. constant P in slow dec. detritus	0.012	gP · gC⁻¹
al_dPs	min. st. constant P in slow dec. detritus	0.006	gP · gC⁻¹
au_dPPOC5	max. stoch. constant phosphorus in stem/root POC5	0.0012	gP · gC⁻¹
al_dPPOC5	min. stoch. constant phosphorus in stem/root POC5	0.0006	gP · gC⁻¹
a_dPpr	stoch. constant phosphorus in refractory detritus	0.007	gP · gC⁻¹
a_dSpr	stoch. constant sulphur in refractory detritus	0.005	gS ⋅ gC ⁻¹
b_ni	attenuation constant for nitrate as electron acceptor	1.0	-
b_su	attenuation constant for sulphate as electron acceptor	1.0	-



ANEJO X

Nombre	Proceso / Definición del parámetro	Valor utilizado	Unidades
b_poc1poc2	conv. fraction fast dec. detr. into medium dec. detr.	0.3	-
b_poc2poc3	conv. fraction medium dec. detr. into slow dec. detr.	0.2	-
b_poc2doc	conv. fraction medium dec. detr. into diss. refr. detr.	0.15	-
b_poc3poc4	conv. fraction slow dec. detr. into part. refr. detr.	0.2	_
b_poc3doc	conv. fraction slow dec. detr. into diss. refr. detr.	0.15	_
b_poc5poc4	conv. fraction stem/root POC5 into part. refr. detr.	0.2	-
b_poc5doc	conv. fraction stem/root POC5 into diss. refr. detr.	0.15	-

Tabla 2.6. Descomposición de la materia orgánica.

Nombre	Proceso / Definición del parámetro	Valor utilizado	Unidades
KsOxCon	half saturation constant for oxygen limitation	1.0	$gO_2 \cdot m^{-3}$
KsNiDen	half saturation constant for nitrate limitation	0.25	gN · m⁻³
KsSuRed	half saturation constant for sulphate limitation	2.0	gS · m⁻³
KsOxDenInh	half sat. const. for DO inhibition of denitrification	1.0	$gO_2 \cdot m^{-3}$
KsNiRedInh	half sat. const. for nitrate inhib. of sulph. reduction	0.02	gN · m⁻³
KsSuMetInh	half sat. const. for sulphate inhib. of methanogenesis	1.00	gS ∙ m⁻³
CoxDenInh	critical diss. oxygen conc. inhibition of denitrific. ²	1.0/5.0	$gO_2 \cdot m^{-3}$
CoxRedInh	critical diss. oxygen conc. inhibition of sulphate red.	0.05	$gO_2 \cdot m^{-3}$
CoxMetInh	critical diss. oxygen conc. inhib. of methanogenesis	0.02	$gO_2 \cdot m^{-3}$
CniMetInb	critical nitrate conc. inhibition of methanogenesis	0.05	$gN \cdot m^{-3}$
RedFacDen	correction factor for denitr. below crit. temperature	1.25	-
RedFacRed	correction factor for sulph. red. below crit. temp.	1.25	-
RedFacMet	correction factor for methanogen. below crit. temp.	1.25	-
CTBactAc	critically low temp. for specific bacterial activity	2.0	°C

Tabla 2.7. Consumo de aceptores de electrones y metanogénesis.



Anejo X

epm

Nombre	Proceso / Definición del parámetro	Valor utilizado	Unidades
	Nitrificación		
RcNit20	MM nitrification rate in water	0.10	$gN \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$
RcNit20	MM nitrification rate in sediment	50.0	$gN \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$
KsAmNit	half saturation constant for ammonium limitation	0.4	gN · m⁻³
KsOxNit	half saturation constant for oxygen limitation	0.50	$gO_2 \cdot m^{-3}$
RcONitox	zeroth order nitrification rate at negative DO	0.0	$gN \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$
CoxNit	critical DO concentration for nitrification	0.0	gO₂ .m⁻³
CTNit	critically low temperature for nitrification	0.0	°C
	Oxidación, precipitación, disolución y especiación	del sulfuro	
RcSox20	pseudo second-order sulphide oxid. rate at 20 °C	10.00	$gO_2^{\text{-1}} \cdot m^3 \cdot d^{\text{-1}}$
RcOSox	zeroth order sulphide oxidation rate	0.0	$gS \cdot m^{-3} b \cdot d^{-1}$
CoxSUD	critical dissolved oxygen concentration	0.0	gO₂ · m⁻³
	Oxidación, ebullición y volatilización del met	ano	
RcMetOx20	MM-rate for methane oxid. with oxygen at 20°C	0.40	$gC \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$
Rc0MetOx	zeroth order methane oxid. rate with oxygen	0.00	$gC \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$
RcMetSu20	MM-rate for methane oxid. with sulphate at 20°C	0.05	$gC \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$
Rc0MetSu	zeroth order methane oxid. rate with sulphate	0.00	$gC \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$
RadMetInh	irradiation for full photo-inhibition	300.0	W · m⁻²
KsRadFr	half saturation constant for photo-inhibition	0.2	-
KsRadSh	shape factor for photo-inhibition	15.0	_
CoxMet	critical DO concentration for methane oxidation	0.0	$gO_2 \cdot m^{-3}$
CsuMet	critical sulphate conc. for methane oxidation	0.0	gS ∙ m⁻³
KsMet	half saturation constant for methane consumption	0.5	$gC \cdot m^{-3}$
KsOxMet	half saturation constant for DO consumption	1.0	$gO_2 \cdot m^{-3}$
KsSuMet	half saturation constant for sulphate consumption	1.0	gS ∙ m⁻³
CTMetOx	critically low temperature for methanogenesis	3.0	°C
fScEbul	scaling factor for the methane ebullition rate	1.0	-

Tabla 2.8. Procesos asociados a amonio, sulfuro y metano.

Además de los parámetros listados en las tablas anteriores, merece una mención especial la constante de reaireación del oxígeno disuelto, dióxido de carbono y metano, ya que su estimación va a tener una importante repercusión sobre las emisiones de gases de efecto invernadero. A este respecto cabe destacar que se han utilizado formulaciones distintas en río y embalse atendiendo a si éstas eran dependientes de la velocidad del flujo o de la velocidad del viento.



Para la situación actual, el río, se ha aplicado la formulación número 4 del modelo D-Water Quality, especialmente desarrollado para ríos por O' Connor and Dobbins (1956), ya que es dependiente de la velocidad del flujo, pero independiente del viento.

Por otro lado, en el embalse se ha aplicado la formulación número 13 (Guérin, 2006; Guérin et al., 2007), dependiente tanto de la velocidad del viento como de un parámetro adicional derivado de la precipitación, lo que la hace especialmente adecuada para lagos y embalses tropicales.

Merece una mención especial la constante de reaireación del oxígeno disuelto, dióxido de carbono y metano, ya que su estimación va a tener una importante repercusión sobre las emisiones de gases de efecto invernadero. A este respecto cabe destacar que se han utilizado formulaciones distintas en río y embalse atendiendo a si éstas eran dependientes de la velocidad del flujo o de la velocidad del viento.

Para la situación actual, el río, se ha aplicado la formulación número 4 del modelo D-Water Quality, especialmente desarrollado para ríos por O' Connor and Dobbins (1956), ya que es dependiente de la velocidad del flujo, pero independiente del viento. Por otro lado, en el embalse se ha aplicado la formulación número 13 (Guérin, 2006; Guérin et al., 2007), dependiente tanto de la velocidad del viento como de un parámetro adicional derivado de la precipitación, lo que la hace especialmente adecuada para lagos y embalses tropicales.

Adicionalmente, cabe señalar que para poder llevar a cabo la determinación de los parámetros de los procesos asociados a la vegetación en el área de inundación se ha empleado la información suministrada por FORESTRY CONSULTING GROUP SAS en los servicios de asesoría cuyo objeto es "*Prestar la asesoría profesional para estimar el contenido de biomasas vegetal fotosintética en el área que quedará cubierta por las aguas (cota de elevación 385 msnm e inferiores) de la represa del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, situado en el noroccidente del Departamento de Antioquia*".

A partir de los resultados de dicho estudio, se ponderaron los parámetros específicos de los 6 tipos de vegetación considerados que se introducen en el modelo D-Water Quality recogidos en la tabla 2.9.





	B (V1)	B_M (V2)	VS (V3)	VS_M (V4)	H (V5)	H_M (V6)
Diametro (cm)	21.348		17.926		16.871	
Altura (m)	13.831	1.383	10.637	1.064	9.198	0.920
fracción_troncos	0.727	0.727	0.575	0.575	0.824	0.824
fracción_hojas	0.211	0.211	0.294	0.294	0.100	0.100
fracción_ramas	0.041	0.041	0.056	0.056	0.064	0.064
fracción_raíces	0.021	0.021	0.074	0.074	0.013	0.013
CN_troncos	121.600	53.875	210.545	69.927	194.333	36.844
CN_hojas	118.338	53.875	121.671	69.927	174.922	36.844
CN_ramas	52.413	53.875	49.827	69.927	75.678	36.844
CN_raíces	127.188	53.875	125.059	69.927	162.967	36.844
CP_troncos	206.213	183.175	558.105	439.345	496.578	213.178
CP_hojas	220.438	183.175	200.271	439.345	165.833	213.178
CP_ramas	414.125	183.175	207.864	439.345	288.433	213.178
CP_raíces	3328.588	183.175	266.886	439.345	285.289	213.178
CS_troncos	402.913	604.750	537.886	2099.345	690.556	741.033
CS_hojas	328.450	604.750	914.995	2099.345	702.556	741.033
CS_ramas	535.025	604.750	692.727	2099.345	1087.489	741.033
CS_raíces	514.663	604.750	494.095	2099.345	645.189	741.033
Tasas descomposición (d ⁻¹)	0.014	0.014	0.014	0.014	0.030	0.030

Tabla 2.9. Parámetros específicos de la vegetación de la zona donde se desarrolla el Proyecto Hidroeléctrico Ituangopara los 6 tipos considerados en el embalse

Finalmente, para el caso del río Cauca aguas abajo del embalse dichos parámetros se consideran nulos para todos los escenarios de modelado puesto que no hay vegetación sumergida.

2.2.2.5. Escenarios de modelado

Cabe destacar que la vegetación a inundar cobra un papel importante en la calidad del agua del futuro embalse, es por ello que para poder llevar a cabo la configuración del modelo teniendo en cuenta las características específicas de la vegetación en la zona del Proyecto Hidroeléctrico Ituango se ha contratado a FORESTRY CONSULTING GROUP SAS la prestación de servicios de asesoría cuyo objeto es *"Prestar la asesoría profesional para estimar el contenido de biomasas vegetal fotosintética en el área que quedará cubierta por las aguas (cota de elevación 385 msnm e inferiores) de la represa del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, situado en el noroccidente del Departamento de Antioquia". El trabajo de campo se inició el 3 de septiembre de 2015 en el sector de El Valle del municipio de Toledo y fue finalizado el 11 de octubre en el área del municipio de Sabanalarga.*



ANEJO X



Además, como se ha comentado en la introducción, la calidad del agua depende de la época climática seleccionada y de las actuaciones realizadas con la vegetación a sumergir. Por tanto, para poder cuantificar los cambios producidos, es necesario llevar a cabo la modelización de la dinámica de la calidad del agua considerando: (1) diferentes épocas climáticas y (2) diferentes remociones de la vegetación sumergida.

Las condiciones climáticas existentes cuando se realice el llenado del embalse cobran especial importancia en la evolución de la calidad del agua del embalse durante los primeros meses. Por ello, se han seleccionado 4 situaciones de inicio que se corresponden con las diferentes épocas climáticas en el entorno del embalse siendo:

- 1) Inicio de llenado durante un año medio correspondiente con 1993 comenzando el 01/01/1993.
- 2) Inicio de llenado durante las condiciones existentes en 1984 comenzando el 01/10/1984.
- 3) Inicio de llenado durante el año 1988 con condiciones del fenómeno La Niña (Caudales Altos) comenzando el 01/01/1988.
- 4) Inicio de llenado durante el año con las condiciones del fenómeno El Niño (Caudales Bajos) comenzando el 01/01/1992.

Además, las actuaciones llevadas a cabo con la vegetación a sumergir pueden condicionar la evolución de la calidad del agua por lo que se proponen un serie de actuaciones de remoción: (1) no supervisadas (teóricas) y (2) supervisadas en función de las características topográficas.

 Por un lado, la remoción no supervisada se basa en la remoción teórica, en función de un porcentaje, de la distribución real de la vegetación en el vaso del embalse (Figura 2.6).



ANEJO X



Figura 2.6. Distribución real de la vegetación en el vaso del embalse en el Proyecto Hidroeléctrico de Ituango.

De este modo, se plantean 6 casos de estudio: 5 de ellos donde se remueve un 10, 25, 50, 75 y 100% de la vegetación y 1 sin llevar a cabo ningún tipo de remoción.

Por el otro lado, la remoción supervisada se basa en cuatro casos de distribución de la vegetación condicionados por las características topográficas del terreno. Así, se proponen realizar:

- **2.1)** Una remoción de la vegetación entre la cota 385 y 420 m del embalse (Panel Izquierdo de la Figura 2.7).
- 2.2) Una remoción de la vegetación de las zonas con pendientes inferiores al 75% (Panel Derecho de la Figura 2.7).
- 2.3) Una remoción de la vegetación de las zonas con pendientes inferiores al 100% (Panel Izquierdo de la Figura 2.8).
- 2.4) Una remoción de la vegetación combinada que comprende la cola del embalse, las áreas del primer contrato de remoción, los afluentes y las áreas de posible desarrollo de puertos (Panel Derecho de la Figura 2.8).







Figura 2.7. Distribución de la vegetación para: (panel izquierdo) una remoción de la vegetación entre la cota 385 y 420 m del embalse y (panel derecho) una remoción de la vegetación de las zonas con pendientes inferiores al 75% en el Proyecto Hidroeléctrico de Ituango.



ANEJO X



ANEJO X

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO PARA SIMULAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL EMBALSE Y AGUAS ABAJO DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO



Figura 2.8. Distribución de la vegetación para: (panel izquierdo) una remoción de la vegetación de las zonas con pendientes inferiores al 100% y (panel derecho) una remoción de la vegetación combinada en el Proyecto Hidroeléctrico de Ituango.

La casuística generada de la combinación de los factores relevantes para la evaluación de la calidad del agua se presenta en la figura 2.9. A su vez, en la tabla 2.10 se presenta la combinación de situaciones climáticas del llenado del embalse (4 escenarios) y de actuaciones de remoción de la vegetación (10 escenarios) que conducen a los 3x10=30 escenarios de modelado planteados para llevar a cabo el diagnóstico de la evolución de la calidad del agua y la importancia de la remoción en la misma. En todos los escenarios de modelado, el tiempo de simulación son 10 años ya que se estima que la influencia de la vegetación sumergida sobre la calidad del agua y nutrientes varía de 1 a 10 años, siendo más acusada en los 2-3 primeros años en regiones de climas templados (Ploskey, 1985). Para climas tropicales y subtropicales, no se dispone de mucha información pero se espera que el proceso sea más intenso y menos duradero (Agostinho et al., 2007).

ဓၣၮႜ



Figura 2.9. Escenarios de modelado considerados para simular la calidad del agua del embalse y aguas abajo del Proyecto Hidroeléctrico Ituango.

Escenario de modelado	Época Climática	Tipo de Remoción
1	Año medio	No Supervisada: 0%
2		No Supervisada: 10%
3		No Supervisada: 25%
4		No Supervisada: 50%
5		No Supervisada: 75%
6		No Supervisada: 100%
7		Supervisada: 385-420
8		Supervisada: Pte 75%
9		Supervisada: Pte 100%
10		Supervisada: Combinado
11	Año 1984	No Supervisada: 0%
12		No Supervisada: 10%
13		No Supervisada: 25%
14		No Supervisada: 50%
15		No Supervisada: 75%
16		No Supervisada: 100%
17		Supervisada: 385-420
18		Supervisada: Pte 75%
19		Supervisada: Pte 100%
20		Supervisada: Combinado



Anejo X

21	Año niña	No Supervisada: 0%
22		No Supervisada: 10%
23		No Supervisada: 25%
24		No Supervisada: 50%
25		No Supervisada: 75%
26		No Supervisada: 100%
27		Supervisada: 385-420
28		Supervisada: Pte 75%
29		Supervisada: Pte 100%
30		Supervisada: Combinado
31	Año niño	No Supervisada: 0%
32		No Supervisada: 10%
33		No Supervisada: 25%
34		No Supervisada: 50%
34 35		No Supervisada: 50% No Supervisada: 75%
34 35 36		No Supervisada: 50% No Supervisada: 75% No Supervisada: 100%
34 35 36 37		No Supervisada: 50% No Supervisada: 75% No Supervisada: 100% Supervisada: 385-420
34 35 36 37 38		No Supervisada: 50% No Supervisada: 75% No Supervisada: 100% Supervisada: 385-420 Supervisada: Pte 75%
34 35 36 37 38 39		No Supervisada: 50%No Supervisada: 75%No Supervisada: 100%Supervisada: 385-420Supervisada: Pte 75%Supervisada: Pte 100%

Tabla 2.10. Escenarios de modelado planteados provenientes de la combinación de situaciones climáticas delIlenado del embalse (4 escenarios) y de actuaciones de remoción de la vegetación (10 escenarios).

2.3. Resultados de la calidad del agua

Una vez configurado el modelo de calidad de aguas para el embalse y el río, en este apartado se muestran los principales resultados obtenidos durante la simulación de 10 años de los 30 escenarios de modelado seleccionados, centrándose en el estudio del oxígeno disuelto (OD), dióxido de carbono (CO2), nitrato (NO3), fosfato (PO4), Amonio (NH4), Carbono orgánico particulado (POC), carbono orgánico disuelto (DOC), pH, Fitoplancton (Phyto), Coliformes fecales (FColi) y Coliformes totales (TColi). Se muestra también la temperatura del agua (T^a) con el fin de poder observar el patrón espacial y temporal de la misma y facilitar el análisis de las implicaciones que esto tiene sobre la calidad.

En primer lugar, se presentan los resultados del río Cuaca en la actualidad, en segundo los resultados del embalse y, en tercero, los resultados del río aguas abajo del embalse. Todas las variables analizadas se han empleado para realizar el diagnóstico de la calidad del agua atendiendo, primeramente, a la normativa de referencia para diferentes usos del agua (Decreto 1594 de 1984) para el río en la actualidad, el embalse y el tramo fluvial y, en segundo lugar, al estado trófico del embalse (OECD, 1992 y Carlson, 1977).




2.3.1. Situación Actual: Río Cauca

En el caso del río se dispone de una serie de campañas de campo donde se registraron diferentes parámetros fisicoquímicos y biológicos en diferentes localizaciones a lo largo del tramo del río que comprende al futuro embalse durante los años 2012, 2013, 2014 y 2015.

Con base en estas medidas, se ha realizado una comparación cualitativa entre los valores medidos y los modelados en términos de oxígeno disuelto, dióxido de carbono, nitrato, y fosfato. Para llevar a cabo dicha comparación se ha representado en conjunto la serie temporal modelada (línea sólida negra), la serie temporal de promedios mensuales medidos (línea punteada azul), la serie temporal de máximos mensuales medidos (línea punteada magenta) y la serie temporal de mínimos mensuales medidos (línea punteada verde). Además, en el caso de existir una norma de calidad para la sustancia considerada se ha representado mediante una línea sólida de color rojo. Finalmente, cabe indicar que la comparación se ha realizado para tres localizaciones a lo largo del río Cauca dentro del tramo que comprenderá el embalse como son Santa María, Manantiales y Sitio de Presa.

Oxígeno disuelto (OD)

Las figuras 2.10 a 2.12 presentan la evolución temporal del oxígeno disuelto tanto medido como modelado en Santa María, Manantiales y Sitio de Presa respectivamente. Como se puede observar en estas figuras, el modelo calcula la evolución de oxígeno correctamente manteniéndose dentro de los máximos y mínimos medidos y siguiendo el patrón temporal existente. Desde el punto de vista legislativo, la concentración de OD en ningún momento es inferior a los 5 mg/l especificado en el Decreto 1594 de 1984.



Figura 2.10. Evolución temporal del oxígeno disuelto del agua en Santa María.



IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO PARA SIMULAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL EMBALSE Y AGUAS ABAJO DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO

ANEJO X



Figura 2.11. Evolución temporal del oxígeno disuelto del agua en Manantiales.



Figura 2.12. Evolución temporal del oxígeno disuelto del agua en Sitio de Presa.





La figura 2.13 recoge la distribución espacial de OD para todo el río en tres instantes temporales diferentes. Una época húmeda con un instante en el día 13/01/1992 (panel superior izquierdo), y una seca con dos instantes en los días 05/05/1992 y 07/06/1992 (paneles superiores central y derecho respectivamente). Además, en la figura 2.13 se muestra la distribución espacial de estos tres instantes vistos mediante un perfil longitudinal (panel inferior).



Figura 2.13. Distribución espacial del oxígeno disuelto del agua en el río para una época húmeda con un instante en el día 13/01/1992 (panel superior izquierdo) y una seca con dos instantes en los días 05/05/1992 y 07/06/1992 (paneles superiores central y derecho respectivamente).





En esta figura se observa que el comportamiento del OD a lo largo del cauce fluvial varía significativamente en función del oxígeno disuelto que entra al sistema y la temperatura del agua.

Dióxido de carbono (CO2)

Las figuras 2.14 a 2.16presentan la evolución temporal del dióxido de carbono tanto medido como modelado en Santa María, Manantiales y Sitio de Presa respectivamente. Como se puede observar en estas figuras, el modelo calcula la evolución de dióxido de carbono correctamente manteniéndose dentro de los máximos y mínimos medidos aguas arriba en la zona de Santa María. A medida que avanza el río los valores modelados son ligeramente inferiores a los medidos. Desde el punto de vista legislativo, no existe norma de calidad asociada.



Figura 2.14. Evolución temporal del dióxido de carbono del agua en Santa María.





IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO PARA SIMULAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL EMBALSE Y AGUAS ABAJO DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO



Figura 2.15. Evolución temporal del dióxido de carbono del agua en Manantiales.



Figura 2.16. Evolución temporal del dióxido de carbono del agua en Sitio Presa.





La figura 2.17 recoge la distribución espacial de CO2 para todo el río en tres instantes temporales diferentes. Una época húmeda con un instante en el día 13/01/1992 (panel superior izquierdo), y una seca con dos instantes en los días 05/05/1992 y 07/06/1992 (paneles superiores central y derecho respectivamente). Además, en la figura 2.17 se muestra la distribución espacial de estos tres instantes vistos mediante un perfil longitudinal (panel inferior).



Figura 2.17. Distribución espacial del dióxido de carbono del agua en el río para una época húmeda con un instante en el día 13/01/1992 (panel superior izquierdo) y una seca con dos instantes en los días 05/05/1992 y 07/06/1992 (paneles superiores central y derecho respectivamente).





En esta figura se observa que el comportamiento del CO2 a lo largo del cauce fluvial es similar independientemente de la estación estudiada así como su magnitud. No obstante, la magnitud del CO2 es ligeramente inferior en la estación seca.

Nitrato (NO3)

Las figuras 2.18 a 2.20 presentan la evolución temporal del nitrato disuelto tanto medido como modelado en Santa María, Manantiales y Sitio de Presa respectivamente. Como se puede observar en estas figuras, el modelo calcula la evolución del nitrato correctamente manteniéndose dentro de los máximos y mínimos medidos. Desde el punto de vista legislativo, la concentración de nitrato en ningún momento es superior a los 10 mg/l especificado en el Decreto 1594 de 1984.



Figura 2.18. Evolución temporal del nitrato del agua en Santa María.





IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO PARA SIMULAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL EMBALSE Y AGUAS ABAJO DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO

ANEJO X



Figura 2.19. Evolución temporal del nitrato del agua en Manantiales.



Figura 2.20. Evolución temporal del oxígeno disuelto del agua en Sitio de Presa.



La figura 2.21 recoge la distribución espacial de NO3 para todo el río en tres instantes temporales diferentes. Una época húmeda con un instante en el día 13/01/1992 (panel superior izquierdo), y una seca con dos instantes en los días 05/05/1992 y 07/06/1992 (paneles superiores central y derecho respectivamente). Además, en la figura 2.22 se muestra la distribución espacial de estos tres instantes vistos mediante un perfil longitudinal (panel inferior).



Figura 2.21. Distribución espacial del nitrato del agua en el río para una época húmeda con un instante en el día 13/01/1992 (panel superior izquierdo) y una seca con dos instantes en los días 05/05/1992 y 07/06/1992 (paneles superiores central y derecho respectivamente).





En esta figura se observa que el comportamiento del NO3 a lo largo del cauce fluvial es similar independientemente de la estación estudiada. No obstante, la magnitud de los nitratos sí que difiere en función de cada época del año. Durante la época húmeda (enero) la cantidad de nutrientes es mayor que durante la época seca (mayo y junio).

Fosfato (PO4)

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO PARA SIMULAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL EMBALSE Y AGUAS ABAJO DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO

Las figuras 2.22 a 2.24 presentan la evolución temporal del fosfato tanto medido como modelado en Santa María, Manantiales y Sitio de Presa respectivamente. Como se puede observar en estas figuras, el modelo calcula la evolución de fosfato correctamente manteniéndose dentro de los máximos y mínimos medidos. Desde el punto de vista legislativo, el fosfato no presenta norma de calidad.



Figura 2.22. Evolución temporal del fosfato del agua en Santa María.





IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO PARA SIMULAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL EMBALSE Y AGUAS ABAJO DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO



Figura 2.23. Evolución temporal del fosfato del agua en Manantiales.



Figura 2.24. Evolución temporal del fosfato del agua en Sitio de Presa.





La figura 2.25 recoge la distribución espacial de PO4 para todo el río en tres instantes temporales diferentes. Una época húmeda con un instante en el día 13/01/1992 (panel superior izquierdo), y una seca con dos instantes en los días 05/05/1992 y 07/06/1992 (paneles superiores central y derecho respectivamente). Además, en la figura 2.25 se muestra la distribución espacial de estos tres instantes vistos mediante un perfil longitudinal (panel inferior).



Figura 2.25. Distribución espacial del fosfato del agua en el río para una época húmeda con un instante en el día 13/01/1992 (panel superior izquierdo) y una seca con dos instantes en los días 05/05/1992 y 07/06/1992 (paneles superiores central y derecho respectivamente).



En esta figura se observa que el comportamiento del PO4 a lo largo del cauce fluvial es similar independientemente de la estación estudiada. No obstante, su magnitud sí que difiere en función de cada época del año de la misma manera que con los nitratos.

Metano (CH4)

La figura 2.26 recoge la distribución espacial de CH4 para todo el río en tres instantes temporales diferentes. Una época húmeda, con un instante en el día 13/01/1992 (panel superior izquierdo), y una seca, con dos instantes en los días 05/05/1992 y 07/06/1992 (paneles superiores central y derecho respectivamente). Además, se muestra la distribución espacial de estos tres instantes vistos mediante un perfil longitudinal (panel inferior).



Figura 2.26. Distribución espacial del metano del agua en el río para una época húmeda con un instante en el día 13/01/1992 (panel superior izquierdo) y una seca con dos instantes en los días 05/05/1992 y 07/06/1992 (paneles superiores central y derecho respectivamente).





En esta figura se observa que el comportamiento del CH4 a lo largo del cauce fluvial es similar independientemente de la estación estudiada así como su magnitud. Durante la época húmeda la concentración es ligeramente menor que la seca. Debido a que el metano sólo se genera internamente debido a los procesos fisicoquímicos se observa que la concentración aumenta a medida que se avanza en el cauce fluvial. Finalmente, cabe señalar que la magnitud de metano en el río es mucho menor que la de otros gases de efecto invernadero.

La figura 2.27 muestra la evolución temporal del metano del agua en 7 puntos del río para el periodo de estudio. Como puede apreciarse en esta figura, el metano del agua presenta las variaciones asociadas a la climatología y estacionalidad de la zona.



Figura 2.27. Evolución temporal del metano de agua en el río para 7 localizaciones (Cauca, Manantiales, Peque, San Andrés, Sitio Presa, Ituango y Aguas abajo).

2.3.2. Situación Futura: Embalse de Ituango

Una vez configurado el modelo de calidad de aguas para el embalse y el río, en este apartado se muestran los principales resultados obtenidos durante la simulación de 10 años de los 30 escenarios de modelado seleccionados, centrándose en el estudio del oxígeno disuelto (OD), dióxido de carbono (CO2), nitrato (NO3), fosfato (PO4), Amonio (NH4), Carbono orgánico particulado (POC), carbono orgánico disuelto (DOC), pH, Fitoplancton (Phyto), Coliformes fecales (FColi) y Coliformes totales (TColi). Se muestra también la temperatura del agua (T^a) con el fin de poder observar el patrón espacial y temporal de la misma y facilitar el análisis de las implicaciones que esto tiene sobre la calidad.



En primer lugar, se presentan los resultados del embalse y, en segundo, los resultados del río aguas abajo del embalse. Todas las variables analizadas se han empleado para realizar el diagnóstico de la calidad del agua atendiendo, primeramente, a la normativa de referencia para diferentes usos del agua (Decreto 1594 de 1984) para el embalse y el tramo fluvial y, en segundo lugar, al estado trófico del embalse (OECD, 1992 y Carlson, 1977).

Al objeto de facilitar la visualización espacial y temporal de los resultados del embalse se han desarrollado 5 tipos de fichas que permiten gestionar y analizar la gran cantidad de información generada:

- **FICHA 1.** Evolución temporal de la variable en distintos puntos del embalse en toda la columna de agua, bajo diferentes escenarios de remoción para cada uno de los inicios de llenado de embalse.
- **FICHA 2**. Evolución temporal de la variable en distintos puntos del embalse en 3 profundidades específicas bajo diferentes condiciones iniciales de llenado de embalse.
- **FICHA 3**. Evolución temporal de la variable en distintos puntos del embalse en 3 profundidades específicas bajo diferentes escenarios de remoción.
- **FICHA 4.** Evolución temporal de la anomalía en distintos puntos del embalse en 3 profundidades específicas bajo diferentes escenarios de remoción. La referencia de la anomalía es el escenario remoción total.
- **FICHA 5.** Evolución espacial de la variable a lo largo del perfil longitudinal del embalse para distintas fechas durante el primer año de evolución bajo diferentes escenarios de remoción y de condiciones iniciales de llenado del embalse.

En la figura 2.28 se presenta un ejemplo de la FICHA 1 resaltando cada uno de los paneles que la componen en color rojo. El panel 1 especifica con qué escenario climático se comienza la simulación de calidad del agua y la descripción de la variable analizada. El panel 2 muestra la situación de los puntos de control seleccionados (Leyenda resaltada con círculos de color cian) para la representación así como la leyenda empleada para cada uno de ellos. En el embalse se han seleccionado 3 puntos de control donde el punto 1 se localiza en la cola del embalse, el Punto 2 en la zona media del embalse y el Punto 3 en el sitio de Presa. El panel 3 representa las unidades de la variable a analizar. El panel 4 se corresponde con el escenario de remoción de tal forma que cada fila representa un escenario de remoción. El panel 5 presenta la descripción de la representación en el eje y, en este caso se grafica toda la columna de agua. El panel 6 recoge la descripción de la representación del eje x, en este caso se representa el tiempo transcurrido.



Figura 2.28. Ejemplo de FICHA 1 representado la evolución temporal de la variable en distintos puntos del embalse en toda la columna de agua, bajo diferentes escenarios de remoción para cada uno de los inicios de llenado de embalse.

En la figura 2.29 se presenta un ejemplo de la FICHA 2 resaltando cada uno de los paneles que la componen en color rojo. El panel 1 especifica con qué escenario de remoción se realiza la simulación de calidad del agua y la descripción de la variable analizada. El panel 2 muestra la situación de los puntos de control del mismo modo que en la FICHA 1. El panel 3 recoge la leyenda común a todos los gráficos donde se especifica el estilo de la línea que representa cada uno de los escenarios climáticos donde se comienza la simulación. El panel 4 se corresponde con la evolución temporal de la variable a analizar en los 3 puntos de control seleccionados (Leyenda resaltada con círculos de color azul) en 3 profundidades de tal forma que, por una parte, cada fila representa una profundidad diferente del embalse (arriba-superficie, centro-medio, abajo-fondo) y, por la otra, cada columna representa cada uno de los puntos de control, centro-Punto2, derecha-Punto3). El panel 5 presenta la descripción de la representación en el eje y, en este caso se grafica la variable a analizar. El panel 6 recoge la descripción de la representación del eje x, en este caso se representa el tiempo transcurrido.





Figura 2.29. Ejemplo de FICHA 2 representado la evolución temporal de la variable en distintos puntos del embalse en 3 profundidades específicas bajo diferentes condiciones iniciales de llenado de embalse.(*) En la capa supercial del punto más cercanos al sitio de presa, se registran valores mayores a 8 mg/l.

En la figura 2.30 se presenta un ejemplo de la FICHA 3 resaltando cada uno de los paneles que la componen en color rojo. El panel 1 especifica con qué escenario climático se comienza la simulación de calidad del agua y la descripción de la variable analizada. El panel 2 muestra la situación de los puntos de control del mismo modo que en la FICHA 1 y 2. El panel 3 recoge la leyenda común a todos los gráficos donde se especifica el estilo de la línea que representa cada uno de los escenarios de remoción simulados. El panel 4 se corresponde con la evolución temporal de la variable a analizar en los 3 puntos de control seleccionados (Leyenda resaltada con círculos de color azul) en 3 profundidades de tal forma que, por una parte, cada fila representa una profundidad diferente del embalse (arriba-superficie, centro-medio, abajo-fondo) y, por la otra, cada columna representa cada uno de los puntos de control, centro-Punto2, derecha-Punto3). El panel 5 presenta la descripción de la representación en el eje y, en este caso se grafica la variable a analizar. El panel 6 recoge la descripción de la representación del eje x, en este caso se representa el tiempo transcurrido.





Figura 2.30. Ejemplo de FICHA 3 representando la evolución temporal de la variable en distintos puntos del embalse en 3 profundidades específicas bajo diferentes escenarios de remoción.

En la figura 2.31 se presenta un ejemplo de la FICHA 4 resaltando cada uno de los paneles que la componen en color rojo. El contenido de esta ficha es el mismo que el de la FICHA 3 a excepción del panel 4. En dicho panel se muestra la evolución temporal de la anomalía a analizar en los 3 puntos de control seleccionados (Leyenda resaltada con círculos de color cian) en 3 profundidades de tal forma que, por una parte, cada fila representa una profundidad diferente del embalse (arriba-superficie, centro-medio, abajo-fondo) y, por la otra, cada columna representa cada uno de los puntos de control (izquierda-Punto1, centro-Punto2, derecha-Punto3). En este sentido, cabe señalar que la referencia de la anomalía es el escenario remoción total para cada uno de los escenarios climáticos considerados como comienzo de la simulación.



Figura 2.31. Ejemplo de FICHA 4 representando Evolución temporal de la anomalía en distintos puntos del embalse en 3 profundidades específicas bajo diferentes escenarios de remoción. La referencia de la anomalía es el escenario remoción total.

En la figura 2.32 se presenta un ejemplo de la FICHA 5 resaltando cada uno de los paneles que la componen en color rojo. El panel 1 muestra la variable analizada así como sus unidades. El panel 2 especifica con qué escenario climático se comienza la simulación de calidad del agua y el escenario de remoción considerado. Además, la ficha recoge la evolución espacial a lo largo del perfil longitudinal de todo el embalse en 6 fechas diferentes ilustrando el comportamiento a lo largo del año de la variable analizada, comenzando en la figura superior izquierda y concluyendo con la figura inferior derecha.

Finalmente, cabe indicar que los resultados de todas las variables analizadas en el embalse para los 30 escenarios de modelado considerados se encuentran en los Anejos del presente documento. Toda la información se encuentra recogida para un horizonte temporal de 1 año y de 10 años, a excepción de la FICHA 5 (Evolución espacial) que se ha llevado a cabo sólo para el escenario climático correspondiente con el año Niño.





ANEJO X

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO PARA SIMULAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL EMBALSE Y AGUAS ABAJO DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO



Figura 2.32. Ejemplo de FICHA 5 representando Evolución espacial de la variable a lo largo del perfil longitudinal del embalse para distintas fechas durante el primer año de evolución bajo diferentes escenarios de remoción y de condiciones iniciales de llenado del embalse.

Una vez descritas las fichas que sintetizan y facilitan la gestión y visualización de los resultados del embalse, a continuación se detallan los principales resultados obtenidos tras modelar la calidad del agua del Embalse de Ituango a lo largo de 10 años para los escenarios de modelado 31 a 40, es decir, comenzando todas las simulaciones el 01/01/1992 (año Niño).

Con el fin de ilustrar dichos resultados se presenta la FICHA 1 para el oxígeno disuelto (OD), dióxido de carbono (CO2), nitrato (NO3), fosfato (PO4), Amonio (NH4), Carbono orgánico particulado (POC), carbono orgánico disuelto (DOC), pH, Fitoplancton (Phyto), Coliformes fecales (FColi) y Coliformes totales (TColi). Se muestra también la temperatura del agua (T^a) para poder observar el patrón espacial y temporal de la misma y facilitar el análisis de las implicaciones que esto tiene sobre la calidad. Nótese que en todas las figuras se muestra la evolución temporal de la columna en tres puntos del embalse localizados en la cola, la sección central y el sitio de presa.

Temperatura (T^a)

Puesto que para los diferentes escenarios de remoción se ha partido de la misma hidrodinámica (escenario climático inicial = año Niño), los resultados obtenidos para la temperatura del agua son iguales entre dichos escenarios. En las figuras 2.33 y 2.34 se puede observar como durante las dos épocas húmedas (abril a junio y octubre a diciembre)





la mezcla vertical en el embalse es completa. La estratificación se genera en la zona lacustre del mismo (puntos 2 y 3) durante las dos épocas secas (enero a marzo y julio a septiembre). Aparece una termoclina a 80-100 metros de profundidad, que es mucho más marcada (aproximadamente de 3.5°C de diferencia entre epilimnion e hipolimnion) durante la época seca asociada al verano (julio a septiembre), momento en el que la temperatura ambiental es mayor.

Por tanto, se trata de un embalse de tipo dimíctico en el que las aguas se mezclan completamente dos veces al año, primavera y otoño. Dicha mezcla favorece la oxigenación y autodepuración del conjunto del embalse, procesos ambos fundamentales para minimizar los impactos negativos asociados a la transformación de un sistema lótico en un sistema léntico estratificado, como por ejemplo la eutrofización.

Añadir a este respecto que se ha estimado también el tiempo de renovación medio del volumen total del embalse, siendo éste de 20 días. Esta alta renovación de sus aguas unida a los dos periodos de mezcla completa que se dan al año, hacen prever que los impactos sobre el ecosistema actual tengan una magnitud considerablemente menor de la que cabría esperar.



Figura 2.33. FICHA1 - Evolución temporal de la temperatura en distintos puntos del embalse en toda la columna de agua, bajo diferentes escenarios de remoción No Supervisada considerando un año Niño como inicio de llenado del embalse.





Figura 2.34. FICHA1 - Evolución temporal de la temperatura en distintos puntos del embalse en toda la columna de agua, bajo diferentes escenarios de remoción Supervisada considerando un año Niño como inicio de llenado del embalse.

Oxígeno disuelto (OD)

En las figuras 2.35 y 2.36 se muestran los resultados obtenidos con el modelo D-Water Quality para la concentración de oxígeno disuelto en 3 puntos del embalse (ver mapa) a diferentes profundidades y a lo largo del primer año de vida del embalse.

El punto 1, localizado en la zona de transición entre la parte riberina y la parte lacustre del embalse, al igual que pasaba con la temperatura, no hay estratificación, apreciándose pequeñas diferencias entre superficie y fondo. Además, como era de esperar, los valores más elevados se registran durante el periodo de menores temperaturas, es decir, de octubre a febrero.

En los puntos 2 y 3, correspondientes con la zona lacustre del embalse, además de una estratificación térmica, existe una estratificación química obteniéndose valores característicos de la hipoxia (<5 mg/L) e, incluso, de la anoxia. Siendo más acusada en zona de presa.





En este sentido cabe mencionar que durante periodos prolongados de estratificación los valores de oxígeno llegan a ser muy bajos incluso en las proximidades de la superficie y aunque se elimine el 100% de la vegetación susceptible de ser inundada.

Dicho gradiente de oxígeno es consecuencia directa de las elevadas cargas de materia orgánica disuelta y particulada que recibe el sistema, además de la aportada por la biomasa inicial inundada, siendo los procesos de descomposición (consumo de oxígeno) más marcados cuánto mayor es la biomasa inundada.



Figura 2.35. FICHA1 - Evolución temporal del oxígeno disuelto en distintos puntos del embalse en toda la columna de agua, bajo diferentes escenarios de remoción No Supervisada considerando un año Niño como inicio de llenado del embalse.





Figura 2.36. FICHA1 - Evolución temporal del oxígeno disuelto en distintos puntos del embalse en toda la columna de agua, bajo diferentes escenarios de remoción Supervisada considerando un año Niño como inicio de llenado del embalse.

Dióxido de carbono (CO₂)

Las figuras 2.37 y 2.38 muestran los resultados modelados para la concentración de dióxido de carbono. Como en el caso del oxígeno disuelto, se observa estratificación y periodos de mezcla, pero en este caso el patrón es opuesto al oxígeno, dándose valores más altos en el hipolimnion que en el epilimnion.

Para la concentración de dióxido de carbono se observa, al igual que para el oxígeno disuelto, estratificaciones (aunque menos marcadas) y periodos de mezcla. Sin embargo, en este caso el patrón es opuesto al oxígeno disuelto, dándose valores más altos en el hipolimnion, donde predominan los procesos de descomposición, en vez de en el epilimnion, donde predomina la producción primaria. Cabe destacar los altos valores obtenidos durante los 3 primeros meses de vida del embalse, que como ya se ha mencionado anteriormente son los meses con mayores aportes de materia orgánica tanto alóctona (entrada del río Cauca y otros afluentes) como autóctona (principalmente, fracción lábil de la vegetación inundada) y, por tanto, existe un predominio claro de los procesos de descomposición en el fondo que producen altas concentraciones de CO2 (y consumo de oxígeno, tal y como se vio





IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO PARA SIMULAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL EMBALSE Y AGUAS ABAJO DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO

ANEJO X

en las fichas anteriores). Aunque la producción de CO2 es bastante mayor conforme más vegetación inicial hay en la cubeta del embalse, es importante mencionar que las entradas de materia orgánica a través del Cauca y sus afluentes también tienen un impacto sobre los procesos de descomposición muy importante.



Figura 2.37. FICHA1 - Evolución temporal del dióxido de carbono en distintos puntos del embalse en toda la columna de agua, bajo diferentes escenarios de remoción No Supervisada considerando un año Niño como inicio de Ilenado del embalse.





Figura 2.38. FICHA1 - Evolución temporal del dióxido de carbono en distintos puntos del embalse en toda la columna de agua, bajo diferentes escenarios de remoción Supervisada considerando un año Niño como inicio de Ilenado del embalse.

Finalmente, cabe señalar que teniendo en cuenta que las fuentes principales de CO₂ son la descomposición y la respiración, y que la producción consume dicho compuesto, se puede decir que el patrón espacial de esta variable también sigue una tendencia coherente, ya que la producción sólo tiene lugar en las capas superiores del embalse (hasta donde penetra la luz), mientras que la respiración se da de forma más homogénea en toda la columna de agua y la mineralización es mucho mayor en el fondo y sus proximidades, pues es en estas zonas donde se acumula la materia orgánica sedimentada o en proceso de sedimentación.

Por otra parte, es significativo mencionar que las concentraciones registradas han estado siempre por debajo de las normas de calidad independientemente del uso, siendo dicha norma igual a 10 mg/L.





ANEJO X

Fosfato (PO4)

En las figuras 2.39 y 2.40 se muestra la concentración de fosfato obtenida con el modelo. La distribución espacial y temporal es similar a la del nitrato siendo los valores acordes con los datos medidos en campo. Para el caso de los fosfatos es importante indicar que los aportes externos al embalse condicionan completamente la disponibilidad de este nutriente en el embalse siendo en muchas ocasiones una carga elevada que facilitará el crecimiento del fitoplancton y la oportunidad para que se desarrollen bancos de macrofitas.

Además se observa como las concentraciones más bajas de fosfato están ligadas al Bloom de fitoplancton en la superficie del embalse durante las dos estratificaciones térmicas.



Figura 2.39. FICHA1 - Evolución temporal del fosfato en distintos puntos del embalse en toda la columna de agua, bajo diferentes escenarios de remoción No Supervisada considerando un año Niño como inicio de llenado del embalse.



Figura 2.40. FICHA1 - Evolución temporal del fosfato en distintos puntos del embalse en toda la columna de agua, bajo diferentes escenarios de remoción Supervisada considerando un año Niño como inicio de llenado del embalse.



Amonio (NH4)

En las figuras 2.41 y 2.42 se muestra la concentración de amonio obtenida con el modelo. Las mayores concentraciones se encuentran en la zona riberina siendo superiores, durante todo el año de estudio y para toda la columna de agua, a la norma establecida para la preservación de la flora y fauna, esto es 0.1 mg/L. Esta problemática se registra para todo tipo de remociones ya que la fuente de amonio es externa al embalse.

En la zona intermedia y lacustre los aumentos de amonio en el tiempo se asocian a épocas donde el oxígeno disuelto disminuye por debajo de la hipoxia, como consecuencia, el nitrógeno presente en la columna de agua se reduce (amonio) en vez de oxidarse (nitrato).



Figura 2.41. FICHA1 - Evolución temporal del amonio en distintos puntos del embalse en toda la columna de agua, bajo diferentes escenarios de remoción No Supervisada considerando un año Niño como inicio de llenado del embalse.



Figura 2.42. FICHA1 - Evolución temporal del amonio en distintos puntos del embalse en toda la columna de agua, bajo diferentes escenarios de remoción Supervisada considerando un año Niño como inicio de llenado del embalse.



Carbono orgánico particulado (POC)

En las figuras 2.43 y 2.44 se muestra la concentración de carbono orgánico particulado obtenida con el modelo. En ellas, se puede observar con mayor claridad cómo varía la concentración de materia orgánica particulada entre escenarios, poniéndose de manifiesto las importantes concentraciones de la misma durante los 3 meses iniciales, lo que justifica las diferentes tendencias de los procesos de descomposición entre escenarios, y su repercusión en el balance de oxígeno disuelto-dióxido de carbono/metano (pues éste también se emite durante la descomposición anóxica).



Figura 2.43. FICHA1 - Evolución temporal del carbono orgánico particulado en distintos puntos del embalse en toda la columna de agua, bajo diferentes escenarios de remoción No Supervisada considerando un año Niño como inicio de llenado del embalse.



Figura 2.44. FICHA1 - Evolución temporal del carbono orgánico particulado en distintos puntos del embalse en toda la columna de agua, bajo diferentes escenarios de remoción Supervisada considerando un año Niño como inicio de llenado del embalse.

Carbono orgánico disuelto (DOC)

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO PARA SIMULAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL EMBALSE Y AGUAS ABAJO DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO

En las figuras 2.45 y 2.46 se recoge la evolución temporal de la concentración de carbono orgánico disuelto obtenida con el modelo. La materia orgánica disuelta se asocia, casi en exclusiva, a las entradas desde el Cauca y sus afluentes, por lo que es prácticamente igual entre escenarios. Este hecho justifica que durante la estratificación inicial gran parte de esta materia se deposite a lo largo del embalse contribuyendo, sustancialmente, al consumo de oxígeno en el fondo del embalse como consecuencia de la mineralización (descomposición). Dicho hecho es muy evidente en el escenario de remoción total de la ficha asociada al CO2.



Figura 2.45. FICHA1 - Evolución temporal del carbono orgánico disuelto en distintos puntos del embalse en toda la columna de agua, bajo diferentes escenarios de remoción No Supervisada considerando un año Niño como inicio de Ilenado del embalse.





Figura 2.46. FICHA1 - Evolución temporal del carbono orgánico disuelto en distintos puntos del embalse en toda la columna de agua, bajo diferentes escenarios de remoción Supervisada considerando un año Niño como inicio de Ilenado del embalse.

Anejo X

Fitoplancton (Phyto)

En la figura 2.47 y 2.48 se presenta la concentración de fitoplancton expresada en clorofila a obtenida con el modelo. En la zona riberina prácticamente no hay fitoplancton mientras que las mayores proliferaciones se observan en la zona intermedia. Tanto en esta zona como en el sitio de presa, las concentraciones mayores se registran en la superficie durante todo el periodo de estudio alcanzando los máximos durante las épocas de estratificación térmica.

Esta evolución es la esperada atendiendo a la evolución de los diferentes factores que condicionan su crecimiento como son los nutrientes, el oxígeno disuelto, el dióxido de carbono y la luz.



Figura 2.47. FICHA1 - Evolución temporal del fitoplancton en distintos puntos del embalse en toda la columna de agua, bajo diferentes escenarios de remoción No Supervisada considerando un año Niño como inicio de llenado del embalse.



Figura 2.48. FICHA1 - Evolución temporal del fitoplancton en distintos puntos del embalse en toda la columna de agua, bajo diferentes escenarios de remoción Supervisada considerando un año Niño como inicio de llenado del embalse.


ANEJO X

рΗ

Por último, en las figuras 2.49 y 2.50 se presenta la evolución temporal del pH calculada con el modelo. Como se observa en las figuras, su dinámica está completamente influenciada por la concentración de fitoplancton en el medio ya que los productos de la reacción de fotosíntesis crean compuestos básicos que originan el aumento del pH. Por tanto, se aprecia como en la zona intermedia y en el sitio de presa el pH es superior 9.5 pudiendo generar problemas en la calidad del agua para diferentes usos como el de consumo, agrícola, recreativo o de preservación de la flora y fauna.



Figura 2.49. FICHA1 - Evolución temporal del pH en distintos puntos del embalse en toda la columna de agua, bajo diferentes escenarios de remoción No Supervisada considerando un año Niño como inicio de llenado del embalse.





Figura 2.50. FICHA1 - Evolución temporal del pH en distintos puntos del embalse en toda la columna de agua, bajo diferentes escenarios de remoción Supervisada considerando un año Niño como inicio de llenado del embalse.

Por otra parte, a modo de ejemplo, en la figura 2.51 la evolución temporal del oxígeno disuelto en distintos puntos del embalse en 3 profundidades específicas bajo diferentes condiciones iniciales de llenado de embalse. En ellas puede observarse como los mayores diferencias en el embalse durante el primer año de vida se originan en el Punto 2 y Punto 3 ya que es donde se producen mayoritariamente tanto los procesos de descomposición de la materia orgánica en el fondo como los procesos de producción en superficie debido al fitoplancton.



Figura 2.51. FICHA 2 - la evolución temporal del oxígeno disuelto en distintos puntos del embalse en 3 profundidades específicas bajo diferentes condiciones iniciales de llenado de embalse.

A continuación se presenta en las figuras 2.52 y 2.53 un ejemplo de FICHA 3 y 4 respectivamente que también recogen valores asociados a la concentración de oxígeno disuelto, ambas fichas tienen la ventaja de permitir visualizar rápidamente las diferencias entre el escenario tipo (remoción total de la vegetación susceptible de ser inundada) y los diferentes escenarios de remoción, especialmente la FICHA 4.

Así se puede ver cómo los problemas de calidad aumentan conforme nos acercamos a la presa (punto 3), sobre todo durante los 3 primeros meses de vida del embalse. Este hecho es esperable, pues ese periodo coincide con una época de estratificación y con las mayores concentraciones de materia orgánica en el embalse.



Figura 2.52. FICHA 3 - Evolución temporal del oxígeno disuelto en distintos puntos del embalse en 3 profundidades específicas bajo diferentes escenarios de remoción.





Figura 2.53. FICHA4 - Evolución temporal de la anomalía de oxígeno disuelto en distintos puntos del embalse en 3 profundidades específicas bajo diferentes escenarios de remoción. La referencia de la anomalía es el escenario remoción total.

Para finalizar con los resultados obtenidos para el embalse, en las figuras 2.54 a 2.45 se detalla la evolución espacial y temporal a lo largo del perfil longitudinal del embalse para los 10 escenarios de remoción planteados. En todas las figuras se puede apreciar como en la zona de transición entre la parte riberina y la parte lacustre del embalse no hay estratificación, apreciándose pequeñas diferencias entre superficie y fondo. Además, como era de esperar, los valores más elevados se registran durante el periodo de menores temperaturas, es decir, de octubre a febrero.

Por otra parte, en la zona lacustre del embalse existe una estratificación química en la que se distinguen claramente dos periodos de mezcla que permiten oxigenar el hipolimnion y dos periodos de estratificación en los que la concentración de oxígeno se reduce a valores característicos de la hipoxia e incluso, de la anoxia.







Figura 2.54. Evolución temporal y espacial de la concentración de oxígeno disuelto en el Embalse de Ituango durante el año Niño considerando una remoción del 0% (Flecha azul claro = Entrada del río Peque, Flecha en azul oscuro = Entrada del rio San Andrés).



Figura 2.55. Evolución temporal y espacial de la concentración de oxígeno disuelto en el Embalse de Ituango durante el año Niño considerando una remoción del 10% (Flecha azul claro = Entrada del río Peque, Flecha en azul oscuro = Entrada del rio San Andrés).







Figura 2.56. Evolución temporal y espacial de la concentración de oxígeno disuelto en el Embalse de Ituango durante el año Niño considerando una remoción del 25% (Flecha azul claro = Entrada del río Peque, Flecha en azul oscuro = Entrada del rio San Andrés).



Figura 2.57. Evolución temporal y espacial de la concentración de oxígeno disuelto en el Embalse de Ituango durante el año Niño considerando una remoción del 50% (Flecha azul claro = Entrada del río Peque, Flecha en azul oscuro = Entrada del rio San Andrés).







Figura 2.58. Evolución temporal y espacial de la concentración de oxígeno disuelto en el Embalse de Ituango durante el año Niño considerando una remoción del 75% (Flecha azul claro = Entrada del río Peque, Flecha en azul oscuro = Entrada del rio San Andrés).



Figura 2.59. Evolución temporal y espacial de la concentración de oxígeno disuelto en el Embalse de Ituango durante el año Niño considerando una remoción del 100% (Flecha azul claro = Entrada del río Peque, Flecha en azul oscuro = Entrada del rio San Andrés).







Figura 2.60. Evolución temporal y espacial de la concentración de oxígeno disuelto en el Embalse de Ituango durante el año Niño considerando una remoción de la cota 385 a 420 (Flecha azul claro = Entrada del río Peque, Flecha en azul oscuro = Entrada del rio San Andrés).



Figura 2.61. Evolución temporal y espacial de la concentración de oxígeno disuelto en el Embalse de Ituango durante el año Niño considerando una remoción combinada (Flecha azul claro = Entrada del río Peque, Flecha en azul oscuro = Entrada del río San Andrés).







Figura 2.62. Evolución temporal y espacial de la concentración de oxígeno disuelto en el Embalse de Ituango durante el año Niño considerando una remoción de pendientes menores del 75% (Flecha azul claro = Entrada del río Peque, Flecha en azul oscuro = Entrada del rio San Andrés).



Figura 2.63. Evolución temporal y espacial de la concentración de oxígeno disuelto en el Embalse de Ituango durante el año Niño considerando una remoción de pendientes menores del 100% (Flecha azul claro = Entrada del río Peque, Flecha en azul oscuro = Entrada del rio San Andrés).





2.3.3. Situación Futura: Aguas abajo

Al objeto de facilitar la visualización espacial y temporal de los resultados del tramo de río localizado aguas abajo del sitio de presa se han desarrollado 3 tipos de fichas que permiten gestionar y analizar la gran cantidad de información generada:

- **FICHA 1**. Evolución temporal de la variable en 9 puntos del río localizados aguas abajo del sitio de presa bajo diferentes condiciones climáticas iniciales de llenado de embalse.
- **FICHA 2**. Evolución temporal de la variable en 9 puntos del río localizados aguas abajo del sitio de presa bajo diferentes escenarios de remoción.
- **FICHA 3.** Evolución temporal de la anomalía en 9 puntos del río localizados aguas abajo del sitio de presa bajo diferentes escenarios de remoción. La referencia de la anomalía es el escenario remoción total.

En la figura 2.64 se presenta un ejemplo de la FICHA 1 resaltando cada uno de los paneles que la componen en color rojo. El panel 1 especifica con qué escenario de remoción se realiza la simulación de calidad del agua y la descripción de la variable analizada. El panel 2 muestra la situación de los 9 puntos de control. El panel 3 recoge la leyenda común a todos los gráficos donde se especifica el estilo de la línea que representa cada uno de los escenarios climáticos donde se comienza la simulación. El panel 4 se corresponde con la evolución temporal de la variable a analizar en los 9 puntos de control seleccionados (Leyenda resaltada con círculos de color cian). En color de escalas de grises se muestran los valores obtenidos para la situación actual del río Cauca en las mismas localizaciones. El panel 5 presenta la descripción de la representación en el eje y, en este caso se grafica la variable a analizar. El panel 6 recoge la descripción de la representación del eje x, en este caso se representa el tiempo transcurrido.





Figura 2.64. Ejemplo de FICHA 1 representado la evolución temporal de la variable en 9 puntos del río localizados aguas abajo del sitio de presa bajo diferentes condiciones climáticas iniciales de llenado de embalse.

En la figura 2.65 se presenta un ejemplo de la FICHA 2 resaltando cada uno de los paneles que la componen en color rojo. El panel 1 especifica con qué escenario climático se comienza la simulación de calidad del agua y la descripción de la variable analizada. El panel 2 muestra la situación de los puntos de control del mismo modo que en la FICHA 1. El panel 3 recoge la leyenda común a todos los gráficos donde se especifica el estilo de la línea que representa cada uno de los escenarios de remoción simulados. El panel 4 se corresponde con la evolución temporal de la variable a analizar en los 9 puntos de control seleccionados. El panel 5 presenta la descripción de la representación en el eje y, en este caso se grafica la variable a analizar. El panel 6 recoge la descripción de la representación del eje x, en este caso se representa el tiempo transcurrido.



Figura 2.65. Ejemplo de FICHA 2 representado la evolución temporal de la variable en 9 puntos del río localizados aguas abajo del sitio de presa bajo diferentes escenarios de remoción.

En la figura 2.66 se presenta un ejemplo de la FICHA 3 resaltando cada uno de los paneles que la componen en color rojo. El contenido de esta ficha es el mismo que el de la FICHA 2 a excepción del panel 4. En dicho panel se muestra la evolución temporal de la anomalía a analizar en los 9 puntos de control. En este sentido, cabe señalar que la referencia de la anomalía es el escenario del río en la situación actual para cada uno de los escenarios climáticos considerados como comienzo de la simulación.



Figura 2.66. Ejemplo de FICHA 3 representado la evolución temporal de la anomalía en 9 puntos del río localizados aguas abajo del sitio de presa bajo diferentes escenarios de remoción. La referencia de la anomalía es el escenario remoción total.

Para llevar a cabo la selección de puntos a lo largo del tramo fluvial se ha utilizado la información disponible en el "Estudio de sedimentos y dinámica fluvial" que forma parte del Trabajo de Complementación de la Factibilidad proporcionado por el cliente. En dicho estudio, se zonifica el río Cauca aguas abajo del embalse en 7 tramos que se corresponden con cada uno de los Puntos 1 a 7. Adicionalmente se representa la evolución temporal en el aliviadero y las turbinas puesto que ambos aportes son las principales fuentes

Finalmente, cabe indicar que los resultados de todas las variables analizadas en el río para los 30 escenarios de modelado considerados se encuentran los Anejos del presente documento. Toda la información se encuentra recogida para un horizonte temporal de de 1 año y de 10 años.

Una vez descritas las fichas que sintetizan y facilitan la gestión y visualización de los resultados del embalse, a continuación se detallan los principales resultados obtenidos tras modelar la calidad del agua del río Cauca tras aguas abajo del sitio de presa a lo largo de 10 años para los escenarios de modelado 31 a 40, es decir, comenzando todas las simulaciones el 01/01/1992 (año Niño).



Con el fin de ilustrar dichos resultados se presenta la FICHA 2 y 3 para el oxígeno disuelto (OD), nitrato (NO3), pH, Coliformes fecales (FColi) y Coliformes totales (TColi). Posteriormente, todas las variables mencionadas se emplearán para realizar el diagnóstico de la calidad del agua atendiendo a la normativa de referencia para diferentes usos del agua (Decreto 1594 de 1984).

Oxígeno disuelto (OD)

Las figuras 2.67 y 2.68 presentan la evolución temporal del oxígeno disuelto modelado en 9 puntos del cauce fluvial. En estas figuras se observa que el comportamiento del OD a lo largo del cauce fluvial varía significativamente en función del oxígeno disuelto que entra al sistema. Durante los 6 primeros meses se observa una mayor variabilidad en función del escenario remoción planteado, obteniéndose valores de oxígeno más alto en los escenarios de remoción total. Por otro lado, se observa que a medida que nos desplazamos aguas abajo del sitio de presa disminuye la afección de la misma, aumentando los valores de oxígeno.



Figura 2.67. FICHA 2 - Evolución temporal del oxígeno disuelto en 9 puntos del río localizados aguas abajo del sitio de presa bajo diferentes escenarios de remoción.



Por el contrario, los tramos altos del río presentan una variabilidad mucho mayor debido a la influencia de la calidad del agua del caudal turbinado y aliviado, especialmente las turbinas. Dicho aporte condiciona por completo la evolución del oxígeno disuelto a lo largo de todo el río, pudiendo originar episodios de hipoxia y anoxia.

Además, cabe señalar que las principales diferencias debidas a los escenarios de remoción se registran en los primeros 200 días ya que es en esta periodo cuando se descompone la mayor parte de la materia orgánica en el embalse condicionando la calidad del agua que se alivia y turbina al río Cauca aguas abajo.



Figura 2.68. FICHA 3 - Evolución temporal de la anomalía de oxígeno disuelto en 9 puntos del río localizados aguas abajo del sitio de presa bajo diferentes escenarios de remoción. La referencia de la anomalía es el escenario remoción total.



Coliformes fecales (FColi)

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO PARA SIMULAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL EMBALSE Y AGUAS ABAJO DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO

Las figuras 2.69 y 2.70 presentan la evolución temporal de coliformes fecales modelados en 9 puntos del cauce fluvial. Nuevamente, la evolución está totalmente condicionada por los aportes del caudal turbinado y aliviado, principalmente, el aliviadero es el aporte que más influencia el comportamiento aguas abajo debido a que presenta una mayor carga de coliformes fecales. Además, es importante indicar que los coliformes fecales provienen de aportes externos al embalse por lo que las diferencias entre escenarios son pequeñas o nulas.



Figura 2.69. FICHA 2 - Evolución temporal de coliformes fecales disuelto en 9 puntos del río localizados aguas abajo del sitio de presa bajo diferentes escenarios de remoción.



Figura 2.70. FICHA 3 - Evolución temporal de la anomalía de coliformes fecales en 9 puntos del río localizados aguas abajo del sitio de presa bajo diferentes escenarios de remoción. La referencia de la anomalía es el escenario remoción total.

Coliformes totales (TColi)

Las figuras 2.71 y 2.72 detallan la evolución temporal de coliformes totales modelados en 9 puntos del cauce fluvial. El comportamiento de dicha variables es análogo al de los coliformes fecales ya que también son aportes externos al sistema y la evolución en el tramo fluvial está significativamente influenciada por las cargas contaminantes procedentes del aliviadero.





Figura 2.71. FICHA 2 - Evolución temporal de coliformes totales en 9 puntos del río localizados aguas abajo del sitio de presa bajo diferentes escenarios de remoción.





Figura 2.72. FICHA 3 - Evolución temporal de la anomalía de coliformes totales disuelto en 9 puntos del río localizados aguas abajo del sitio de presa bajo diferentes escenarios de remoción. La referencia de la anomalía es el escenario remoción total.



рΗ

Las figuras 2.73 y 2.74 presentan la evolución temporal del pH modelado en 9 puntos del cauce fluvial. En estas figuras se observa que el comportamiento del pH a lo largo del cauce fluvial está principalmente condicionado por el caudal turbinado y, en menor medida el aliviado. Ambos aportes determinan la magnitud del pH en todo tramo fluvial simulado puesto que, en este tipo de sistemas acuáticos, las altas velocidades no permiten los tiempos necesarios de residencia para que las reacciones de transformación ligadas al sistema tampón de carbonatos en el agua se produzcan. De tal modo que la magnitud del pH aguas abajo del embalse es la que marca la propia agua del embalse.

Además, cabe señalar que las principales diferencias debidas a los escenarios de remoción se registran en los primeros 200 días ya que es en esta periodo es cuando son más activas e importantes las mencionadas reacciones.



Figura 2.73. FICHA 2 - Evolución temporal del pH en 9 puntos del río localizados aguas abajo del sitio de presa bajo diferentes escenarios de remoción.





Figura 2.74. FICHA 3 - Evolución temporal de la anomalía de pH en 9 puntos del río localizados aguas abajo del sitio de presa bajo diferentes escenarios de remoción. La referencia de la anomalía es el escenario remoción total.

Finalmente, a modo de ejemplo, en la figura 2.75 se muestras la evolución temporal del oxígeno disuelto en 9 puntos del río Cauca bajo diferentes condiciones iniciales de llenado de embalse. En ellas puede observarse como oscila de forma significativa el oxígeno en el alivio y turbinas que, a su vez marcan la evolución temporal del oxígeno en el tramo fluvial. Además, como se ha mencionada previamente, la concentración de oxígeno desciende paulatinamente aguas abajo del río Cauca debido al aumento de la temperatura por el descenso en la altura.





Figura 2.75. FICHA 1 - Evolución temporal del oxígeno disuelto en 9 puntos del río localizados aguas abajo del sitio de presa bajo diferentes condiciones climáticas iniciales de llenado de embalse.

2.4. Diagnóstico de la calidad del agua

Todas las variables analizadas se han empleado para realizar el diagnóstico de la calidad del agua atendiendo, primeramente, a la normativa de referencia para diferentes usos del agua (Decreto 1594 de 1984) para el embalse y el tramo fluvial y, en segundo lugar, al estado trófico del embalse (OECD, 1992 y Carlson, 1977).

En la tabla 2.11 se recogen los límites establecidos en el Decreto 1594 de 1984 tanto para el embalse como el tramo fluvial aguas abajo del mismo. Con base en esto umbrales, se realiza el diagnóstico de la calidad del agua en ambos sistemas acuáticos.





ANEJO X

Límites establecidos en el Decreto 1594 de 1984 para las variables muestreadas											
	USOS										
Variables	Consumo (Tratamiento convencional)	Consumo (Desinfección)	Agrícola	Pecuario	Recreativo (contacto primario)	Recreativo (contacto secundario)	Preservación flora y fauna				
Coliformes fecales NMP (microorganismos/m ³)	2.00E+07	-	-	-	2.00E+05	-	-				
Coliformes totales NMP (microorganismos/m ³)	2.00E+08	1.00E+07	-	-	1.00E+07	5.00E+07	-				
Nitratos (mg/L)	10.0	10.0	-	-	-	-	-				
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	1.0	1.0	-	-	-	-	0.1				
Oxígeno disuelto (mg/L)	-	-	-	-	-	-	5.0				
рН	5.0 - 9.0	6.5 - 8.5	4.5 - 9.0	-	5.0 - 9.0	5.0 - 9.0	6.5 - 9.0				

Tabla 2.11. Valores umbrales especificados en la normativa de referencia aplicable tanto para el embalse como para el tramo fluvial.

2.4.1. Situación Actual: Río Cauca

A partir del análisis de los resultados de la evolución temporal para las variables mostradas en la tabla 2.9 se ha llevado a cabo el diagnóstico de la calidad del agua del río Cauca bajo diferentes escenarios de remoción y diferentes épocas climáticas de llenado en 3 puntos localizados en el río Cauca (estos puntos son los mismos que los seleccionados con el análisis del embalse) y 6 puntos localizados aguas abajo (los 6 primeros puntos que se han introducido en el análisis aguas abajo).

Con la clasificación de la tabla 2.12 se diagnostica que la calidad del agua en el río va a estar condicionada por la calidad del agua del río Cauca y de sus afluentes.

Para el uso de preservación de flora y fauna, los valores existentes en el río Cauca para oxigeno permiten el cumplimiento de los límites establecidos en el Decreto 1594 de 1984 el 100% del tiempo. Para el nitrógeno amoniacal se observa no se produce el cumplimiento de la norma, consecuencia de los aportes procedentes de la cuenca, superando estos los 0.4mg/l.

Para los usos recreativos (contacto primario y secundario) no se produce el cumplimiento de la norma para lo límites establecidos para los coliformes fecales y coliformes totales, como consecuencia de los aportes introducidos por el río Cauca. Para los usos de consumo se observa que se produce un cumplimiento de la norma el 100% del tiempo para amonio y nitratos. Para el caso de consumo con tratamiento de desinfección no cumple la norma de calidad de aguas, mientras que para el consumo con tratamiento convencional los porcentajes de tiempo de cumplimiento de la norma se incrementan a medida que nos desplazamos aguas abajo del río Cauca.





Anejo X

1.	USOS												
Variables	Consumo (Tratamiento convencional)												
	Transición	Intermedio	Presa	Alivio	Turbina 1	Pto1	Pto2	Pto3	Pto4	Pto5	Pto6	Pto7	
Coliformes fecales NMP	22.27	12.12	53.54	54.07	52.69	55.0	50.52	62.14	CC A	70.11	00.10	08.0	
(microoganismos/m3)	33,27	43,15	55,54	54,07	55,08	22,9	39,32	05,14	00,4	/9,11	86,10	96,9	
Coliformes totales NMP	0.5	11.25	16.66	17.02	17.02	17.24	20.77	75.24	20.62	33.01	22.00	94.16	
(microoganismos/m3)	6,5	11,20	10,00	17,02	17,02	17,54	20,77	23,34	50,65	52,91	32,88	04,10	
Nitratos (mg/L)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Oxigeno disuelto (mg/L)		-	14	1 - D				-			-		
1 0 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10		Consumo (Desinfección)											
	Transición	Intermedio	Presa	Alivio	Turbina 1	Pto1	Pto2	Pto3	Pto4	Pto5	Pto6	Pto7	
Coliformes fecales NMP													
(microoganismos/m3)	-	-	*		. (e)	- 16-	- 3	~	1.5	- 26	- 10		
Coliformes totales NMP			-		_	_							
(microoganismos/m3)	0	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Nitratos (mg/L)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Oxígeno disuelto (mg/L)			G.	121	24	1	1 2		121			14	
	Recreativo (Contacto primario)												
	Transición	Intermedio	Presa	Alivio	Turbina 1	Pto1	Pto2	Pto3	Pto4	Pto5	Pto6	Pto7	
Coliformes fecales NMP				7								1000	
(microoganismos/m3)	0	0,027	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,768	
Coliformes totales NMP							-	-					
(microoganismos/m3)	0	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Nitratos (mg/L)	2		S 1	1 22 1	1 22	72	1 2	- E - 1	- 32 -	12	12	12	
Nitrogeno amoniacal (mg/L)	-	-	14			100	-	-	~	~	-		
Oxigeno disuelto (mg/l)	-	-						-					
engene engene (mg/ c/	Recreative (Contacto secundario)												
	Transición	Intermedio	Presa	Alivio	Turbina 1	Pto1	Pto2	Pto3	Pto4	Pto5	Ptof	Pto7	
Coliformes fecales NMP													
(microoganismos/m3)	×	×	38	:•C	~	0e	۲	•	۰		Э		
Coliformes totales NMP	-	10000	-	No.			0.465	0.000	7.9943	-2.225	1943	Sec.	
(microoganismos/m3)	0	0,02	0	0,05	0	0	1,23	4,06	6,76	8,22	8,22	19,07	
Nitratos (mg/L)	· .						C _	-			-		
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Oxígeno disuelto (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		1 1			Preservació	n flora v f	auna		I			1	
	Transición	Intermedio	Presa	54.07	Turbina 1	Pto1	Pto2	Pto3	Pto4	Pto5	Ptof	Pto7	
Coliformes fecales NMP	Turbicion	Interneuro	11054	5 1,67	Turbina 1	1 101	1.02	1 100	1 10 1			1.07	
(microoganismos/m3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Coliformes totales NMP													
(microoganismos/m3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Nitratos (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	0	0.0274	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Oxígeno disuelto (mg/l)	100	99.97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
	100	55,51	100	100	100	100	100	1 100	100	100	1 100	100	

Tabla 2.12. Porcentaje de tiempo de cumplimiento de los límites establecido en el Decreto 1594de 1984 de calidad del agua en el río Cauca atendiendo a diferentes usos.

ANEJO X

2.4.2. Situación Futura: Embalse de Ituango

Normativa sobre sustancias

A partir del análisis de los resultados de la evolución temporal para las variables mostradas en 3 puntos del embalse a 3 profundidades específicas bajo diferentes escenarios de remoción y diferentes épocas climáticas de llenado (FICHA 3), se ha llevado a cabo un diagnóstico de la calidad del agua del embalse de Ituango. En dicho diagnóstico se evalúa el porcentaje del tiempo que se cumple los límites establecidos en el Decreto 1594 de 1984 para las variables muestreadas.

Ell Punto 1 corresponde con una zona de transición entre el río y el embalse, el Punto 2 una zona intermedia y el Punto 3 la zona presa del embalse.

% Tiempo que se cumplen los límites establecidos en el Decreto 1594 de 1984 para las variables muestreadas. REMOCIÓN TOTAL															
Variables	Consumo (Tratamiento convencional)		Consumo (desinfección)		USOS Recreativo (contacto primario)		Recreativo (contacto secundario)		Preservación flora y fauna		ción Iuna				
							P	UNTO) 1						
	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3
Coliformes fecales NMP (microoganismos/m3)	38.95	44.16	47.08	-	-	-	0	0	0	-	-	-	-	-	-
Coliformes totales NMP (microoganismos/m3)	26,6	28,9	31,4	18,1	18,1	18,1	18,1	18,1	18,1	18,1	18,1	18,1	-	-	-
Nitratos (mg/L)	100	100	100	100	100	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	100	100	100	100	100	100	-	-	-	-	-	-	0	0	0
Oxígeno disuelto (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	100	100
		PUNTO 2													
	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3
Coliformes fecales NMP (microoganismos/m3)	99,80	99,80	99,80	-	-	-	83,3	91	99,4	-	-	-	-	-	-
Coliformes totales NMP (microoganismos/m3)	99,8	99,8	99,8	95,4	98,1	99,8	95,4	98,1	99,8	99,8	99,8	99,8	-	-	-
Nitratos (mg/L)	100	100	100	100	100	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	100	100	100	100	100	100	-	-	-	-	-	-	98,1	59,6	90
Oxígeno disuelto (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	73	7,9	0,2
				_			P	UNTO	3				_		
	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3	z1	z2	z3
Coliformes fecales NMP (microoganismos/m3)	-	-	-	-	-	-				-	-	-	-	-	-
Coliformes totales NMP (microoganismos/m3)	99,8	99,8	99,8	99,8	99,8	####	99,8	99,8	99,8	99,8	99,8	99,8	-	-	-
Nitratos (mg/L)	100	100	100	100	100	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	100	100	100	100	100	100	-	-	-	-	-	-	99,4	44,4	55,8
Oxígeno disuelto (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,29	0,2	0,2

Tabla 2.13. Porcentaje de tiempo de cumplimiento de los límites establecido en el Decreto 1594de 1984 de calidad
del agua en la zona intermedia del embalse atendiendo a diferentes usos acuáticos.

Con los resultados de la tabla 2.13 se diagnostica que la calidad del agua en la zona va a estar condicionada por la calidad del agua proveniente aguas arriba del mismo.

En la tabla 2.13 se muestra que en el punto más cercano a la cola del embalse, los coliformes fecales y totales presentan una gran variabilidad en el porcentaje de tiempo de cumplimiento con el Decreto 1594 de 1984 independientemente del uso establecido, debido a las aguas no tratadas que entran al embalse. A medida que nos desplazamos a lo largo del embalse hacia sitio de presa (Punto 2 y Punto 3), el porcentaje de tiempo aumenta de forma generalizada por encima del 95% para todos los usos, a excepción de la capa superficial cuando se habla de usos recreativo (contacto primario). El aumento progresivo del tiempo de cumplimiento a medida que avanzamos a lo largo del embalse es consecuencia del decaimiento de los coliformes a lo largo del tiempo. Para la zona más cercana a la cola del embalse (Punto 1), el amonio cumple la norma el 100% del tiempo asociada al uso para consumo (Tratamiento convencional y desinfección). Para el uso de preservación de la flora y fauna incumple la norma, pero a medida que nos desplazamos a lo largo del embalse (Punto 2 y 3) se aumentan los porcentajes de tiempo donde se cumple la norma (60%-99% del tiempo). Esto es consecuencia por una parte por el proceso de dilución y otra por su transformación a nitratos

Finalmente, los nitratos, el oxígeno disuelto cumplen la norma el 100% del tiempo con los umbrales establecidos para todos los usos en la zona de transición (Punto 1). En la zona intermedia y sitio de presa, independientemente del uso establecido, el oxígeno disuelto presenta una variabilidad den los porcentajes de cumplimiento de la norma, siendo lo menores porcentajes registrados en las capas más profundas.

Estado trófico

Dentro del presente trabajo se recoge también el diagnóstico del estado trófico del Embalse de Ituango. El objetivo principal de dicho análisis es evaluar la capacidad de las aguas embalsadas para generar fitoplancton, ya que su metabolismo y el del resto de organismos que sustenta (zooplancton, bacterioplancton) provocan cambios en la calidad del agua que es preciso conocer para llevar a cabo una correcta gestión.

Existen distintos métodos que permiten evaluar objetivamente el estado trófico de una masa de agua. En el presente estudio se han seleccionado dos de los más ampliamente utilizados en ecología de embalses, los cuáles se detallan a continuación, así como los resultados obtenidos tras la aplicación de los mismos.

A) Clasificación trófica de la OCDE (1982)

La OCDE (1982) establece una clasificación trófica basada en límites fijos (tabla 2.14) de la media anual de fósforo total (TP, mg/m³), la media anual eufótica de clorofila 'a' (Chl, mg/m³), el valor máximo anual de clorofila 'a' (Chl max, mg/m³) y la profundidad media anual de visión del disco de Secchi (SD, m).





ANEJO X

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO PARA SIMULAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL EMBALSE Y AGUAS ABAJO DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO

Estado trófico	TP (mg/m ³)	Chl (mg/m ³)	Chl max (mg/m ³)	SD (m)
Ultraoligotrofia	≤ 4	≤ 1	≤ 2,5	≥ 12
Oligotrofia	≤ 10	≤ 2,5	≤ 8	≥ 6
Mesotrofia	10-35	2,5-8	8-25	6-3
Eutrofia	35-100	8-25	25-75	3-1,5
Hipereutrofia	≥ 100	≥ 25	≥ 75	≤ 1,5

Tabla 2.14. Clasificación trófica basada en límites fijos propuesta por la OCDE (1982).

Tras aplicar dichos criterios a los diferentes escenarios climáticos y de remoción de biomasa planteados en el presente estudio, se han obtenido resultados prácticamente análogos en cada uno de ellos, por lo que en la tabla 2.15 se muestran sólo los correspondientes al escenario climático "El Niño", ya que se considera que éste es el que representa la peor situación posible.

Facamaria		Facemaria	E	stado trófic	o según	
climático		remoción	Chl (mg/m³)	Chl max (mg/m ³)	TP max (mg/m ³)	SD (m)
	E	Sin remoción	15.71	100.21	54.46	4.47
	sada	10 % remoción	15.71	100.21	54.45	4.47
	visada No supervis	25% remoción	15.72	100.21	54.44	4.47
		50 % remoción	15.74	100.21	54.42	4.48
El Niño		75% remoción	15.76	100.21	54.39	4.48
(1992-2002)		Remoción total	15.78	100.21	54.36	4.48
		Cota 385-420	15.71	100.29	54.46	4.46
		Combinado	15.71	100.21	54.46	4.47
	per	Pendiente 75%	15.59	99.91	54.59	4.47
	Su	Pendiente 100%	15.62	100.32	54.57	4.45

Tabla 2.15. Resultados obtenidos para el estado trófico del Embalse de Ituango según los criterios de la OCDE (1982).

El hecho de que los resultados hayan sido prácticamente iguales entre escenarios revela que el comportamiento trófico del embalse no va a venir marcado por las labores de erradicación de vegetación terrestre que se lleven a cabo antes del llenado del mismo, sino que la calidad actual del río Cauca y sus afluentes afecta en mayor medida a la evolución trófica del embalse.

Así, mientras que la profundidad media anual de visión del disco de Secchi nos indica que el embalse tiende a la mesotrofia, tanto la clorofila como el fósforo total revelan la realidad del sistema, es decir, los importantes problemas de calidad del río Cauca en cuanto a aportes de nutrientes (sobre todo, fosfatos) desde la cuenca se refiere. Este hecho favorece la aparición de problemas de eutrofización.





B) <u>Índice TSI (Carlson, 1977)</u>

Otro método para evaluar objetivamente el estado trófico es el índice TSI (*Trophic Status Index*) desarrollado por Carlson (1977). Éste también tiene en cuenta la concentración media anual de la profundidad de visión del disco de Secchi y las concentraciones medias anuales superficiales del fósforo total y la clorofila 'a'.

El índice TSI se calcula aplicando las fórmulas siguientes:

 $TSI (SD) = 60 - 14_{*}41 \cdot \ln DS(m)$ $TSI (Chl) = 9_{*}81 \cdot \ln Chl \left(\frac{mg}{m^{2}}\right) + 30_{*}6$ $TSI (TP) = 14_{*}42 \cdot \ln TP \left(\frac{mg}{m^{2}}\right) + 4_{*}15$

La tabla siguiente (tabla 2.16) recoge la relación entre los diferentes estados tróficos y el valor del índice TSI obtenido para cada caso.

Estado trófico	TSI
Oligotrofia	0-30
Oligo-mesotrofia	30-40
Mesotrofia	40-50
Eutrofia moderada	50-60
Eutrofia	60-70
Eutrofia elevada	70-80
Hipereutrófico	80-100

Tabla 2.16. Escala de valores del estado trófico en los cuerpos de agua (modificado de Carlson, 1977).

A continuación, en la tabla 2.17, se muestran los resultados obtenidos tras calcular dicho índice para las tres variables mencionadas y para los mismos escenarios que el caso anterior, pues se ha dado la misma situación. Así, tal y como se puede ver en dicha tabla, los estados tróficos obtenidos con este método son análogos a los obtenidos según los criterios de la OCDE (1982). Es decir, de nuevo la profundidad del disco de Secchi establece un estado de mestrofia en el embalse, mientras que fósforo y clorofila predicen una tendencia del sistema a la eutrofización.



ANEJO X

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO PARA SIMULAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL EMBALSE Y AGUAS ABAJO DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO

Ecoopario		Ecoopario	Estado ti	ófico según II	S para
climático		remoción	SD (m)	Chl (mg/m³)	PT (mg/m³)
		Sin remoción	38.42	57.62	61.78
	ada	10 % remoción	38.41	57.62	61.78
	No supervis	25% remoción	38.41	57.63	61.78
		50 % remoción	38.40	57.64	61.77
El Niño		75% remoción	38.40	57.65	61.77
(1992-2002)		Remoción total	38.39	57.66	61.76
	da	Cota 385-420	38.44	57.62	61.78
	visad	Combinado	38.42	57.62	61.78
	lper	Pendiente 75%	38.42	57.55	61.82
	SL	Pendiente 100%	38.47	57.57	61.81

Tabla 2.17. Resultados obtenidos para el estado trófico del Embalse de Ituango según los criterios de Carlson (1977).

Con el fin de analizar también el comportamiento espacial del estado trófico, se muestra en la figura 2.76 el valor del ITS para las distintas variables a lo largo del embalse (desde la cola hasta la zona de presa). Puesto que la variabilidad entre escenarios es mínima, en la figura se muestra el escenario climático "El Niño" sin remoción de la biomasa terrestre, es decir, el peor escenario posible.

La figura 2.76 pone de manifiesto como al alejarnos de la zona de cola el ITS para la profundidad del disco de Secchi aumenta sustancialmente debido al importante proceso de sedimentación que sufren los sólidos en suspensión al llegar al embalse. Sin embargo, el ITS para el fósforo total se mantiene prácticamente constante a lo largo del espacio, es decir, el aporte de nutrientes se mantiene, mientras que aumenta la fuente de luz y se reduce la velocidad del flujo, lo que inevitablemente favorece el desarrollo de fitoplancton. Es por ello que el índice ITS para el fitoplancton se mueve en el rango de la oligo-mesotrofia y la mesotrofia en la zona riverina del embalse, aumentando exponencialmente en la zona de transición y alcanzando su máximo a lo largo de la zona lacustre.







Figura 2.76. Evolución espacial a lo largo del Embalse de Ituango (desde la zona de cola hasta la zona de presa) del índice ITS para la clorofila "a" (negro), el fósforo total (azul) y la profundidad del disco de Secchi (granate). La gradación de colores del fondo establece los diferentes estados tróficos según el valor del índice ITS (Oligotrofia = azul, Oligo-mesotrofia y Mesotrofia = verde, Eutrofia moderada y Eutrofia = amarillo, Eutrofia elevada = naranja, Hipereutrofia = rojo).

2.4.3. Situación Futura: Aguas abajo

Normativa sobre sustancias

A partir del análisis de los resultados de la evolución temporal para las variables mostradas en la tabla 2.18 en 7 puntos del río localizados aguas abajo del sitio de presa bajo diferentes escenarios de remoción y diferentes épocas climáticas de llenado (FICHA 2), se ha llevado a cabo el diagnóstico de la calidad del agua del río Cauca.

Con la clasificación de la tabla 2.18 se diagnostica que la calidad del agua en el río va a estar condicionada por la calidad del agua de los diferentes afluentes localizados aguas abajo del río Cauca y de la calidad del embalse.

Para el uso de preservación de flora y fauna, los valores existentes en el río Cauca para amonio permiten el cumplimiento de los límites establecidos en el Decreto 1594 de 1984 el 100% del tiempo. Para el oxígeno disuelto se observa que en el punto de alivio cumple la norma el 100% del tiempo. Para los puntos de vertido de las turbinas los porcentajes de tiempos son menores. Posteriormente, los valores de porcentaje de tiempo de cumplimiento de la norma va incrementándose a los largo del río Cauca.





Para los usos recreativos (contacto primario y secundario) se muestran bajos porcentajes de tiempo para el cumplimiento de la norma para lo límites establecidos para los coliformes fecales y coliformes totales, como consecuencia de los aportes introducidos por el río Ituango y el resto de afluentes. Para los usos de consumo se observa que se produce un cumplimiento de la norma el 100% del tiempo para amonio y nitratos. Al igual que sucedía con los usos recreativos, el porcentaje de los coliformes (totales y fecales) presentan bajos porcentajes de cumplimiento como consecuencia de los aportes procedentes del río Ituango y otros afluentes.

Variables	USOS									
Valiables	Consumo (Tratamiento convencional)									
	Alivio	Turbina	Punto1	Pto 2	Pto 3	Pto 4	Pto 5	Pto 6	Pto 7	
Coliformes fecales NMP (microoganismos/m3)	82,7	100	100	100	100	100	100	100	100	
Coliformes totales NMP (microoganismos/m3)	50,96	100	100	89,42	73,08	70,19	68,27	75	100	
Nitratos (mg/L)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Oxígeno disuelto (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				Consun	n <mark>o (desi</mark> n	fección)				
	Alivio	Turbina	Punto1	Pto 2	Pto 3	Pto 4	Pto 5	Pto 6	Pto 7	
Coliformes fecales NMP (microoganismos/m3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Coliformes totales NMP (microoganismos/m3)	17,31	79,81	23,08	18,27	15,38	15,38	15,38	15,38	23,08	
Nitratos (mg/L)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Oxígeno disuelto (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Recreativo (contacto primario)								
	Alivio	Turbina	Punto1	Pto 2	Pto 3	Pto 4	Pto 5	Pto 6	Pto 7	
Coliformes fecales NMP (microoganismos/m3)	11,54	69,2308	7,692	3,84	3,84	3,84	1,92	3,84	7,69	
Coliformes totales NMP (microoganismos/m3)	17,31	79,81	23,08	18,27	15,38	15,38	15,38	15,38	23,08	
Nitratos (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Oxígeno disuelto (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			Recr	eativo	(contacto	secund	ario)			
	Alivio	Turbina	Punto1	Pto 2	Pto 3	Pto 4	Pto 5	Pto 6	Pto 7	
Coliformes fecales NMP (microoganismos/m3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Coliformes totales NMP (microoganismos/m3)	27,89	100	53 , 84	48,08	38,46	28,84	25,96	34,61	54,8	
Nitratos (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Oxígeno disuelto (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Preservación flora y fauna									
	Alivio	Turbina	Punto1	Pto 2	Pto 3	Pto 4	Pto 5	Pto 6	Pto 7	
Coliformes fecales NMP (microoganismos/m3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Coliformes totales NMP (microoganismos/m3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Nitratos (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Oxígeno disuelto (mg/L)	100	57,69	65,38	70,19	75,96	82,69	97,12	99,04	99,04	

Tabla 2.18. Porcentaje de tiempo de cumplimiento del Decreto 1594 de 1984 aguas abajo del embalse atendiendo a
diferentes usos acuáticos.



2.4.4. Balance neto de emisiones de GEL

Siguiendo la metodología expuesta en la "Actividad 5: Metodología para la evaluación de los gases de efecto invernadero (GEI)" y que queda recogida en la figura 2.77, se ha realizado una estimación preliminar del balance de emisiones de gases de efecto invernadero para el escenario de remoción completa de la vegetación susceptible de ser inundada.



Figura 2.77. Esquema conceptual para el cálculo del balance neto de emisiones de GEI.

A continuación, en el esquema adjunto (Figura 2.78), se muestran los resultados obtenidos tras aplicar la metodología de la figura 2.77. Dicho balance pone de manifiesto, tal y como cabría esperar, que en relación con su superficie, el río actualmente está emitiendo a la atmósfera más CO_2 (3500 mgC/m₂·d) que el que se espera que emita el futuro embalse (1065 mgC/m₂·d). Sin embargo, la superficie del embalse es casi 4 veces la del río y la cobertura vegetal existente en la actualidad actúa de sumidero de carbono, por lo que el balance final neto es negativo, incrementándose las emisiones medias anuales en 2650 Ton C.





Figura 2.78. Balance neto de emisiones de GEI si se elimina el 100% de la vegetación existente en la cubeta del embalse. Las flechas rojas indican emisiones hacia la atmósfera, mientras que en verde se muestra la captura de carbono.

2.5. Conclusiones

- Las principales conclusiones extraídas de la aplicación del modelo de calidad en el río antes de la construcción del embalse son:
 - El oxígeno disuelto oscila entre aproximadamente 5.5 y 7.5 mg/l durante los 10 años de estudio en todo el cauce fluvial. Desde el punto de vista legislativo, la concentración de oxígeno disuelto en ningún momento es inferior a los 5 mg/l especificados en el Decreto 1594 de 1984 por lo que dicha sustancia no presentan ningún tipo de incumplimiento ni de impacto sobre la flora y fauna.
 - El dióxido de carbono fluctúa entre aproximadamente 5 y 17.5 mg/l durante los 10 años de estudio en todo el cauce fluvial. Cabe señalar que a medida que se avanza en el cauce fluvial, la concentración de dióxido de carbono desciende ligeramente y que, en cualquier caso, los valores de concentración registrados no generan impactos sobre la flora y fauna del sistema acuático. Desde el punto de vista legislativo, no existe norma de calidad asociada.
 - El nitrato varía entre aproximadamente 0 y 2 mg/l durante los 10 años de estudio presentando valores muy similares en todo el cauce fluvial. Desde el punto de vista legislativo, la concentración de nitrato en ningún momento es superior a los 10 mg/l especificados en el Decreto 1594 de 1984 por lo que dicha sustancia no presentan ningún tipo de incumplimiento ni de impacto sobre la flora y fauna.

epm®



- El fosfato oscila entre aproximadamente 0.04 y 0.1 mg/l durante los 10 años de estudio presentando valores muy similares en todo el cauce fluvial. Los valores de concentración registrados no generan impactos sobre la flora y fauna del sistema acuático. Desde el punto de vista legislativo, no existe norma de calidad asociada.
- El metano fluctúa entre aproximadamente 0 y 0.00015 mg/l durante los 10 años de estudio en todo el cauce fluvial. Cabe señalar que a medida que se avanza en el cauce fluvial, la concentración de metano aumenta debido a que sólo se genera internamente mediante procesos fisicoquímicos. Además, la magnitud de metano en el río es mucho menor que la de otros gases de efecto invernadero. Por todo ello, se espera que el metano no genere impactos sobre la flora y fauna. Desde el punto de vista legislativo, no existe norma de calidad asociada.
- Las principales conclusiones extraídas de la aplicación del modelo de calidad en el río antes de la construcción del embalse son:
 - Se trata de un embalse de tipo dimíctico en el que las aguas se mezclan completamente dos veces al año, primavera y otoño. Dicha mezcla favorece la oxigenación y autodepuración del conjunto del embalse.
 - La calidad del embalse de Ituango viene condicionada por la calidad del agua existente en el río Cauca. El análisis realizado bajo diferentes escenarios de remoción muestra apenas cambios en la calidad del embalse.
 - En las épocas de verano e invierno, además de una estratificación térmica, existe una estratificación química en la que también se distinguen claramente dos periodos de mezcla que permiten oxigenar el hipolimnion y dos periodos de estratificación en los que la concentración de oxígeno alcanza valores de anoxia. En este sentido cabe mencionar que durante periodos prolongados de estratificación los valores de oxígeno llegan a ser bajos en las zonas más profundas del embalse aunque se elimine el 100% de la vegetación susceptible de ser inundada.
 - La producción de CO2 es bastante mayor conforme más vegetación inicial hay en la cubeta del embalse, pero es importante mencionar que las entradas de materia orgánica a través del Cauca y sus afluentes también tienen un impacto sobre los procesos de descomposición muy importante. El impacto de dicho afluentes se observa incluso en el escenario con remoción total.
 - Los valores más altos de nitratos se registran en la época seca. Las concentraciones registradas han estado siempre por debajo de las normas de calidad independientemente del uso, siendo dicha norma igual a 10 mg/L.





- Los aportes externos de fosfatos al embalse condicionan completamente la disponibilidad de este nutriente en el embalse siendo en muchas ocasiones una carga elevada que facilitará el crecimiento del fitoplancton y la oportunidad para que se desarrollen bancos de macrófitas.
- La calidad del embalse es significativamente inferior durante el primer año de vida del embalse, sobre todo durante los 3 primeros meses de vida del embalse. Este hecho es consecuencia de la confluencia de dos aspectos: una época de estratificación y un aumento de las concentraciones de materia orgánica en el embalse, asociadas a la descomposición de la biomasa (bajo diferentes escenarios de remoción). Esta disminución en la calidad del agua es más significativa en la inmediaciones de zona de presa donde se localizada la mayor concentración de biomasa asociada a cobertura boscosa.
- En base a su estado trófico, el embalse de Ituango tenderá a la eutrofia sobre todo en las proximidades de la presa, es decir, en la zona lacustre. El origen de dicha eutrofia radica en el alto aporte de nutrientes, sobre todo fosfatos, desde el propio Cauca y sus afluentes, siendo poco significativo el impacto de la biomasa terrestre susceptible de ser inundada. Por lo tanto, se hace necesario mejorar la gestión de las actividades agroganaderas y de los vertidos existentes en la cuenca si se quiere erradicar o minimizar el problema.
- En el análisis realizado de los porcentajes de tiempo que se produce el cumplimiento del Decreto 1594 de 1984 para los diferentes usos analizados (consumo, recreativo y preservación flora y fauna), se concluye:
 - ✓ La calidad del agua en el Embalse de Ituango va a estar condicionada por la calidad del agua por los aportes procedentes del Río Cauca y sus afluentes.
 - ✓ Para el uso de consumo (tratamiento convencional y desinfección). Los nitratos y amonio cumplen la norma el 100% del tiempo. Los coliformes (fecales y totales) presentan mayores de porcentajes de cumplimiento a medida que nos desplazamos desde la cola del embalse hacia sitio de presa, presentando los menores valores en la cola del embalse, condicionado por los aportes procedentes del río Cauca. En la zona de transición se cumple como mínimo el 78% de tiempo, y en las inmediaciones del sitio de presa se produce cumplimiento más del 96.2% del tiempo. Esta gradación longitudinal es consecuencia del decaimiento natural que poseen los coliformes.
 - ✓ Para el uso recreativo (contacto primario y secundario). Se analiza también la variable de coliformes (fecales y totales). Presentando un comportamiento similar al detectado para el uso de consumo.
 - ✓ Para el uso de preservación de la flora y fauna. Se analizan el amonio y el oxígeno disuelto. En el caso del amonio, cerca de la cola del embalse se produce un incumplimiento de la norma, pero a medida que nos desplazamos hacia zona de presa se mejoran las condiciones, produciéndose el




cumplimiento de la norma el >75% del tiempo en la zona de transición y >95% del tiempo en zona de presa. Esta mejora en los tiempos de cumplimiento es consecuencia de los procesos de dilución y de la transformación de ese amonio en nitratos. El oxígeno disuelto presenta una variabilidad en los porcentajes de cumplimiento de la norma para el uso de preservación de flora y fauna, siendo lo menores porcentajes registrados en las capas más profundas y en las inmediaciones de sitio de presa.

- ✓ Finalmente los nitratos cumplen la norma el 100% del tiempo con los umbrales establecidos para todos los usos.
- La calidad del agua en el río Cauca aguas abajo del Embalse de Ituango va a estar condicionada por la calidad del agua que presenta el embalse en el sitio de presa y de sus afluentes localizados aguas abajo. Para los usos de consumo se observa que se produce un cumplimiento de la norma el 100% del tiempo para amonio y nitratos. Para los usos de consumo (tratamiento convencional y desinfección) y para los usos recreativos el porcentaje de los coliformes (totales y fecales) presentan bajos porcentajes de tiempo de cumplimiento del Decreto 1594 de 1984 como consecuencia de los aportes procedentes del río Ituango y otros afluentes.

Finalmente, tanto los nitratos como el amonio cumplirían con los umbrales establecidos en dicho Decreto para cualquier tipo de uso.

- En el río Cauca aguas abajo, las principales diferencias debidas a los escenarios de remoción se registran en el primer año de vida del embalse ya que es en este periodo cuando se descompone la mayor parte de la materia orgánica en el embalse condicionando la calidad del agua que se alivia y turbina al río Cauca aguas abajo.
- El balance neto de emisiones de GEI pone de manifiesto el hecho de que, aunque los ríos tienden a emitir más carbono por unidad de superficie que los embalses, la remoción del 100% de la vegetación terrestre no consigue contrarrestar el impacto de la nueva masa de agua sobre las emisiones, pues su gran extensión junto con la pérdida de vegetación terrestre (sumidero de C) originan un balance final neto negativo.



2.6. Referencias

- Agostinho, A.A., Gomes, L.C., y Mayer Pelicice, F. (2007). Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatorios do Brasil. Editora da Universidade Estadual de Maringá.501p.
- Carlson, R.E. (1977). A trophic state index for lakes. Limnol. Oceanogr., 23: 36 1-369.
- Cortés, E. 1989: Estudio del Régimen de Temperaturas en Colombia. HIMAT. Bogotá, Colombia.
- Guérin, F. (2006). Emission de gaz a effet de serre (CO2, CH4) par une retenue de barrage hydroélectrique en zone tropicale (Petit-Saut, Guyane française): expérimentation et modélisation. Ph.D. thesis, Université Paul Sabatier (Toulouse III). 246 pp.
- Guérin, F., Abril, G., Serça, D., Delon, C., Richard, S., Delmas, R. & Varfalry, L. (2007). Gas transfer velocities of CO2 and CH4 in a tropical reservoir and its river downstream. Journal of Marine Systems 66: 161–172.
- O'Connor, D. & Dobbins, W. (1956). The mechanism of reaeration in natural streams. ASCE. 82 (no. SA6): 469. J.San.Eng. ASCE 82 (no. SA6): 469. 34.
- OCDE, (1982). Eutrophisation des eaux. Métodes de surveillance, d'evaluation et de lutte. Paris. 164 pp.
- Ploskey, G. R. (1985). Impacts of terrestrial vegetation and preimpoundment clearing on reservoir ecology and fisheries in the United States and Canada. FAO Fisheries Technical Paper, Rome, no. 258. 35p., ill.
- Roldán, G. & Ramírez, J.J. (2008). Fundamentos de limnología neotropical. Universidad de Antioquia. 2ª ed. Medellín, Colombia.
- Smits, J., Boderie, P. & van Beek, J. (2009). Modelling of the Nam Theun 2 Reservoir. Water quality and greenhouse gases emissions. Research report. EDF, Centre d'Ingénierie Hydraulique.

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO PARA SIMULAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL EMBALSE Y AGUAS ABAJO DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO



Apéndice I



APÉNDICE I

DESCRIPCIÓN DE LAS FICHAS DE LOS RESULTADOS DE CALIDAD DEL AGUA DEL EMBALSE DE ITUANGO



1. DESCRIPCIÓN DE LAS FICHAS DE RESULTADOS DE LA CALIDAD DEL EMBALSE DE ITUANGO

Al objeto de facilitar la visualización espacial y temporal de los resultados del embalse se han desarrollado 5 tipos de fichas que permiten gestionar y analizar la gran cantidad de información generada:

- **FICHA 1.** Evolución temporal de la variable en distintos puntos del embalse en toda la columna de agua, bajo diferentes escenarios de remoción para cada uno de los inicios de llenado de embalse.
- **FICHA 2**. Evolución temporal de la variable en distintos puntos del embalse en 3 profundidades específicas bajo diferentes condiciones iniciales de llenado de embalse.
- **FICHA 3**. Evolución temporal de la variable en distintos puntos del embalse en 3 profundidades específicas bajo diferentes escenarios de remoción.
- **FICHA 4.** Evolución temporal de la anomalía en distintos puntos del embalse en 3 profundidades específicas bajo diferentes escenarios de remoción. La referencia de la anomalía es el escenario remoción total.
- **FICHA 5.** Evolución espacial de la variable a lo largo del perfil longitudinal del embalse para distintas fechas durante el primer año de evolución bajo diferentes escenarios de remoción y de condiciones iniciales de llenado del embalse.





En la figura AI.1 se presenta un ejemplo de la FICHA 1 resaltando cada uno de los paneles que la componen en color rojo. El panel 1 especifica con qué escenario climático se comienza la simulación de calidad del agua y la descripción de la variable analizada. El panel 2 muestra la situación de los puntos de control seleccionados (Leyenda resaltada con círculos de color cian) para la representación así como la leyenda empleada para cada uno de ellos. En el embalse se han seleccionado 3 puntos de control donde el punto 1 se localiza en la cola del embalse, el Punto 2 en la zona media del embalse y el Punto 3 en el sitio de Presa. El panel 3 representa las unidades de la variable a analizar. El panel 4 se corresponde con el escenario de remoción de tal forma que cada fila representa un escenario de remoción. El panel 5 presenta la descripción de la representación en el eje y, en este caso se grafica toda la columna de agua. El panel 6 recoge la descripción de la representación del eje x, en este caso se representa el tiempo transcurrido.



Figura AI.1. **FICHA 1**. Evolución temporal de la variable en distintos puntos del embalse en toda la columna de agua, bajo diferentes escenarios de remoción para cada uno de los inicios de llenado de embalse.





En la figura AI.2 se presenta un ejemplo de la FICHA 2 resaltando cada uno de los paneles que la componen en color rojo. El panel 1 especifica con qué escenario de remoción se realiza la simulación de calidad del agua y la descripción de la variable analizada. El panel 2 muestra la situación de los puntos de control del mismo modo que en la FICHA 1. El panel 3 recoge la leyenda común a todos los gráficos donde se especifica el estilo de la línea que representa cada uno de los escenarios climáticos donde se comienza la simulación. El panel 4 se corresponde con la evolución temporal de la variable a analizar en los 3 puntos de control seleccionados (Leyenda resaltada con círculos de color cian) en 3 profundidades de tal forma que, por una parte, cada fila representa una profundidad diferente del embalse (arriba-superficie, centro-medio, abajo-fondo) y, por la otra, cada columna representa cada uno de los puntos de control, centro-Punto2, derecha-Punto3). El panel 5 presenta la descripción de la representación en el eje y, en este caso se grafica la variable a analizar. El panel 6 recoge la descripción de la representación del eje x, en este caso se representa el tiempo transcurrido.



Figura AI.2. **FICHA 2**. Evolución temporal de la variable en distintos puntos del embalse en 3 profundidades específicas bajo diferentes condiciones iniciales de llenado de embalse.



En la figura AI.3 se presenta un ejemplo de la FICHA 3 resaltando cada uno de los paneles que la componen en color rojo. El panel 1 especifica con qué escenario climático se comienza la simulación de calidad del agua y la descripción de la variable analizada. El panel 2 muestra la situación de los puntos de control del mismo modo que en la FICHA 1 y 2. El panel 3 recoge la leyenda común a todos los gráficos donde se especifica el estilo de la línea que representa cada uno de los escenarios de remoción simulados. El panel 4 se corresponde con la evolución temporal de la variable a analizar en los 3 puntos de control seleccionados (Leyenda resaltada con círculos de color cian) en 3 profundidades de tal forma que, por una parte, cada fila representa una profundidad diferente del embalse (arriba-superficie, centro-medio, abajo-fondo) y, por la otra, cada columna representa cada uno de los puntos de control, centro-Punto2, derecha-Punto3). El panel 5 presenta la descripción de la representación en el eje y, en este caso se grafica la variable a analizar. El panel 6 recoge la descripción de la representación del eje x, en este caso se representa el tiempo transcurrido.



Figura AI.3. **FICHA3.** Evolución temporal de la variable en distintos puntos del embalse en 3 profundidades específicas bajo diferentes escenarios de remoción.





En la figura AI.4 se presenta un ejemplo de la FICHA 4 resaltando cada uno de los paneles que la componen en color rojo. El contenido de esta ficha es el mismo que el de la FICHA 3 a excepción del panel 4. En dicho panel se muestra la evolución temporal de la anomalía a analizar en los 3 puntos de control seleccionados (Leyenda resaltada con círculos de color cian) en 3 profundidades de tal forma que, por una parte, cada fila representa una profundidad diferente del embalse (arriba-superficie, centro-medio, abajo-fondo) y, por la otra, cada columna representa cada uno de los puntos de control (izquierda-Punto1, centro-Punto2, derecha-Punto3). En este sentido, cabe señalar que la referencia de la anomalía es el escenario remoción total para cada uno de los escenarios climáticos considerados como comienzo de la simulación.



Figura AI.4. **FICHA 4.** Evolución temporal de la anomalía en distintos puntos del embalse en 3 profundidades específicas bajo diferentes escenarios de remoción. La referencia de la anomalía es el escenario remoción total.



En la figura AI.5 se presenta un ejemplo de la FICHA 5 resaltando cada uno de los paneles que la componen en color rojo. El panel 1 muestra la variable analizada así como sus unidades. El panel 2 especifica con qué escenario climático se comienza la simulación de calidad del agua y el escenario de remoción considerado. Además, la ficha recoge la evolución espacial a lo largo del perfil longitudinal de todo el embalse en 6 fechas diferentes ilustrando el comportamiento a lo largo del año de la variable analizada, comenzando en la figura superior izquierda y concluyendo con la figura inferior derecha.

Finalmente, cabe indicar que los resultados de todas las variables analizadas en el embalse para los 30 escenarios de modelado considerados se encuentran en el Apéndice II. Calidad del agua del embalse del presente informe.



Figura AI.5. **FICHA 5.** Evolución espacial de la variable a lo largo del perfil longitudinal del embalse para distintas fechas durante el primer año de evolución bajo diferentes escenarios de remoción y de condiciones iniciales de llenado del embalse.

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO PARA SIMULAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL EMBALSE Y AGUAS ABAJO DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO



Apéndice II



APÉNDICE II

DESCRIPCIÓN DE LAS FICHAS DE LOS RESULTADOS DE CALIDAD DEL AGUA EN EL TRAMO DE RÍO LOCALIZADO AGUAS ABAJO DEL EMBALSE



1. DESCRIPCIÓN DE LAS FICHAS DE RESULTADOS DE LA CALIDAD DEL TRAMOS DE RÍO LOCALIZADO AGUAS DEBAJO DE SITIO DE PRESA DEL PHI.

Al objeto de facilitar la visualización espacial y temporal de los resultados del tramo de río localizado aguas abajo del sitio de presa se han desarrollado 3 tipos de fichas que permiten gestionar y analizar la gran cantidad de información generada:

- **FICHA 1**. Evolución temporal de la variable en 9 puntos del río localizados aguas abajo del sitio de presa bajo diferentes condiciones climáticas iniciales de llenado de embalse.
- **FICHA 2**. Evolución temporal de la variable en 9 puntos del río localizados aguas abajo del sitio de presa bajo diferentes escenarios de remoción.
- **FICHA 3.** Evolución temporal de la anomalía en 9 puntos del río localizados aguas abajo del sitio de presa bajo diferentes escenarios de remoción. La referencia de la anomalía es el escenario remoción total.

En la figura AII.1 se presenta un ejemplo de la FICHA 1 resaltando cada uno de los paneles que la componen en color rojo. El panel 1 especifica con qué escenario de remoción se realiza la simulación de calidad del agua y la descripción de la variable analizada. El panel 2 muestra la situación de los 9 puntos de control. El panel 3 recoge la leyenda común a todos los gráficos donde se especifica el estilo de la línea que representa cada uno de los escenarios climáticos donde se comienza la simulación. El panel 4 se corresponde con la evolución temporal de la variable a analizar en los 9 puntos de control seleccionados (Leyenda resaltada con círculos de color cian). El panel 5 presenta la descripción de la representación del eje x, en este caso se representa el tiempo transcurrido.





Figura AII.1. **FICHA 1**. Evolución temporal de la variable en 9 puntos del río localizados aguas abajo del sitio de presa bajo diferentes condiciones climáticas iniciales de llenado de embalse.

En la figura AII.2 se presenta un ejemplo de la FICHA 2 resaltando cada uno de los paneles que la componen en color rojo. El panel 1 especifica con qué escenario climático se comienza la simulación de calidad del agua y la descripción de la variable analizada. El panel 2 muestra la situación de los puntos de control del mismo modo que en la FICHA 1. El panel 3 recoge la leyenda común a todos los gráficos donde se especifica el estilo de la línea que representa cada uno de los escenarios de remoción simulados. El panel 4 se corresponde con la evolución temporal de la variable a analizar en los 9 puntos de control seleccionados. El panel 5 presenta la descripción de la representación en el eje y, en este caso se grafica la variable a analizar. El panel 6 recoge la descripción de la representación del eje x, en este caso se representa el tiempo transcurrido.





Figura AII.2. **FICHA 2.** Evolución temporal de la variable en 9 puntos del río localizados aguas abajo del sitio de presa bajo diferentes escenarios de remoción.



- AX.AII.3 -



En la figura AII.3 se presenta un ejemplo de la FICHA 3 resaltando cada uno de los paneles que la componen en color rojo. El contenido de esta ficha es el mismo que el de la FICHA 2 a excepción del panel 4. En dicho panel se muestra la evolución temporal de la anomalía a analizar en los 9 puntos de control. En este sentido, cabe señalar que la referencia de la anomalía es el escenario remoción total para cada uno de los escenarios climáticos considerados como comienzo de la simulación.





Figura AII.3. **FICHA3**. Evolución temporal de la anomalía en 9 puntos del río localizados aguas abajo del sitio de presa bajo diferentes escenarios de remoción. La referencia de la anomalía es el escenario remoción total.



IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO PARA SIMULAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL EMBALSE Y AGUAS ABAJO DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO



Apéndice III



APÉNDICE III

FICHAS 2. EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LAS VARIABLES EN DISTINTOS PUNTOS DEL EMBALSE BAJO DIFERENTES ESCENARIOS DE REMOCIÓN EN CADA ESCENARIO CLIMÁTICO





acuática

	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

Banco Interamericano de Desarrollo





Escenario medio (1993-1994) Variable: Dióxido de carbono (g/m)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

(*) WGS 1984 UTM Zone 18







Escenario medio (1993-1994) Variable: Carbono orgánico disuelto (gC/ñ)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	٠
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

BID Banco Interamericano de Desarrollo





Escenario medio (1993-1994) Variable: Amonio (gN/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

(*) WGS 1984 UTM Zone 18





acuática





Escenario medio (1993-1994) Variable: Oxígeno disuelto (g/ri)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

pm[®] BID Banco Interamericano de Desarrollo







Escenario medio (1993-1994) Variable: Fosfato (gP/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

Banco Interamericano de Desarrollo

(*) WGS 1984 UTM Zone 18





Escenario medio (1993-1994) Variable: Carbono orgánico particulado (gC/ñ)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	







Escenario medio (1993-1994) Variable: Temperatura (°C)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	٠
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

pm[®] BID Banco Interamericano de Desarrollo



Banco Interamericano de Desarrollo

Leyenda

acuática





Escenario La Niña (1988-1989) Variable: Dióxido de carbono (g/m)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

(*) WGS 1984 UTM Zone 18







Escenario La Niña (1988-1989) Variable: Carbono orgánico disuelto (gC/ñ)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	٠
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

pm[®] BID Banco Interamericano de Desarrollo





Escenario La Niña (1988-1989) Variable: Amonio (gN/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

PM[®] BID Banco Interamericano de Desarrollo





Escenario La Niña (1988-1989) Variable: Nitrato (gN/m)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

(*) WGS 1984 UTM Zone 18







Escenario La Niña (1988-1989) Variable: Oxígeno disuelto (g/㎡)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

epm[®] SBID Banco Interamericano de Desarrollo




Escenario La Niña (1988-1989) Variable: pH



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	٠
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

Banco Interamericano de Desarrollo





Escenario La Niña (1988-1989) Variable: Fosfato (gP/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	Ö
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	







Escenario La Niña (1988-1989) Variable: Carbono orgánico particulado (gC/n)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	







Escenario La Niña (1988-1989) Variable: Temperatura (°C)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	٠
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

BID Banco Interamericano de Desarrollo









Escenario El Niño (1992-1993) Variable: Carbono orgánico disuelto (gC/n)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	٠
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

de Desarrollo





Escenario El Niño (1992-1993) Variable: Amonio (gN/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	







Escenario El Niño (1992-1993) Variable: Nitrato (gN/m)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	٠
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

pm[®] BID Banco Interamericano de Desarrollo





Escenario El Niño (1992-1993) Variable: Oxígeno disuelto (g/㎡)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

Banco Interamericano de Desarrollo







Escenario El Niño (1992-1993) Variable: Fosfato (gP/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	







Escenario El Niño (1992-1993) Variable: Carbono orgánico particulado (gC/it)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	٠
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

Banco Interamericano de Desarrollo





Escenario El Niño (1992-1993) Variable: Temperatura (°C)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	٠
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	











Escenario medio (1993-1994) Variable: Carbono orgánico disuelto (gC/m ³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

de Desarrollo





aquática





Escenario medio (1993-1994) Variable: Oxígeno disuelto (g/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

epm[®] SBID Banco Interamericano de Desarrollo











Escenario medio (1993-1994) Variable: Temperatura (°C)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	.
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	









Escenario La Niña (1988-1989) Variable: Carbono orgánico disuelto (gC/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

PM[®] BID Banco Interamericano de Desarrollo

















Escenario La Niña (1988-1989) Variable: Temperatura (°C)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	










Escenario El Niño (1992-1993) Variable: Carbono orgánico disuelto (gC/m ³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

Banco Interamericano de Desarrollo









Escenario El Niño (1992-1993) Variable: Oxígeno disuelto (g/m 3)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	<u>ا</u>
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

Banco Interamericano de Desarrollo











Escenario El Niño (1992-1993) Variable: Temperatura (°C)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	





Escenario medio (1993-2003) Variable: Fitoplancton (mgChla/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

(*) WGS 1984 UTM Zone 18

Banco Interamericano de Desarrollo





Escenario medio (1993-2003) Variable: Dióxido de carbono (g/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	







Escenario medio (1993-2003) Variable: Carbono orgánico disuelto (gC/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

pm[®] BID Banco Interamericano de Desarrollo







Escenario medio (1993-2003) Variable: Nitrato (gN/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	







Escenario medio (1993-2003) Variable: Oxígeno disuelto (g/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	









Escenario medio (1993-2003) Variable: Fosfato (gP/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	•
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

de Desarrollo





Escenario medio (1993-2003) Variable: Carbono orgánico particulado (gC/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	





del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango

Escenario medio (1993-2003) Variable: Temperatura (°C)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	







Escenario La Niña (1988-1998) Variable: Fitoplancton (mgChla/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	•
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

de Desarrollo



aquática





Escenario La Niña (1988-1998) Variable: Carbono orgánico disuelto (gC/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

om[®] BID Banco Interamericano de Desarrollo



aquática

Leyenda

.

Banco Interamericano de Desarrollo





1900 2280 2660

1900 2280 2660

1.5

 (gN/m^3)

3040

3040

	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	







Escenario La Niña (1988-1998) Variable: Oxígeno disuelto (g/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	•
Punto 2	410830.133198	774604.500177	i.
Punto 3	426732.540909	788412.807151	









Escenario La Niña (1988-1998) Variable: Fosfato (gP/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

(*) WGS 1984 UTM Zone 18

0.15

 (gP/m^3)







Escenario La Niña (1988-1998) Variable: Carbono orgánico particulado (gC/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	







Escenario La Niña (1988-1998) Variable: Temperatura (°C)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	





Resultados de la calidad del agua

Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango

Escenario El Niño (1992-2002) Variable: Fitoplancton (mgChla/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	







Escenario El Niño (1992-2002) Variable: Dióxido de carbono (g/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	







Escenario El Niño (1992-2002) Variable: Carbono orgánico disuelto (gC/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

BID Banco Interamericano

de Desarrollo





Escenario El Niño (1992-2002) Variable: Amonio (gN/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	•
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	







Escenario El Niño (1992-2002) Variable: Nitrato (gN/m³)

3040 3420

3040 3420

3040

1.5

 (gN/m^3)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

Banco Interamericano de Desarrollo





Escenario El Niño (1992-2002) Variable: Oxígeno disuelto (g/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	









Escenario El Niño (1992-2002) Variable: Fosfato (gP/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

de Desarrollo

Banco Interamericano

0.15

 (gP/m^3)




	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	•
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	







Escenario El Niño (1992-2002) Variable: Temperatura (°C)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	





del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango Escenario medio (1993-2003) Variable: Fitoplancton (mgChla/m³)

aquática

Longitud Leyenda 403801.972516 749825.759207 410830.133198 774604.500177 426732.540909 788412.807151

> Banco Interamericano de Desarrollo





Le	gitud	LON	utua	Lat		
	.759207	74982	1.972516	403801	unto 1	Ρι
	.500177	774604	0.133198	410830	unto 2	Рι
	.807151	78841	2.540909	426732	unto 3	Pu
	.807151	78841	2.540909 M Zone	426732	unto 3	Pu
;y	Ley	5.759207 4.500177 2.807151	749825.759207 774604.500177 788412.807151	Idd Longitud Ley 972516 749825.759207	Latitud Longitud Ley 403801.972516 749825.759207	Latitud Longitud Ley into 1 403801.972516 749825.759207 into 2 410830.133198 774604.500177 into 3 426732.540909 788412.807151 WGS 1984 UTM Zone 18 18

Banco Interamericano de Desarrollo

1520 1900 2280 2660 3040 3420

16 (g/m^3)

Tiempo (días)

14





Escenario medio (1993-2003) Variable: Carbono orgánico disuelto (gC/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	•
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	











Escenario medio (1993-2003) Variable: Nitrato (gN/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	•
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	









Escenario medio (1993-2003) Variable: Oxígeno disuelto (g/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	٠
Punto 2	410830.133198	774604.500177	i.
Punto 3	426732.540909	788412.807151	









Escenario medio (1993-2003) Variable: Fosfato (gP/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	i.
Punto 3	426732.540909	788412.807151	







Escenario medio (1993-2003) Variable: Carbono orgánico particulado (gC/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	









	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	•
Punto 2	410830.133198	774604.500177	i.
Punto 3	426732.540909	788412.807151	











Escenario La Niña (1988-1998) Variable: Dióxido de carbono (g/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	







Escenario La Niña (1988-1998) Variable: Carbono orgánico disuelto (gC/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	•
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

Banco Interamericano de Desarrollo

e





Escenario La Niña (1988-1998) Variable: Amonio (gN/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	







Escenario La Niña (1988-1998) Variable: Nitrato (gN/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	i.
Punto 3	426732.540909	788412.807151	









Escenario La Niña (1988-1998) Variable: Oxígeno disuelto (g/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	











Escenario La Niña (1988-1998) Variable: Fosfato (gP/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	







Escenario La Niña (1988-1998) Variable: Carbono orgánico particulado (gC/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	•
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	







Escenario La Niña (1988-1998) Variable: Temperatura (°C)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	i.
Punto 3	426732.540909	788412.807151	











Escenario El Niño (1992-2002) Variable: Dióxido de carbono (g/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	i.
Punto 3	426732.540909	788412.807151	







Escenario El Niño (1992-2002) Variable: Carbono orgánico disuelto (gC/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	i.
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

epm[®] SBID Banco Interamericano de Desarrollo





Escenario El Niño (1992-2002) Variable: Amonio (gN/m³)

	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

Banco Interamericano de Desarrollo









	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	i.
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

Banco Interamericano de Desarrollo







Escenario El Niño (1992-2002) Variable: Oxígeno disuelto (g/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	i.
Punto 3	426732.540909	788412.807151	











Escenario El Niño (1992-2002) Variable: Fosfato (gP/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	







Escenario El Niño (1992-2002) Variable: Carbono orgánico particulado (gC/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	•
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

epm[®] SBID Banco Interamericano de Desarrollo





Escenario El Niño (1992-2002) Variable: Temperatura (°C)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	•
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	



IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO PARA SIMULAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL EMBALSE Y AGUAS ABAJO DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO



APÉNDICE IV



APÉNDICE IV

FICHAS 2. EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LAS VARIABLES EN DISTINTOS PUNTOS DEL EMBALSE BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE LLENADO








Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango

Escenario: Sin remoción Variable: Carbono orgánico disuelto (gC/m³)

		1		
Ark an			n e	
and the	12	國人		
The P		a de		/
The l				
ti S				
			-	
		14.2	ALC: N	
	le a to	2. Antimese Tank (Versionen gemeinter ander 1997) anter gemeinter anter 1997 genter	1995 - San	0.4 1
	Lotitud	Longitud	Louanda	

	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	•
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

























Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango

Escenario: 10% de remoción Variable: Carbono orgánico disuelto (gC/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

























1 =

aquática

	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	•
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

























Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango

Escenario: 50% de remoción Variable: Carbono orgánico disuelto (gC/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207)
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	











aquática














Escenario: 75% de remoción Variable: Carbono orgánico disuelto (gC/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

























Escenario: Remoción total Variable: Carbono orgánico disuelto (gC/m³)

heitze die			<u>)</u>	
	14Th	Jun Y		4
Priv			and for	in the second se
	F			
		的合	1	
Size?				4
			A.S.	-3
17 17 C		and a second		
- at	de la la			
		5 hr		
		4.3	Sure-	110
	a an	Anthrea Tori, Paratimos Transitionarios De Transition Aparaghia 1994, 1997, aphas	and the contrast of the second s	
	Latitud	Longitud	Levenda	

	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

























Escenario: Cota 385-420 m Variable: Carbono orgánico disuelto (gC/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

























Escenario: Combinado Variable: Carbono orgánico disuelto (gC/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	
























Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango

Escenario: Pendiente 75% Variable: Carbono orgánico disuelto (gC/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	



















Escenario El Niño (1992-2002)







Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango

Escenario: Sin remoción Variable: Carbono orgánico disuelto (gC/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

Banco Interamericano de Desarrollo



Escenario medio (1993-2003)

Escenario El Niño (1992-2002)

de Desarrollo

Escenario La Niña (1988-1998)









	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	Ĩ
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	





Escenario El Niño (1992-2002)



Banco Interamericano de Desarrollo









Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango

Escenario: 10% de remoción Variable: Carbono orgánico disuelto (gC/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	



Escenario medio (1993-2003) Escenario La Niña (1988-1998) Escenario El Niño (1992-2002)











 Latitud
 Longitud
 Leyenda

 Punto 1
 403801.972516
 749825.759207
 ●

 Punto 2
 410830.133198
 774604.500177
 ■

 Punto 3
 426732.540909
 788412.807151
 ▶

(*) WGS 1984 UTM Zone 18







Escenario El Niño (1992-2002)



Escenario medio (1993-2003)

Banco Interamericano de Desarrollo

Escenario La Niña (1988-1998)




de Desarrollo

Escenario medio (1993-2003)





Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango

Escenario: 25% de remoción Variable: Carbono orgánico disuelto (gC/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

Escenario medio (1993-2003) Escenario La Niña (1988-1998) Escenario El Niño (1992-2002)







Banco Interamericano de Desarrollo





Latitud Longitud Leyenda Punto 1 403801.972516 749825.759207 Punto 2 410830.133198 774604.500177 Punto 3 426732.540909 788412.807151 (*) WGS 1984 UTM Zone 18





aquática

.

de Desarrollo

Escenario La Niña (1988-1998)





Banco Interamericano de Desarrollo

Escenario La Niña (1988-1998)





Escenario medio (1993-2003)





Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango

Escenario: 50% de remoción Variable: Carbono orgánico disuelto (gC/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	Õ
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

pm[®] BID Banco Interamericano de Desarrollo







Escenario medio (1993-2003)

Escenario El Niño (1992-2002)







	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	O
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

BID Banco Interamericano de Desarrollo





aquática



Banco Interamericano de Desarrollo









Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango

Escenario: 75% de remoción Variable: Carbono orgánico disuelto (gC/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	O
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	



Escenario medio (1993-2003) — Escenario La Niña (1988-1998) —

Escenario El Niño (1992-2002)







Escenario medio (1993-2003)

Escenario La Niña (1988-1998)

Escenario El Niño (1992-2002)





	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	









Escenario medio (1993-2003)

Escenario El Niño (1992-2002)

Banco Interamericano de Desarrollo







aquática

Leyenda

Banco Interamericano de Desarrollo

Escenario medio (1993-2003) Escenario La Niña (1988-1998)










 Punto 1
 403801.972516
 749825.759207

 Punto 2
 410830.133198
 774604.500177

 Punto 3
 426732.540909
 788412.807151

 (*) WGS 1984 UTM Zone 18







Escenario El Niño (1992-2002)



Escenario medio (1993-2003) Escenario La Niña (1988-1998)









Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango

Escenario: Cota 385-420 m Variable: Carbono orgánico disuelto (gC/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

Escenario medio (1993-2003) Escenario La Niña (1988-1998) Escenario El Niño (1992-2002)





Escenario medio (1993-2003)

Escenario El Niño (1992-2002)



Escenario medio (1993-2003)





	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	O
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	















Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango

Escenario: Combinado Variable: Carbono orgánico disuelto (gC/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	



Escenario medio (1993-2003) Escenario La Niña (1988-1998) Escenario El Niño (1992-2002)











	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	O
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	







Escenario La Niña (1988-1998)









Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango

Escenario: Pendiente 75% Variable: Carbono orgánico disuelto (gC/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	



Escenario medio (1993-2003) Escenario La Niña (1988-1998) Escenario El Niño (1992-2002)











	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	Ö n
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	







Escenario medio (1993-2003) Escenario La Niña (1988-1998)

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO PARA SIMULAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL EMBALSE Y AGUAS ABAJO DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO



Apéndice V



APÉNDICE V

FICHAS 3. EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LAS VARIABLES EN DISTINTOS PUNTOS DEL EMBALSE BAJO DIFERENTES ESCENARIOS DE REMOCIÓN








Escenario: medio (1993-1994) Variable: Carbono orgánico disuelto (gC/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	









 Punto 2
 410830.133198
 774604.500177

 Punto 3
 426732.540909
 788412.807151

 (*) WGS 1984 UTM Zone 18









Escenario: medio (1993-1994) Variable: pH



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

om[®] **BID** Banco Interamericano de Desarrollo















Escenario: La Niña (1988-1989) Variable: Carbono orgánico disuelto (gC/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	•
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

epm[®] SBID Banco Interamericano de Desarrollo











	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

















Escenario: El Niño (1992-1993) Variable: Carbono orgánico disuelto (gC/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207)
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

epm[®] SBID Banco Interamericano de Desarrollo







aquática

3801.972516	749825.759207	٠
0830.133198	774604.500177	
6732.540909	788412.807151	
	0830.133198 6732.540909	0830.133198 774604.500177 6732.540909 788412.807151

Banco Interamericano

de Desarrollo



















GRUPDELEMENTAL

aquática

	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

Banco Interamericano de Desarrollo










	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	Ö
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

















Escenario: La Niña (1988-1998) Variable: Carbono orgánico disuelto (gC/m³)



	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	













	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

Banco Interamericano de Desarrollo













aquática

Leyenda











	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	O
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

Banco Interamericano de Desarrollo







IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO PARA SIMULAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL EMBALSE Y AGUAS ABAJO DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO



Apéndice VI



APÉNDICE VI

FICHAS 4. EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA ANOMALÍA EN DISTINTOS PUNTOS DEL EMBALSE BAJO DIFERENTES ESCENARIOS DE REMOCIÓN





	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	•
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

pm[®] BID Banco Interamericano de Desarrollo









1 2

GRUPDELEMENTEL

aquática

	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

Banco Interamericano de Desarrollo









	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	














	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207)
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

PM[®] BID Banco Interamericano de Desarrollo









	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

Banco Interamericano de Desarrollo







	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	







	12030-0102-002	122200	D- EMARCANDER
Punto 1	403801.972516	749825.759207) Ö
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	
(*) WGS 1	984 LITM Zone	18	5











	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	•
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

PM[®] BID Banco Interamericano de Desarrollo









	Latitud	Longitud	Leyenda
Punto 1	403801.972516	749825.759207	۲
Punto 2	410830.133198	774604.500177	
Punto 3	426732.540909	788412.807151	

Banco Interamericano de Desarrollo








































































IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO PARA SIMULAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL EMBALSE Y AGUAS ABAJO DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO



Apéndice VII



APÉNDICE VII

FICHAS 5. EVOLUCIÓN ESPACIAL DE LAS VARIABLES A LO LARGO DEL PERFIL LONGITUDINAL DEL EMBALSE

Remoción Combinada - Año Niño



Remoción Pte75 - Año Niño



Remoción Pte100 - Año Niño



Remoción 0 - Año Niño



Remoción 10 - Año Niño



Remoción 25 - Año Niño



Remoción 50 - Año Niño



Remoción 75 - Año Niño



Remoción 100 - Año Niño



Remoción 385-420 - Año Niño



IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO PARA SIMULAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL EMBALSE Y AGUAS ABAJO DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO



APÉNDICE VIII



APÉNDICE VIII

FICHAS 1. EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA VARIABLES EN DISTINTOS PUNTOS DEL RÍO BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE LLENADO















Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango

Escenario: Sin remoción Variable: Amonio (gN/m³)

2. 4 . 10	UTM X	UTM Y	Leyenda
Alivio	428052.66	789113.19	•
Turbinas	428539.94	789065.13	
Punto 1	437113.50	795839.58	
Punto 2	451665.00	80166.50	
Punto 3	462910.97	812189.50	
Punto 4	465220.31	824016.69	
Punto 5	467658.75	845867.63	•
Punto 6	472547.84	855653.31	
Punto 7	480345.88	884493.50	



(*) WGS 1984 UTM Zone 18












Escenario: Sin remoción Variable: Fosfato (gP/m³)

L mily	UTM X	UTM Y	Leyenda	
Alivio	428052.66	789113.19	•	<
Turbinas	428539.94	789065.13		
Punto 1	437113.50	795839.58		15 8
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	٠	1
Punto 6	472547.84	855653.31		1
Punto 7	480345.88	884493.50		



(*) WGS 1984 UTM Zone 18





















Escenario: 10% de remoción Variable: Amonio (gN/m³)

E. Barling	UTM X	UTM Y	Leyenda
Alivio	428052.66	789113.19	•
Turbinas	428539.94	789065.13	
Punto 1	437113.50	795839.58	
Punto 2	451665.00	80166.50	
Punto 3	462910.97	812189.50	
Punto 4	465220.31	824016.69	
Punto 5	467658.75	845867.63	٠
Punto 6	472547.84	855653.31	
Punto 7	480345.88	884493.50	



(*) WGS 1984 UTM Zone 18

de Desarrollo





Escenario: 10% de remoción Variable: Nitrato (gN/m³)

S. Ang	UTM X	UTM Y	Leyenda	10
Alivio	428052.66	789113.19	•	<
Turbinas	428539.94	789065.13		for some
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 1
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	٠	1
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		(41) ····



(*) WGS 1984 UTM Zone 18







aquática





















Escenario: 25% de remoción Variable: Amonio (gN/m³)

2. Junio	UTM X	UTM Y	Leyenda	1
Alivio	428052.66	789113.19	•	E. H
Turbinas	428539.94	789065.13		A Carl
Punto 1	437113.50	795839.58		1.
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		in sile
Punto 5	467658.75	845867.63	•	1
Punto 6	472547.84	855653.31		**
Punto 7	480345.88	884493.50		



(*) WGS 1984 UTM Zone 18

Banco Interamericano de Desarrollo





Escenario: 25% de remoción Variable: Nitrato (gN/m³)

L milly	UTM X	UTMY	Leyenda	
Alivio	428052.66	789113.19	•	<
Turbinas	428539.94	789065.13		
Punto 1	437113.50	795839.58		18 18
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	٠	1
Punto 6	472547.84	855653.31		1
Punto 7	480345.88	884493.50		



(*) WGS 1984 UTM Zone 18


























Escenario: 50% de remoción Variable: Amonio (gN/m³)

2 June	UTM X	UTM Y	Leyenda	1
Alivio	428052.66	789113.19	•	
Turbinas	428539.94	789065.13		1
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 5
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		and the
Punto 5	467658.75	845867.63	•	1
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345 88	884493 50		

































Escenario: 75% de remoción Variable: Amonio (gN/m³)

2 Carlo	UTM X	UTMY	Leyenda	Sec. 19
Alivio	428052.66	789113.19	•	
Turbinas	428539.94	789065.13		f. and
Punto 1	437113.50	795839.58		15 8
Punto 2	451665.00	80166.50		The second
Punto 3	462910.97	812189.50		1.111
Punto 4	465220.31	824016.69		and the second
Punto 5	467658.75	845867.63	•	1
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		









Escenario: 75% de remoción Variable: Nitrato (gN/m³)

2 Config	UTM X	UTMY	Leyenda	3
Alivio	428052.66	789113.19	•	<
Turbinas	428539.94	789065.13		
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 10
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	٠	
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		











Escenario: 75% de remoción Variable: Fosfato (gP/m³)

2. Same	UTM X	UTM Y	Leyenda	3
Alivio	428052.66	789113.19	•	<
Turbinas	428539.94	789065.13		1
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 1.
Punto 2	451665.00	80166.50		100
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	٠	
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		























Escenario: Remoción total Variable: Amonio (gN/m³)

S. Same	UTM X	UTM Y	Leyenda	1
Alivio	428052.66	789113.19	•	
Turbinas	428539.94	789065.13		1
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 1.
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	•	1
Punto 6	472547.84	855653.31		*
Punto 7	480345.88	884493.50		









Escenario: Remoción total Variable: Nitrato (gN/m³)

2 ming	UTM X	UTM Y	Leyenda	
Alivio	428052.66	789113.19	•	<
Turbinas	428539.94	789065.13		1
Punto 1	437113.50	795839.58		15 5
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		10.8
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	•	had a
Punto 6	472547.84	855653.31		1
Punto 7	480345.88	884493.50		1









Banco Interamericano





Banco Interamericano de Desarrollo
















> Escenario: Cota 385-420 m Variable: Amonio (gN/m³)

UTM X	UTMY	Leyenda	
428052.66	789113.19	•	<
428539.94	789065.13		
437113.50	795839.58		15 50
451665.00	80166.50		
462910.97	812189.50		
465220.31	824016.69		
467658.75	845867.63	•	1
472547.84	855653.31		7
480345.88	884493.50		
	428052.66 428539.94 437113.50 451665.00 462910.97 465220.31 467658.75 472547.84 480345.88	OTMX OTMY 428052.66 789113.19 428539.94 789065.13 437113.50 795839.58 451665.00 80166.50 462910.97 812189.50 465220.31 824016.69 467658.75 845867.63 472547.84 855653.31 480345.88 884493.50	OTWY OTWY Levenda 428052.66 789113.19 ● 428539.94 789065.13 ● 437113.50 795839.58 ● 451665.00 80166.50 ● 462910.97 812189.50 ● 465220.31 824016.69 ● 467658.75 845867.63 ● 472547.84 855653.31 ● 480345.88 884493.50 ●









> Escenario: Cota 385-420 m Variable: Nitrato (gN/m³)

1. minu	UTM X	UTM Y	Leyenda	3
Alivio	428052.66	789113.19	•	<
Turbinas	428539.94	789065.13		An and
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 100
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	•	1
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		









Banco Interamericano de Desarrollo





















Escenario: Combinado

Variable: Amonio (gN/m³)

1. Carly	UTM X	UTM Y	Leyenda
Alivio	428052.66	789113.19	•
Turbinas	428539.94	789065.13	
Punto 1	437113.50	795839.58	
Punto 2	451665.00	80166.50	
Punto 3	462910.97	812189.50	
Punto 4	465220.31	824016.69	
Punto 5	467658.75	845867.63	٠
Punto 6	472547.84	855653.31	
Punto 7	480345 88	884493 50	









Escenario: Combinado Variable: Nitrato (gN/m³)

2 million	UTM X	UTM Y	Leyenda	
Alivio	428052.66	789113.19	•	
Turbinas	428539.94	789065.13		A day
Punto 1	437113.50	795839.58		15 1
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		1 all
Punto 5	467658.75	845867.63	•	1
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		









Banco Interamericano de Desarrollo





















> Escenario: Pendiente 75% Variable: Amonio (gN/m³)











Escenario: Pendiente 75% Variable: Nitrato (gN/m³)

2 ming	UTM X	UTMY	Leyenda	h. 1
Alivio	428052.66	789113.19	•	
Turbinas	428539.94	789065.13		1
Punto 1	437113.50	795839.58		15 10
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		in sile
Punto 5	467658.75	845867.63	•	· · I
Punto 6	472547.84	855653.31		*
Punto 7	480345.88	884493.50		



Banco Interamericano de Desarrollo
























1 2 aquática Incantabria GAUPDELEMENTAL

Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango

> Escenario: Pendiente 100% Variable: Amonio (gN/m³)



TURBINAS

Banco Interamericano de Desarrollo





Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango

> Escenario: Pendiente 100% Variable: Nitrato (gN/m³)

2 Chang	UTM X	UTM Y	Leyenda	3
Alivio	428052.66	789113.19	•	<
Turbinas	428539.94	789065.13		
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 10
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		10.00
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	٠	· /
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		



(*) WGS 1984 UTM Zone 18









Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango

> Escenario: Pendiente 100% Variable: Fosfato (gP/m³)

2 Partie	UTM X	UTMY	Leyenda	1
Alivio	428052.66	789113.19	•	<
Turbinas	428539.94	789065.13		
Punto 1	437113.50	795839.58		18 18
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	•	
Punto 6	472547.84	855653.31		1
Punto 7	480345.88	884493.50		



(*) WGS 1984 UTM Zone 18





aquática























Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango

Escenario: Sin remoción Variable: Fosfato (gP/m³)

2 Partie	UTM X	UTM Y	Leyenda	8
Alivio	428052.66	789113.19	•	<
Turbinas	428539.94	789065.13		
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 50
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	•	1
Punto 6	472547.84	855653.31		<u>ر العر</u>
Punto 7	480345.88	884493.50		41



(*) WGS 1984 UTM Zone 18

de Desarrollo













iática














Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango

Escenario: 10% de remoción Variable: Fosfato (gP/m³)

1. milly	UTM X	UTMY	Leyenda	10
Alivio	428052.66	789113.19	•	<
Turbinas	428539.94	789065.13		for some
Punto 1	437113.50	795839.58		
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	٠	1
Punto 6	472547.84	855653.31		1
Punto 7	480345.88	884493.50		



(*) WGS 1984 UTM Zone 18

de Desarrollo



























Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango

Escenario: 25% de remoción Variable: Fosfato (gP/m³)

2 minu	UTM X	UTM Y	Leyenda	8
Alivio	428052.66	789113.19	•	<
Turbinas	428539.94	789065.13		
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 50
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	٠	· J
Punto 6	472547.84	855653.31		<u>بط</u>
Punto 7	480345.88	884493.50		



(*) WGS 1984 UTM Zone 18

de Desarrollo



























Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango

Escenario: 50% de remoción Variable: Fosfato (gP/m³)

L milly	UTM X	UTM Y	Leyenda	3
Alivio	428052.66	789113.19	•	<
Turbinas	428539.94	789065.13		A an
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 50
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	٠	1
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		



(*) WGS 1984 UTM Zone 18

de Desarrollo















Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango

Escenario: 75% de remoción Variable: Dióxido de carbono (g/m³)

2. Parting	UTM X	UTMY	Leyenda
Alivio	428052.66	789113.19	•
Turbinas	428539.94	789065.13	
Punto 1	437113.50	795839.58	
Punto 2	451665.00	80166.50	
Punto 3	462910.97	812189.50	
Punto 4	465220.31	824016.69	
Punto 5	467658.75	845867.63	٠
Punto 6	472547.84	855653.31	
Punto 7	480345.88	884493.50	



(*) WGS 1984 UTM Zone 18

Banco Interamericano de Desarrollo














Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango

Escenario: 75% de remoción Variable: Fosfato (gP/m³)

2 Chang	UTM X	UTM Y	Leyenda	3
Alivio	428052.66	789113.19	•	<
Turbinas	428539.94	789065.13		A land
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 1.
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	٠	1
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		(A)



(*) WGS 1984 UTM Zone 18

de Desarrollo













atica















Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango

Escenario: Remoción total Variable: Fosfato (gP/m³)

2 Chang	UTM X	UTM Y	Leyenda	3
Alivio	428052.66	789113.19	•	<
Turbinas	428539.94	789065.13		
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 100
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	٠	1
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		(M)



(*) WGS 1984 UTM Zone 18

de Desarrollo













atica















Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango

> Escenario: Cota 385-420 m Variable: Fosfato (gP/m³)

1. milly	UTM X	UTM Y	Leyenda	1
Alivio	428052.66	789113.19	•	<
Turbinas	428539.94	789065.13		
Punto 1	437113.50	795839.58		1.50
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		10.00
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	٠	· /
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		



(*) WGS 1984 UTM Zone 18

Banco Interamericano de Desarrollo









aquática





atica














Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango

Escenario: Combinado Variable: Fosfato (gP/m³)

1. minu	UTM X	UTM Y	Leyenda	1
Alivio	428052.66	789113.19	•	
Turbinas	428539.94	789065.13		A second
Punto 1	437113.50	795839.58		15 5
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	•	1
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		



(*) WGS 1984 UTM Zone 18

de Desarrollo









aquática





Leyenda

atica

Banco Interamericano de Desarrollo















Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango

Escenario: Pendiente 75% Variable: Fosfato (gP/m³)

2 Chang	UTM X	UTMY	Leyenda	1
Alivio	428052.66	789113.19	•	<
Turbinas	428539.94	789065.13		
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 20
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	٠	1
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		(A)



(*) WGS 1984 UTM Zone 18

de Desarrollo













atica

Banco Interamericano de Desarrollo















Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango

> Escenario: Pendiente 100% Variable: Fosfato (gP/m³)

2 Partie	UTM X	UTM Y	Leyenda	1
Alivio	428052.66	789113.19	•	<
Turbinas	428539.94	789065.13		A second
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 50
Punto 2	451665.00	80166.50		100
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		1
Punto 5	467658.75	845867.63	٠	1
Punto 6	472547.84	855653.31		F =
Punto 7	480345.88	884493.50		



(*) WGS 1984 UTM Zone 18

de Desarrollo






IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO PARA SIMULAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL EMBALSE Y AGUAS ABAJO DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO



APÉNDICE IX



APÉNDICE IX

FICHAS 2. EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LAS VARIABLES EN DISTINTOS PUNTOS DEL RÍO BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE REMOCIÓN

















Escenario: La Niña (1988-1989) Variable: Nitrato (gN/m³)

2 Partie	UTM X	UTM Y	Leyenda	100
Alivio	428052.66	789113.19	•	<
Turbinas	428539.94	789065.13		for some
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 1
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	٠	1
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		













Escenario: La Niña (1988-1989) Variable: Fosfato (gP/m³)

2 Same	UTM X	UTM Y	Leyenda	
Alivio	428052.66	789113.19	•	<
Turbinas	428539.94	789065.13		
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 10
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	•	
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		



(*) WGS 1984 UTM Zone 18

de Desarrollo







Escenario: La Niña (1988-1989) Variable: Coliformes totales (NMP/m³)

E Aning	UTM X	UTM Y	Leyenda	3
Alivio	428052.66	789113.19	•	<
Turbinas	428539.94	789065.13		1
Punto 1	437113.50	795839.58		1.50
Punto 2	451665.00	80166.50		275. 4
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	•	1
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		























Escenario: El Niño (1992-1993) Variable: Nitrato (gN/m³)

2 Same	UTM X	UTM Y	Leyenda	10
Alivio	428052.66	789113.19	•	
Turbinas	428539.94	789065.13		A.
Punto 1	437113.50	795839.58		
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	•	1
Punto 6	472547.84	855653.31		*
Punto 7	480345.88	884493.50		(411) ····













Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango Escenario: El Niño (1992-1993) Variable: Fosfato (gP/m³)

UTM X UTM Y Leyenda 428052.66 789113.19 428539.94 789065.13 437113.50 795839.58 451665.00 80166.50 462910.97 812189.50 465220.31 824016.69 467658.75 845867.63 472547.84 855653.31 480345.88 884493.50




































Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango

Escenario: medio (1993-1994) Variable: Coliformes totales (NMP/m³)

2 Partie	UTM X	UTMY	Leyenda	1.1
Alivio	428052.66	789113.19	•	
Turbinas	428539.94	789065.13		1
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 1
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		1
Punto 5	467658.75	845867.63	•	1
Punto 6	472547.84	855653.31		ت 🖌
Punto 7	480345.88	884493.50		



(*) WGS 1984 UTM Zone 18

de Desarrollo



















aquática





Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango Escenario: La Niña (1988-1998) Variable: Fosfato (gP/m³)





(*) WGS 1984 UTM Zone 18

de Desarrollo

























aquática



aquática

Leyenda

Banco Interamericano de Desarrollo
































IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO PARA SIMULAR LA CALIDAD DEL AGUA DEL EMBALSE Y AGUAS ABAJO DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO ITUANGO



Apéndice X



APÉNDICE X

FICHAS 3. EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA ANOMALÍA EN DISTINTOS PUNTOS DEL RÍO BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE REMONICIÓN





Escenario: La Niña (1988-1989) Variable: Fitoplancton (mgChla/m³)

E. Anda	UTM X	UTM Y	Leyenda	5
Alivio	428052.66	789113.19	•	
Turbinas	428539.94	789065.13		1
Punto 1	437113.50	795839.58		15 5
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		11713
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	•	in the
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		









Proyecto Hidroeléctrico de Ituango Escenario: La Niña (1988-1989) Variable: Metano (g/m³)

2 Carly	UTM X	UTMY	Leyenda	
Alivio	428052.66	789113.19	•	
Turbinas	428539.94	789065.13		1.
Punto 1	437113.50	795839.58		13
Punto 2	451665.00	80166.50		The second
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		24
Punto 5	467658.75	845867.63	•	and the
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		









12

GRUPDELEMENTAL

aquática





Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango

Escenario: La Niña (1988-1989) Variable: Carb org disuelto (gC/m³)

2 Sugar	UTM X	UTM Y	Leyenda	10
Alivio	428052.66	789113.19	•	<
Turbinas	428539.94	789065.13		A. and
Punto 1	437113.50	795839.58		
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	•	1
Punto 6	472547.84	855653.31		*
Punto 7	480345.88	884493.50		(46







aquática

Leyenda

Banco Interamericano

de Desarrollo









Escenario: La Niña (1988-1989) Variable: Oxígeno disuelto (g/m³)

E. Anda	UTM X	UTM Y	Leyenda	1
Alivio	428052.66	789113.19	•	<pre></pre>
Turbinas	428539.94	789065.13		A and
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 50
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		A AM
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	•	1
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		1977







aquática





Escenario: La Niña (1988-1989) Variable: Fosfato (gP/m³)

2 Chang	UTM X	UTM Y	Leyenda	
Alivio	428052.66	789113.19	•	<
Turbinas	428539.94	789065.13		A and
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 1
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	٠	1
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		









Escenario: La Niña (1988-1989) Variable: Carb org particulado (gC/m³)

1. Carlo	UTM X	UTM Y	Leyenda	1
Alivio	428052.66	789113.19	•	
Turbinas	428539.94	789065.13		A and
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 1
Punto 2	451665.00	80166.50		275
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	٠	1
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		









Escenario: La Niña (1988-1989) Variable: Coliformes totales (NMP/m³)

2. Parting	UTM X	UTMY	Leyenda
Alivio	428052.66	789113.19	•
Turbinas	428539.94	789065.13	
Punto 1	437113.50	795839.58	
Punto 2	451665.00	80166.50	
Punto 3	462910.97	812189.50	
Punto 4	465220.31	824016.69	
Punto 5	467658.75	845867.63	٠
Punto 6	472547.84	855653.31	
Punto 7	480345.88	884493.50	











Escenario: El Niño (1992-1993) Variable: Fitoplancton (mgChla/m³)

2 Partie	UTM X	UTMY	Leyenda	100
Alivio	428052.66	789113.19	•	
Turbinas	428539.94	789065.13		A and
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 1
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	٠	1
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		(411)







aquática GRUPDELEMENTAL

Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango Escenario: El Niño (1992-1993)

Variable: Metano (g/m³)

L for ig	UTM X	UTMY	Leyenda	
Alivio	428052.66	789113.19	•	<
Turbinas	428539.94	789065.13		
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 10
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	•	1
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		











Escenario: El Niño (1992-1993) Variable: Carb org disuelto (gC/m³)

UTM X	UTMY	Leyenda	
428052.66	789113.19	•	<
428539.94	789065.13		f. and
437113.50	795839.58		18 5
451665.00	80166.50		
462910.97	812189.50		
465220.31	824016.69		
467658.75	845867.63	•	1
472547.84	855653.31		*
480345 88	884493.50		
	UTM X 428052.66 428539.94 437113.50 451665.00 462910.97 465220.31 467658.75 472547.84 489345.88	UTM X UTM Y 428052.66 789113.19 428539.94 789065.13 437113.50 795839.58 451665.00 80166.50 462910.97 812189.50 465220.31 824016.69 467658.75 845867.63 472547.84 855653.31	UTM X UTM Y Leyenda 428052.66 789113.19 ● 428539.94 789065.13 ● 437113.50 795839.58 ● 451665.00 80166.50 ● 462910.97 812189.50 ● 465220.31 824016.69 ● 467658.75 845867.63 ● 472547.84 855653.31 ●









Escenario: El Niño (1992-1993) Variable: Coliformes fecales (NMP/m³)

2 Partie	UTM X	UTM Y	Leyenda	8
Alivio	428052.66	789113.19	•	<
Turbinas	428539.94	789065.13		
Punto 1	437113.50	795839.58		15 1
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	•	
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		











Escenario: El Niño (1992-1993) Variable: Nitrato (gN/m³)

2 Chang	UTM X	UTMY	Leyenda	1
Alivio	428052.66	789113.19	•	
Turbinas	428539.94	789065.13		A com
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 5
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		1
Punto 5	467658.75	845867.63	٠	1
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		









Escenario: El Niño (1992-1993) Variable: Oxígeno disuelto (g/m³)

2 million	UTM X	UTMY	Leyenda	- 8
Alivio	428052.66	789113.19	•	
Turbinas	428539.94	789065.13		1
Punto 1	437113.50	795839.58		1.
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	٠	· ·
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		









Proyecto Hidroeléctrico de Ituango Escenario: El Niño (1992-1993) Variable: pH



Banco Interamericano

de Desarrollo





Escenario: El Niño (1992-1993) Variable: Fosfato (gP/m³)

2 Partie	UTM X	UTMY	Leyenda	1
Alivio	428052.66	789113.19	•	<
Turbinas	428539.94	789065.13		for some
Punto 1	437113.50	795839.58		6 5
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	٠	1
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		(41)









Escenario: El Niño (1992-1993) Variable: Carb org particulado (gC/m³)

E Aning	UTM X	UTMY	Leyenda	
Alivio	428052.66	789113.19	•	81-0
Turbinas	428539.94	789065.13		
Punto 1	437113.50	795839.58		
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		-
Punto 5	467658.75	845867.63	٠	
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		









Escenario: El Niño (1992-1993) Variable: Coliformes totales (NMP/m³)

2 miles	UTM X	UTM Y	Leyenda	1
Alivio	428052.66	789113.19	•	
Turbinas	428539.94	789065.13		1
Punto 1	437113.50	795839.58		15 1
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		and the
Punto 5	467658.75	845867.63	•	and.
Punto 6	472547.84	855653.31		*
Punto 7	480345 88	884493.50		1000










Escenario: medio (1993-1994) Variable: Fitoplancton (mgChla/m³)

2 mary	UTM X	UTMY	Leyenda	
Alivio	428052.66	789113.19	•	<
Turbinas	428539.94	789065.13		A and
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 1
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	٠	1
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		

















Escenario: medio (1993-1994) Variable: Carb org disuelto (gC/m³)

R. Anna	UTM X	UTM Y	Leyenda	1
Alivio	428052.66	789113.19	•	
Turbinas	428539.94	789065.13		A and
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 1
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	٠	1
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		(411









Escenario: medio (1993-1994) Variable: Coliformes fecales (NMP/m³)

2 Partie	UTM X	UTM Y	Leyenda
Alivio	428052.66	789113.19	•
Turbinas	428539.94	789065.13	
Punto 1	437113.50	795839.58	
Punto 2	451665.00	80166.50	
Punto 3	462910.97	812189.50	
Punto 4	465220.31	824016.69	
Punto 5	467658.75	845867.63	٠
Punto 6	472547.84	855653.31	
Punto 7	480345.88	884493.50	













Escenario: medio (1993-1994) Variable: Oxígeno disuelto (g/m³)

R. Anna	UTM X	UTM Y	Leyenda	1
Alivio	428052.66	789113.19	•	
Turbinas	428539.94	789065.13		A and
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 1
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	٠	1
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		









Escenario: medio (1993-1994) Variable: pH

2. 4.1.10	UTM X	UTMY	Leyenda	
Alivio	428052.66	789113.19	•	
Turbinas	428539.94	789065.13		
Punto 1	437113.50	795839.58		18 10
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	•	
Punto 6	472547.84	855653.31		*
Punto 7	480345.88	884493.50		199







1 = aquática IHcantabria GRUPDELEMENTAL Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango

> Escenario: medio (1993-1994) Variable: Fosfato (gP/m³)

12 Party	UTM X	UTM Y	Leyenda	1
Alivio	428052.66	789113.19	•	
Turbinas	428539.94	789065.13		1
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 1.
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		1
Punto 5	467658.75	845867.63		1
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		









Escenario: medio (1993-1994) Variable: Carb org particulado (gC/m³)

2 Carly	UTM X	UTMY	Leyenda	100
Alivio	428052.66	789113.19	•	<
Turbinas	428539.94	789065.13		
Punto 1	437113.50	795839.58		15 50
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	•	
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		









Escenario: medio (1993-1994) Variable: Coliformes totales (NMP/m³)

Blang	UTM X	UTM Y	Leyenda
Alivio	428052.66	789113.19	•
Turbinas	428539.94	789065.13	
Punto 1	437113.50	795839.58	
Punto 2	451665.00	80166.50	
Punto 3	462910.97	812189.50	
Punto 4	465220.31	824016.69	
Punto 5	467658.75	845867.63	•
Punto 6	472547.84	855653.31	
Punto 7	480345.88	884493.50	
			,
			<











Escenario: La Niña (1988-1998) Variable: Fitoplancton (mgChla/m³)

E Anda	UTM X	UTM Y	Leyenda	1
Alivio	428052.66	789113.19	•	<pre></pre>
Turbinas	428539.94	789065.13		A and
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 50
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		1.1
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	٠	1
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		











Escenario: La Niña (1988-1998) Variable: Dióxido de carbono (g/m³)

2 Chang	UTM X	UTM Y	Leyenda	1
Alivio	428052.66	789113.19	•	<
Turbinas	428539.94	789065.13		
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 10
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	•	1
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		{***







Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango

Escenario: La Niña (1988-1998) Variable: Carb org disuelto (gC/m³)



Sitio de presa ALIVIADERO TURBINAS











Escenario: La Niña (1988-1998) Variable: Nitrato (gN/m³)





Banco Interamericano

de Desarrollo





Escenario: La Niña (1988-1998) Variable: Oxígeno disuelto (g/m³)

2. And by	UTM X	UTM Y	Leyenda	1
Alivio	428052.66	789113.19	•	
Turbinas	428539.94	789065.13		1
Punto 1	437113.50	795839.58		1.5
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		the set
Punto 5	467658.75	845867.63	•	0.1
Punto 6	472547.84	855653.31		7 4
Punto 7	480345.88	884493.50		







Resultados de la calidad del agua del

Proyecto Hidroeléctrico de Ituango Escenario: La Niña (1988-1998) Variable: pH



Sitio de presa ALIVIADERO TURBINAS





Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango

Escenario: La Niña (1988-1998) Variable: Fosfato (gP/m³)

2 million	UTM X	UTM Y	Leyenda	
Alivio	428052.66	789113.19	•	분석구
Turbinas	428539.94	789065.13		£
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 1
Punto 2	451665.00	80166.50		The second
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		1
Punto 5	467658.75	845867.63	•	1.17
Punto 6	472547.84	855653.31		بر ا
Punto 7	480345.88	884493.50		1









Escenario: La Niña (1988-1998) Variable: Carb org particulado (gC/m³)

2 Partie	UTM X	UTMY	Leyenda	1
Alivio	428052.66	789113.19	•	
Turbinas	428539.94	789065.13		for some
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 1
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	٠	1
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		







Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango

Escenario: La Niña (1988-1998) Variable: Coliformes totales (NMP/m³)

2 Partie	UTM X	UTMY	Leyenda	
Alivio	428052.66	789113.19	•	<
Turbinas	428539.94	789065.13		A land
Punto 1	437113.50	795839.58		1.50
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	•	1
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		(ATT











Escenario: El Niño (1992-2002) Variable: Fitoplancton (mgChla/m³)

2 Carly	UTM X	UTMY	Leyenda	1
Alivio	428052.66	789113.19	•	
Turbinas	428539.94	789065.13		1
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 1.
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	•	1
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		











Escenario: El Niño (1992-2002) Variable: Dióxido de carbono (g/m³)

2 Chang	UTM X	UTM Y	Leyenda	
Alivio	428052.66	789113.19	•	<
Turbinas	428539.94	789065.13		
Punto 1	437113.50	795839.58		18 80
Punto 2	451665.00	80166.50		100
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	٠	1
Punto 6	472547.84	855653.31		r #
Punto 7	480345.88	884493.50		







GRUPOELEMENTEI Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango Escenario: El Niño (1992-2002) Variable: Carb org disuelto (gC/m³) UTM Y Leyenda 789113.19 789065.13

aquática







aquática IHcantabria GRUPDELEMENTAL Resultados de la calidad del agua del

Escenario: El Niño (1992-2002) Variable: Nitrato (gN/m³)

L milly	UTM X	UTM Y	Leyenda	10
Alivio	428052.66	789113.19	•	×
Turbinas	428539.94	789065.13		A and
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 1
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	٠	1
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		

Escenario: El Niño (1992-2002) Variable: Oxígeno disuelto (g/m³)

S. Ang	UTM X	UTM Y	Leyenda	10
Alivio	428052.66	789113.19	•	<
Turbinas	428539.94	789065.13		A and
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 1
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	٠	1
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		(41) ·

aquática IHcantabria GRUPDELEMENTAL

Proyecto Hidroeléctrico de Ituango Escenario: El Niño (1992-2002) Variable: pH

Escenario: El Niño (1992-2002) Variable: Fosfato (gP/m³)

and the second sec		UTIMY	Leyenda
Alivio	428052.66	789113.19	•
Turbinas	428539.94	789065.13	
Punto 1	437113.50	795839.58	
Punto 2	451665.00	80166.50	
Punto 3	462910.97	812189.50	
Punto 4	465220.31	824016.69	
Punto 5	467658.75	845867.63	٠
Punto 6	472547.84	855653.31	
Punto 7	480345.88	884493.50	

Sitio de presa ALIVIADERO TURBINAS





Escenario: El Niño (1992-2002) Variable: Carb org particulado (gC/m³)

2 South	UTM X	UTM Y	Leyenda	1
Alivio	428052.66	789113.19	•	
Turbinas	428539.94	789065.13		1
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 1.
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	٠	1
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		







Recultados do la calidad dol aqua dol

Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango

Escenario: El Niño (1992-2002) Variable: Coliformes totales (NMP/m³)

2 Chang	UTM X	UTMY	Leyenda	1
Alivio	428052.66	789113.19	•	<
Turbinas	428539.94	789065.13		A com
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 50
Punto 2	451665.00	80166.50		100
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	٠	1
Punto 6	472547.84	855653.31		7 4
Punto 7	480345.88	884493.50		











Escenario: medio (1993-2003) Variable: Fitoplancton (mgChla/m³)

R. Anna	UTM X	UTM Y	Leyenda	1
Alivio	428052.66	789113.19	•	<pre></pre>
Turbinas	428539.94	789065.13		A los
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 1.
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	•	1
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		

























824016.69

845867.63

855653.31

884493.50







Escenario: medio (1993-2003) Variable: Oxígeno disuelto (g/m³)

2 hairs	UTM X	UTM Y	Leyenda	1
Alivio	428052.66	789113.19	•	
Turbinas	428539.94	789065.13		A second
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 1
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		10.13
Punto 4	465220.31	824016.69		the second
Punto 5	467658.75	845867.63	•	1
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		







Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango Escenario: medio (1993-2003)

Variable: pH

R. Anna	UTM X	UTM Y	Leyenda	8
Alivio	428052.66	789113.19	•	<
Turbinas	428539.94	789065.13		
Punto 1	437113.50	795839.58		18 5
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63		1
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		(47-
100			and the second sec	
	A COLOR	Sec. 1	5 - X 📕	
Sec.	a n		5	177 LUI
			1	Serence .

Sitio de presa ALIVIADERO TURBINAS

(*) WGS 1984 UTM Zone 18







> Escenario: medio (1993-2003) Variable: Fosfato (gP/m³)

2. Junio	UTM X	UTM Y	Leyenda	1
Alivio	428052.66	789113.19	•	<
Turbinas	428539.94	789065.13		
Punto 1	437113.50	795839.58		18 80
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	•	
Punto 6	472547.84	855653.31		*
Punto 7	480345.88	884493.50		
			and the	









Escenario: medio (1993-2003) Variable: Carb org particulado (gC/m³)

2 Same	UTM X	UTMY	Leyenda	1
Alivio	428052.66	789113.19	•	
Turbinas	428539.94	789065.13		A and
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 1
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	•	1
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		(41)







Resultados de la calidad del agua del Proyecto Hidroeléctrico de Ituango Escenario: medio (1993-2003)

Variable: Coliformes totales (NMP/m³)

2 Partie	UTM X	UTM Y	Leyenda	
Alivio	428052.66	789113.19	•	<
Turbinas	428539.94	789065.13		1
Punto 1	437113.50	795839.58		1. 50
Punto 2	451665.00	80166.50		
Punto 3	462910.97	812189.50		
Punto 4	465220.31	824016.69		
Punto 5	467658.75	845867.63	٠	· ·
Punto 6	472547.84	855653.31		7
Punto 7	480345.88	884493.50		





