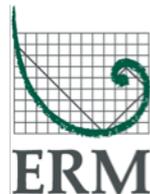




2012

PROYECTO HIDROELÉCTRICO REVENTAZÓN: ESTUDIOS AMBIENTALES ADICIONALES PARTE I: EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO:



CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	EMISIONES PRE-LLENADO DEL EMBALSE.....	3
3.	EMISIONES POST LLENADO DEL EMBALSE.....	7
3.1	FLUJO DIFUSIVO	7
3.2	BURBUJEO	7
3.3	DESGASIFICACIÓN	7
3.4	RÍO REVENTAZÓN AGUAS ABAJO DEL EMBALSE	7
3.5	ESTIMACION DEL TIEMPO PARA AGOTAR LAS RESERVAS	8
4.	EMISIONES NETAS DE GEI	11
5.	COMPARACIÓN DE EMISIONES GEI CON EL PORTAFOLIO DE GENERACIÓN DE LA REGIÓN.....	13
6.	REFERENCIAS.....	15

LISTA DE TABLAS

TABLA 2-1	SITIOS ORNL NPP SELECCIONADOS PARA EL ANÁLISIS DEL PH REVENTAZÓN	3
TABLA 2-2	PESO MOLECULAR Y FACTORES EQUIVALENTES DE CO2	3
TABLA 2-3	ANÁLISIS PPN	4
TABLA 2-4	RESERVAS DE CARBONO Y NITRÓGENO EN EL PH REVENTAZÓN.....	5
TABLA 3-1	VALORES DE FLUJO POR CADA VIA (UNESCO).....	7
TABLA 3-2	EMISIONES ESTIMADAS DE CO2 Y CH4.....	8
TABLA 4-1	EMISIONES NETAS Y BRUTAS (TONELADAS POR AÑO DE CO2 EQUIVALENTES).....	11
TABLA 5-1	EMISIONES COMPARATIVAS DE CO2 EQUIVALENTES POR MW-HORA DE GENERACIÓN.....	13

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3-1	AGOTAMIENTO DE LA RESERVA DE CARBONO	8
------------	--	---

AGRADECIMIENTOS

Este reporte fue elaborado por un equipo multidisciplinario de consultores de *Integrated Environments* (2006) Ltd., *Environmental Resources Management* (ERM) y Applied Aquatic Research Ltd. Los profesionales que contribuyeron y participaron en este estudio son los siguientes:

- Miles Scott-Brown
- Juan Quintero
- Roberto Roca
- Tom Boag
- George Krallis
- Ed Buchak

Los autores quisieran agradecer el apoyo y la participacion de los miembros del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón del ICE y de su Unidad de Gestión Ambiental y en particular del Ing. Sergio Mata, Ing. Mauricio Morales Morales, Ing. Allan Retana Calvo, Ing. Carlos Roberto Rodríguez Meza, Ing. Luis Roberto Rodriguez Arroyo, M.Sc. Dora Carías Vega, Ing. Erick Campos Vargas, Ing. Johnny Ríos Barboza, Geog. Sandra Alfaro Trejos, Ing. Ezequiel Barrantes Arguedas, Ing. Miguel Vargas Petersen, Ing. Jorge Valverde Barrantes, Ing. Eugenia Gutiérrez Castro, Ing. Jorge Granados Calderón y el Ing. Federico Aviles Chaves.

La elaboracion del reporte fue auspiciada por el Banco Interamericano de Desarrollo. Extendemos nuestro agradecimiento al liderazgo manifestado por Emmanuel Boulet, Enrique Rodriguez y Graham Watkins en la formulación y revisión de este reporte.

1. INTRODUCCIÓN

Los bosques de todos los tipos, en su estado natural y en todos los climas, actúan como sumideros de gases de efecto invernadero (GEI) (Tremblay 2005a). Este comportamiento es el resultado de la acumulación de biomasa y del secuestro de carbono y nitrógeno. En general la captura excede la suma de los procesos de liberación los cuales incluyen la respiración del suelo (dióxido de carbono, CO₂), la oxidación de las bacterias metanotróficas (metano, CH₄) y las reacciones de nitrificación-desnitrificación (óxido nitroso, N₂O) (Tremblay 2005b). Estas emisiones y capturas son modificadas e interrumpidas por los procesos de inundación (e.g., cuando se llena un embalse). Las características de las emisiones GEI varían con el clima y existe evidencia que demuestra que los bosques tropicales a veces actúan como fuentes de emisiones debido a la dinámica del N₂O, lo cual difiere de los bosques de los ambientes boreales (Tremblay 2005b).

Este análisis de cuantificación de emisiones GEI del embalse, se basa en “Los Lineamientos de Mediciones GEI para Embalses de Agua Dulce” (La Directriz/Guía) del Programa Hidrológico Internacional y La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. La Directriz es utilizada para el análisis de los datos de monitoreo, pero también incluye métodos para evaluar emisiones pre y post llenado de embalses a través del uso de valores de la literatura y métodos de análisis.

El análisis GEI de los embalses consta de cinco componentes:

Colección de datos Pre-llenado del embalse. El embalse del Reventazón se encuentra en construcción y antes del inicio de la construcción no se colectaron datos específicos del sitio. La línea base ya no existe y por lo tanto no disponemos de datos del sitio para el análisis.

Valores Pre-llenado basados en la literatura. Según lo recomendado por la Directriz y las mejores prácticas, se adquirió información de referencia para otros embalses en climas similares y así poder desarrollar una línea de base para el Reventazón.

Valores durante la Construcción. No hay datos útiles para estimar las emisiones durante la construcción y periodo de llenado del embalse. Durante este período, el embalse pasa de un perfil natural de gases GEI a un perfil inundado de emisiones. Dado que este periodo es corto, se asumió que las reservas de carbono no disminuyen durante esta fase y también se asumió que las emisiones comienzan cuando el embalse está lleno. Por tanto, las emisiones GEI tenderían a estar ligeramente sobreestimadas durante este periodo.

Colección de datos Post-llenado del embalse. Se asumió que el proyecto tendrá un programa de colección de datos de acuerdo con la Directriz.

Valores Post-llenado basados en la literatura. Para estimar las emisiones post-llenado en el Reventazón se obtuvieron datos de la literatura basados en proyectos en climas similares.

El análisis de gases de efecto invernadero incluye tres pasos: 1) la estimación de las emisiones y los depósitos de carbono (secuestrado) durante el pre-llenado basada en los valores de la literatura; 2) la estimación de las emisiones después de la inundación, y 3) la comparación de las emisiones netas con el portafolio de generación regional.

2. EMISIONES PRE-LLENADO DEL EMBALSE

Existen dos requisitos para la evaluación del embalse durante la fase del pre-llenado: 1) la productividad primaria neta (PPN), que representa el consumo de carbón existente y tasa de conversión de la superficie forestal en gramos por metro cuadrado por año ($g/m^2/año$) y 2) los depósitos de carbono y nitrógeno en el área a ser inundada en toneladas de materia seca por metro cuadrado. El primer valor permite la estimación de la línea base de emisiones GEI, y el segundo la cantidad de carbono y nitrógeno atrapado por el agua y disponible para la conversión de GEI después de llenar el embalse.

El Centro de Archivos Activos del Laboratorio Nacional Oak Ridge del Departamento de Energía de EE.UU. (LNOR - CAA) tiene una colección de datos de literatura basados en las mediciones de campo de 65 sitios en todo el mundo, clasificados por tipo de clima. El ORNL DAAC ha desarrollado los valores de producción primaria neta (PPN) para cada sitio. En el caso del Reventazón, la PPN se estimó basada en 19 sitios distintos de bosques tropicales. Los sitios se muestran en la Tabla 2-1.

Tabla 2-1 Sitios ORNL NPP seleccionados para el análisis del PH Reventazón

Atherton, Queensland, Australia	Barro Colorado, Panama
Chamela, Mexico	Cinnamon Bay, US Virgin Islands
Estimaciones Consistentes de sitios a nivel global (compilación de fuentes de datos mas pequeñas)	Darien, Panama
John Crow Ridge, Jamaica	Gunung Mulu, Malaysia
Kade, Ghana	Khao Chong, Thailand
La Selva, Costa Rica	Luquillo, Puerto Rico
Magdalena Valley, Colombia	Manaus, Brazil
Marafunga, Papua New Guinea	Maui, Hawaii, USA
Pasoh, Malaysia	San Carlos de Rio Negro, Venezuela
San Eusebio, Venezuela	

En los diversos cálculos se utilizan una serie de pesos moleculares y de factores equivalentes de CO_2 . La Tabla 2-2 muestra estos valores.

Tabla 2-2 Peso molecular y factores equivalentes de CO_2

Parámetro	Símbolo	Peso molecular	Factor CO_2 equivalente
Carbono	C	12	na
Oxígeno	O	16	na
Nitrógeno	N	14	na
Hydrógeno	H	1	na
Dióxido de Carbono	CO_2	44	1
Metano	CH_4	16	21 (IPCC, 2001)
Nitrous oxide	N_2O	44	310 (IPCC, 2001)

La Tabla 2-3 muestra un resumen de los datos de PPN y su aplicación al Reventazón.

Tabla 2-3 Análisis PPN

Parámetro	Valor	Unidades	Fuente
PPN (promedio)	2240.2	gC/m ² /año	ORNL
Área del Embalse del Reventazón	6,900,000	m ²	Datos del Proyecto
C convertido y emitido (toneladas por año) (calculado)	15,457	Ton/año	Calculadas
CO ₂ emitido	56,672	Ton/año	Calculado a partir del coeficiente peso molecular C a CO ₂

Las reservas de carbono y de nitrógeno se estimaron utilizando la información del Panel Internacional de Cambio Climático, 2006 (PICC) y las Directrices para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero (PICC 2006); la proporción de carbono a nitrógeno depositado se estimó a partir de dicha Directriz. El Volumen 4 de la Directriz del PICC proporciona estimaciones de la biomasa por encima y por debajo del suelo para cada tipo de bosque en todo el mundo. La biomasa superficial incluye los árboles, otra vegetación en crecimiento y la hojarasca del bosque; la biomasa del suelo incluye el carbono del suelo y la materia orgánica enterrada. De acuerdo al PICC el embalse de Reventazón se designa como un Bosque Tropical lluvioso. La 2-4 resume los valores de estos parámetros y su aplicación al Reventazón.

Tabla 2-4 Reservas de carbono y nitrógeno en el PH Reventazón

Parámetro	Valor	Unidades	Fuente
Bosque lluvioso tropical – depósito superficial de carbono por unidad de área	300	Toneladas de materia seca de C en 10,000 m ²	PICC 2006
Proporción de biomasa arriba y abajo del suelo	0.37	Sin unidades	IPCC 2006
Deposito de carbono bajo tierra por unidad de área	111	Toneladas de materia seca de C en 10,000 m ²	calculada
Area del Embalse Reventazón	6,900,000	m ²	Dato del Proyecto
Depósito de carbono sobre el suelo	283,590	Toneladas de C en materia seca	Calculado
Reservas de carbono convertidas en CO ₂	1,039,830	Toneladas de CO ₂	Convertido usando peso molecular
Reservas bajo tierra	76,590	Toneladas de C en material seca	Calculada
Reservas de carbono convertidas en CO ₂	280,830	Toneladas CO ₂	Convertido usando adición de peso molecular
Reserva Total de Carbono	360,180	Toneladas de C en materia seca	suma
Reserva total de carbono convertido a CO ₂	1,320,660	Toneladas de CO ₂	Suma
Proporción carbono a nitrógeno	1:45	Sin unidades	Directriz, página 85
Reserva de nitrógeno	8,004	Toneladas N	calculado

A pesar de que se reportan las cantidades de las reservas de nitrógeno y se discuten los procesos y las emisiones de N₂O, estas no han sido cuantificadas separadamente. Según los análisis de flujo de N₂O de Guérin et al. (2008) en dos embalses tropicales en la Guyana Francesa y Panamá, la contribución del N₂O al potencial de calentamiento global como resultado de las emisiones de los embalses podría ser significativa para emisiones brutas, pero menos del 10% para las emisiones netas. Por esta razón no se calcularon las tasas de emisión de N₂O.

3. Emisiones Post Llenado del Embalse

Los GEI son emitidos desde el embalse a través de cuatro vías: flujo difusivo, burbujeo, desgasificación, y directamente desde el río aguas abajo de la presa. Cada una de estas vías es discutida con más detalle a continuación:

3.1 Flujo difusivo

Las emisiones del flujo difusivo ocurren a través de la evaporación del CO₂ y CH₄ desde la superficie del agua para alcanzar un equilibrio con el aire sobre el embalse.

3.2 Burbujeo

Las emisiones de burbujeo ocurren como resultado de la descomposición del material vegetal que fue inundado. A medida que el material vegetal se descompone, el CH₄ es emitido en forma gaseosa y se eleva hasta la superficie del embalse.

3.3 Desgasificación

Las emisiones de desgasificación ocurren cuando el agua sale del embalse por las compuertas de salida de la obra. A medida que el agua sale del embalse, se mezcla con el aire, el cual promueve un flujo incrementado de CO₂ y CH₄ hacia la atmósfera.

3.4 Río Reventazón Aguas Abajo del Embalse

Las emisiones aguas abajo incluyen flujo difusivo desde la superficie del agua a medida que el Reventazón fluye hacia el océano aguas abajo del embalse. La Directriz estima un solo valor para cualquier tramo del río aguas abajo de la represa.

Se utilizaron los valores de la literatura de la UNESCO/IHA 2008 para determinar las emisiones esperadas de cada vía. Estas directrices/guías suministran un rango promedio de valores de flujo para los embalses de agua dulce en localidades tropicales. Para la estimación de las emisiones, se seleccionó el valor mediano del rango. La Tabla 3-1 muestra un resumen de estos valores.

Tabla 3-1 Valores de flujo por cada vía (UNESCO)

Vía	Min		Max		Mediana	
	CO ₂ mmol/m ² /d	CH ₄ mmol/m ² /d	CO ₂ mmol/m ² /d	CH ₄ mmol/m ² /d	CO ₂ mmol/m ² /d	CH ₄ mmol/m ² /d
Flujo difusivo	-19	0.3	432	51	206.5	25.65
Burbujeo	0	0	0	88	0	44
Desgasificación	4	4	23	30	13.5	17
Río aguas abajo	500	2	2500	350	1500	176

mmol/m²/d = milli-mol por metro cuadrado por día

Tabla 3-2 Emisiones estimadas de CO₂ y CH₄

Via	CO ₂	CO ₂ CO ₂ equivalente	CH ₄	CH ₄ CO ₂ equivalente	Unidades	Fuente
Flujo difusivo	22,883	22,883	1,033	21,693	Ton/year	Calculado
Burbujeo	0	0	1,773	37,233	Ton/year	Calculado
Desgasificación	1,495	1,495	685	14,385	Ton/year	Calculado
Río aguas abajo	166,221	166,221	7,092	148,932	Ton/year	Calculado
Emisiones Oxido nitroso						No calculado
Subtotales		190,599		222,243	Ton CO ₂ /año	Suma
Total CO ₂ equivalentes		412,842			Ton CO ₂ /año	Suma CO ₂ y CH ₄ equivalentes

3.5 Estimación del tiempo para agotar las reservas

La Guía proporciona un modelo de disminución de las reservas de carbono basado en las emisiones del embalse de Petit Saut en un período de 20 años. Después del llenado, las reservas de carbono y nitrógeno se van agotando, y con el tiempo las emisiones alcanzan un punto de equilibrio. Este modelo se ha aplicado a las reservas de carbono estimado y se determinó la duración del agotamiento en 162 meses (13,5 años). La figura 3-1 muestra la curva de caída, con y = 0 a 162 meses.

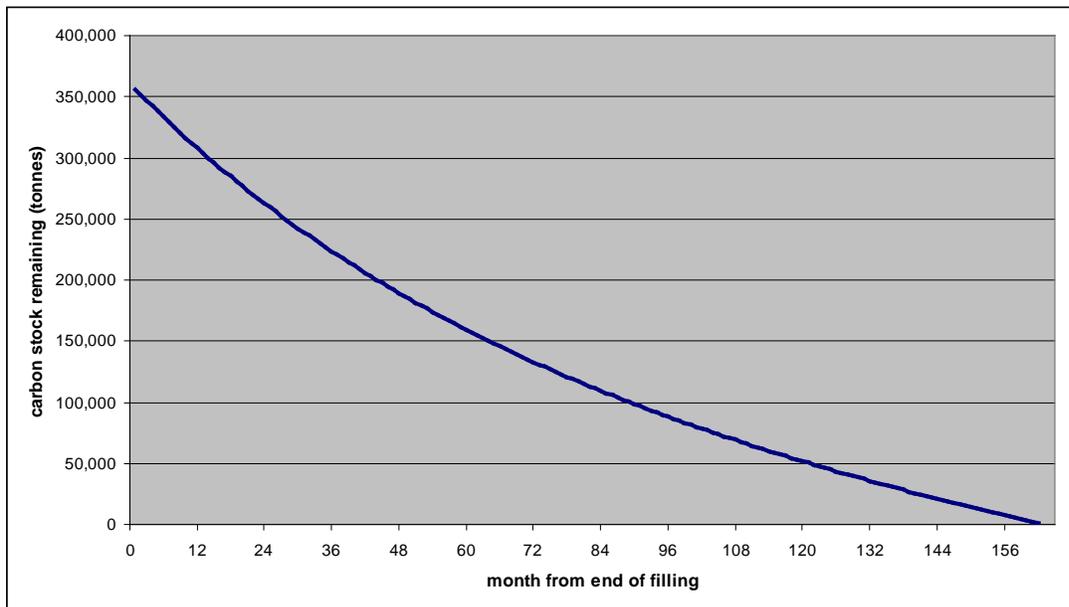


Figura 3-1 Agotamiento de la reserva de carbono

Al realizar una inspección de las estimaciones de las emisiones, se promedió el agotamiento de las reservas en más de 162 meses y se calculó una tasa de agotamiento promedio de 26.629 toneladas (Tabla 2-4, reserva total de C /13.3 años) por año. Esta cifra es significativamente inferior a la de 112.593

equivalentes de carbono (suma de las fracciones de carbono del CO₂ y el CH₄ en la Tabla 3-2) en base a los totales en la tabla 3-2. Esta diferencia puede atribuirse a las entradas de carbono de fuentes alóctonas y autóctonas, que se añaden continuamente al carbono disponible. Las tasas de emisión en la Tabla 3-2 no subestiman las emisiones potenciales.

4. EMISIONES NETAS DE GEI

Las emisiones netas de GEI representan el aumento o disminución en emisiones como resultado de la operación del embalse Reventazón. Las emisiones netas GEI se calculan como la diferencia entre las emisiones pre-llenado y post-llenado del embalse. La 4-1 muestra estos valores expresados en toneladas de CO₂ equivalentes.

Tabla 4-1 Emisiones netas y brutas (toneladas por año de CO₂ equivalentes)

Brutas Pre-llenado	Brutas Post –llenado	Emisiones netas
56,672	412,842	356,170

5. Comparación de emisiones Gei con el portafolio de Generación de la región

Ya que el embalse del PH Reventazón se utilizará para generar electricidad, las emisiones del proyecto son un costo evitado GEI a partir de fuentes alternativas de energía. Para calcular las emisiones de gases de efecto invernadero evitadas a partir de la generación de electricidad, se utilizaron los valores de las emisiones de CO₂ provenientes de la combustión de combustible publicados por la Agencia Internacional de la Energía (AIE) en su edición 2011. La AIE recopila las emisiones de CO₂ provenientes de la generación eléctrica por país y por región y ofrece un factor de emisión en gramos equivalentes de CO₂ por kilovatio-hora de generación.

La información de la AIE compila los datos de las emisiones de CO₂ provenientes de las instalaciones de combustión. Sin embargo, la electricidad también es generada por instalaciones que no utilizan la combustión incluyendo proyectos de energía nuclear, hidroeléctrica, geotérmica y solar. Dado que la cartera de generación de energía eléctrica de Costa Rica tiene un alto porcentaje de generación hidroeléctrica, las emisiones de CO₂ de Costa Rica parecen inferiores a los de los países y regiones que dependen de una mayor fracción de su energía a partir de proyectos de energía de combustión. Por esta razón, el uso de la metodología de la AIE a nivel nacional no representaría muy bien los impactos. Además, Costa Rica exporta energía a otros países de América Latina, por lo que el tema debe ser considerado en un contexto regional. Entonces, se utilizó la región de América Latina en su conjunto para establecer una base más razonable de comparación de línea base del PH Reventazón. La Tabla 5-1 resume esta comparación.

Tabla 5-1 Emisiones comparativas de CO₂ equivalentes por MW-hora de generación

Nombre	Valor	Unidades	Fuente
Emisiones CO ₂ e Reventazón	412,842	Ton/año	Tabla 5
Capacidad del PH Reventazón	305	MW	Dato del Proyecto
Factor de capacidad de la planta Hidroeléctrica	80%		Literatura general
Generación del PH Reventazón	2,137,440	MW-hr/año	Dato del Proyecto
Emisiones CO ₂ e Reventazon	0.19	Ton/MW-hr	Calculado
Mezcla Combustible de Costa Rica	0.04	Ton/MW-hr	AEI
Promedio para América Latina	0.18	Ton/MW-hr	AEI

Con base en la información de la AIE, el embalse Reventazón se ubicaría ligeramente por encima de la generación del perfil regional, pero teniendo en cuenta que las estimaciones de la AIE no incluyen emisiones GEI provenientes de las plantas de energía hidroeléctrica, esta aparente contribución es una inconsistencia generada por los datos incompletos. En el peor de los casos, el PH Reventazón no representa ningún cambio en el portafolio de las emisiones regionales de GEI.

6. REFERENCIAS

Emmenegger, M. F., et al. 2010. *RSB GHG Calculation Methodology*, EMPA Materials Science and Technology

Guérin, F., G. Abril, A. Tremblay, and R. Delmas, 2008, *Nitrous oxide emissions from tropical hydroelectric reservoirs*, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L06404, doi:10.1029/2007GL033057.

International Hydropower Association. 2010. *GHG Measure Measurement Guidelines for Freshwater Reservoirs*. International Hydrological Programme and United Nations Education, Scientific, and Cultural Organizations.

International Energy Agency. 2011. *CO₂ Emissions from Fuel Combustion*.

International Panel on Climate Change's (IPCC) 2006. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4, Agriculture, Forestry, and Other Land Use*. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.

Tremblay, A, et al. 2005b. *Hydroelectric Reservoirs: from Boreal to Tropical Regions: Hydro-Québec Production, Environment*. Montréal, Québec, Canada.

Tremblay, A. et al. 2005a. *Greenhouse gas emissions-- fluxes and processes: hydroelectric reservoirs*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.

UNESCO/IHA 2008. *GHG Measurement Guidelines for Freshwater Reservoirs*. Prepared by the International Hydropower Association (IHA) in collaboration with the International Programme (IHP) of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO).