



Fecha de presentación del Informe: Día Mes Año

Datos generales del Proyecto

Código del proyecto: 872			
Título del proyecto: DINÁMICA DE LA EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN UN ECOSISTEMA ACUÁTICO EUTROFIZADO (LAGUNA DE SONSO)			
Facultad o Instituto Académico: Facultad de Ciencias Exactas y Naturales			
Departamento o Escuela: Depto de Biología			
Grupo (s) de investigación: Biología de Plantas y Microorganismos BPM y ESTUDIO Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL			
Investigadores ¹	Nombre	Tiempo asignado	Tiempo dedicado
Investigador Principal	Enrique Peña-Salamanca	6 hrs/s	6 hrs/s
Coinvestigadores	Juan Pablo Silva	4 hrs/s	4 hrs/s
Otros participantes			

1. Resumen ejecutivo:

Los humedales naturales son ecosistemas estratégicos que ofrecen servicios ambientales tales como la prevención de inundaciones, el secuestro de carbono, la filtración de nutrientes y el mantenimiento de la biodiversidad, entre otros. El problema de estos ecosistemas alrededor del mundo, es que han sido fuertemente impactados debido a las actividades antrópicas relacionadas con la agricultura y ganadería, la descarga de excesos de fertilizantes de los sistemas agrícolas, la urbanización y el vertimiento de aguas residuales provenientes de asentamientos humanos. El estudio se realizó en la Laguna de Sonso ubicada en el sur occidente de Colombia, en la margen derecha del Río Cauca a 937 msnm entre los municipios de Buga, Yotoco y Guácari.

Acorde con los datos reportados de la calidad de agua del ecosistema lagunar, se pudo establecer que la Laguna de Sonso presenta características de un cuerpo acuático eutrofizado,

¹ Todas las personas relacionadas en el informe y que participen en el proyecto deben haber suscrito el acta de propiedad intelectual de acuerdo con los formatos establecidos.



a partir de los valores de Nitrógeno Total y Fosforo Total. Y los valores de oxígeno disuelto, donde se obtuvieron valores puntuales cercanos a 2 mg.L^{-1} . En cuanto a la dinámica de los gases de efecto invernadero (GEI) en los sedimentos, los resultados indican que estos fueron fuente neta de CH_4 , CO_2 y N_2O . Esta condición es atribuida al exceso de materia orgánica y nutriente parte del Rio Cauca hacia la Laguna de Sonso que favorece el proceso de eutrofización. Este exceso en materias orgánica y nutrientes estimula los procesos anaeróbicos generando la descomposición del carbono acumulado en los sedimentos a CH_4 y CO_2 . Los resultados del efecto de las macrofitas sobre la dinámica de los gases de efecto invernadero en el ecosistema lagunar, demostró que vegetación acuática actúa como sumideros de dióxido de carbono, además de actuar como una barrera física que afecta la difusión del CO_2 hacia la atmosfera en estos sitios. Estos resultados indican también que los sitios con vegetación acuática son importantes para la captura de dióxido de carbono y metano en las horas del día contribuyendo con la reducción de las emisiones de estos gases a la atmosfera. Sin embargo durante la noche dichas áreas pueden actuar como fuente de dióxido de carbono siendo mayores emisoras que los sitios de aguas abiertas. Los valores de biomasa dela clorofila a y de productividad en la columna de agua demostraron que la actividad fotosintética fitoplancton influencia el proceso de secuestro del CO_2 hacia capas internas de la laguna. Así, la suma de “fotosíntesis + sedimentación” favorece la persistencia de un flujo neto y bombeo continuo de dióxido de carbono desde la atmósfera hacia capas más profundas generando una importante captura de CO_2 .

2. Síntesis del proyecto:

2.1 El Tema

La principal consecuencia de la alteración de los ciclos biogeoquímicos en los humedales es el desequilibrio entre la emisión y el secuestro de gases de efecto invernadero tales como el dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) (Keddy, 2010; Liikanen & Martikainen, 2003; Stadmark & Leonardson, 2005). El incremento en la pérdida de carbono en los humedales se debe a que debido a las condiciones eutróficas la tasa de respiración de carbón superan las tasas de fijación por fotosíntesis, lo que incrementa las emisiones de CO_2 . La generación de CH_4 está relacionada con la descomposición de la materia orgánica de los sedimentos bajo condiciones anaerobias que son propiciadas por la depleción en la concentración de oxígeno generada por la alta productividad primaria en el humedal. Respecto al N_2O se sabe que la producción de este gas se ve estimulada por las excesivas descargas de nitrógeno a los humedales, las cuales alteran las tasas de nitrificación y desnitrificación principales procesos que regulan la producción de este gas y su posterior transporte hacia la atmosfera.

Acorde con datos globales se ha estimado que las emisiones de CO_2 y CH_4 provenientes de ecosistemas acuáticos de agua dulce representan entre el 4% y 18%, respectivamente, de las emisiones globales de origen antropogénico (St. Louis et al., 2000). Respecto al N_2O algunos estudios reportan que la contribución global de los humedales a la emisión de este gas podría variar entre el 0.001 al 1% (Bouwman et al. 1993; Middelburg et al. 1995; Barnes et al. 2006; Corredor et al. 1999; Allen et al. 2007). Sin embargo, estas contribuciones de los humedales a las emisiones de GEI pueden ofrecer incertidumbre pues la mayoría de los estimativos se ha hecho para humedales localizados en zonas templadas y en humedales no intervenidos

antrópicamente. En las zonas tropicales es probable que los cambios en uso del suelo y las actividades antrópicas derivadas de esta acción tengan un gran impacto sobre las emisiones de estos gases en los humedales. Adicionalmente, en zonas tropicales las emisiones de GEI en los humedales eutrofizados pueden llegar a ser mayor por las altas temperaturas que estimulan los procesos microbiológicos con la consecuente pérdida de carbono y nitrógeno en forma de GEI hacia la atmósfera.

Colombia es un país que tiene una gran diversidad de ecosistemas acuáticos, de los cuales aproximadamente 20'252'500 de hectáreas se han clasificado como humedales (Ministerio del Ambiente, 2001). En el Valle del Cauca se encuentra la Laguna de Sonso, uno de los mayores ecosistemas autóctonos que existe en el Valle aluvial del Río Cauca. Sin embargo, la Laguna recibe aportes de agua provenientes de la precipitación, las aguas subterráneas y un sistema de acequias intermitentes, las cuales además de transportar aguas lluvias, transportan vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales así como también excesos de aguas de riego (Hernández, 2005). La Laguna de Sonso ha sido objeto de estudios científicos donde se han abordado aspectos ambientales tales como metales pesados (Gischgler & Cevethovik, 2007), pesticidas (Arana & Paez, 2005), modelación de calidad del agua (Vélez & Mynett, 2006). Sin embargo, la estimación de la contribución de este ecosistema a la generación de GEI es limitada, razón por la cual surge la necesidad de avanzar en estudios que permitan cuantificar el impacto de la intervención antrópica en cuanto a la generación de estos gases en dicha laguna.

2.2 Objetivos:

General

Evaluar las fuentes de generación de GEI en un ecosistema léntico eutrofizado (Laguna de Sonso) que permita identificar medidas de mitigación al cambio climático en estos ecosistemas.

Específicos

- Determinar las fuentes de generación de GEI en diferentes compartimentos del ecosistema (interfase agua-aire, vegetación acuática y sedimento.)
- Establecer la distribución espacial de las emisiones de GEI en el ecosistema evaluado.
- Evaluar la influencia de la calidad de agua y parámetros fisicoquímicos tales como pH, potencial redox y temperatura en la dinámica de la emisión de GEI.
- Proponer una metodología para estimación de emisiones de GEI en ecosistemas acuáticos adaptada a las condiciones nacionales.

2.3 Metodología

2.3.1 Localización del área de estudio

El estudio se realizó en la Laguna de Sonso ubicada en el sur occidente de Colombia (3°51'43.36" N y 76°20'57.12" W), en la margen derecha del Río Cauca a 937 msnm entre los municipios de Buga, Yotoco y Guácari (Fig. 1a). El clima de la región es tropical con una temperatura media de 21°C a 26°C y una precipitación anual de 1375 mm. Acorde con los objetivos del proyecto se seleccionaron cuatro diferentes puntos dentro de la Laguna (Fig. 1b) para estudiar la dinámica de generación de GEI en la Laguna de Sonso:

- *Punto influenciado por procesos de sedimentación (P1):* Localizado en la zona norte del

ecosistema lagunar, en este existe intercambio de agua y sedimentos con el Río Cauca.

- *Punto influenciado por vertimientos de aguas residuales (P2)*: Localizado al oriente de la Laguna de Sonso, en éste influyen los vertimientos de tipo doméstico e industrial y la escorrentía difusa de cultivos de caña.
- *Punto sin cobertura vegetal (P3)*: Localizado en la zona central de la Laguna de Sonso, sin presencia de vegetación y baja influencia de procesos de sedimentación.
- *Punto influenciado por cobertura vegetal (P4)*: Localizado al sur de la Laguna de Sonso con presencia de *Eichornia Crassipes* (Buchón de Agua), vegetación característica de este ecosistema.

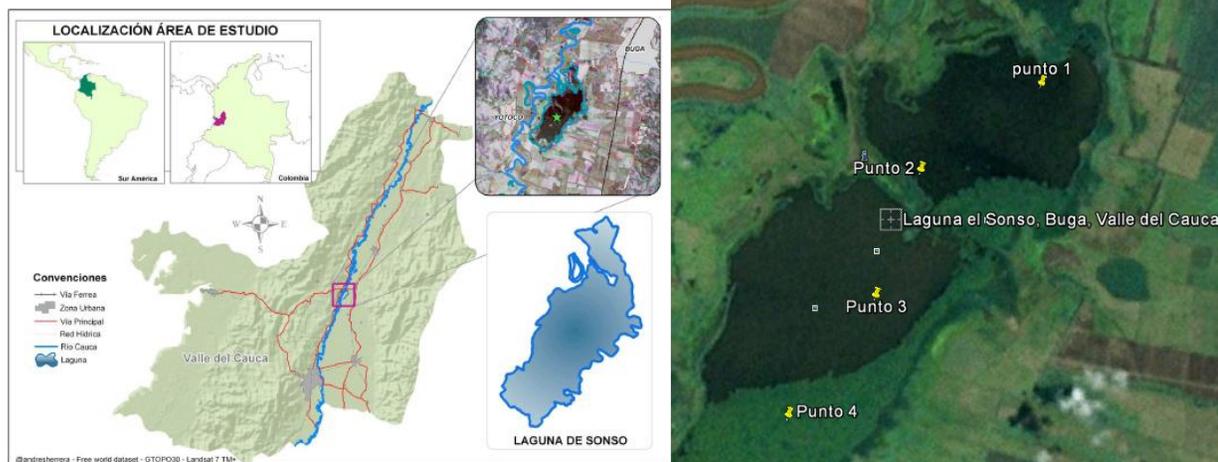


Figura 1. (a) Localización General de la Laguna de Sonso en el Contexto Nacional, Departamental y Regional. (b) Puntos de monitoreo de gases y de parámetros fisicoquímicos y ambientales.

2.3.2 Mediciones de GEI generadas en los sedimentos de la Laguna de Sonso

De los cuatro puntos de monitoreo se tomaron muestras de sedimentos para determinar su producción de GEI. Los sedimentos fueron colectados a una profundidad de 10 cm y almacenados en recipientes que fueron mantenidos a una temperatura inferior de 4°C y en condiciones de oscuridad para evitar actividad biológica antes del montaje experimental en el laboratorio. Los sedimentos fueron analizados para determinar su contenido en materia orgánica, nitrógeno total y fósforo total.

En el laboratorio los sedimentos fueron incubados en botellas de vidrio de volumen 500 ml. (Fig. 3) a las cuales se les adiciono 80 ml de sedimento y 160 ml de agua sintética. Las muestras tanto de agua sintética como de gases fueron tomadas conforme a lo recomendado en el protocolo que se encuentra en el Anexo 1.



Figura 2. Configuración reactores batch

Para evaluar la influencia de los nutrientes (N y P) en los gases de efecto invernadero (CO_2 , CH_4 y N_2O) generados en los sedimentos de un humedal natural eutrofizado se realizó un diseño experimental de medidas repetidas por dos factores con covariables, en el cual la unidad de análisis es la Laguna de Sonso y las unidades muestrales las constituyen las muestras de sedimentos extraídas de la Laguna. Las variables de respuesta son las concentraciones de CH_4 , N_2O y CO_2 y los factores de estudio considerados son el grado eutrófico de la laguna y los diferentes puntos de muestreo del sedimento, los cuales se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Factores y Niveles contemplados en el Diseño Experimental Estadístico

Factores	Niveles
Niveles de Eutrofización	Estado Mesotrófico (M)
	Estado Eutrófico (E)
	Estado Hipereutrófico(H)
	Sin Nutrientes (Blanco) (SN)
Puntos de Muestreo	P1
	P2
	P3
	P4

2.3.3 Estimación de las emisiones de GEI en la interfase agua-aire

La medición de GEI se llevo a cabo mediante la aplicación de la técnica de cámaras estáticas. La cámara utilizada se construyó en polietileno de color blanco y sus dimensiones fueron 72 cm de diámetro y 38 cm de altura (Figura). La cámara se equipó con una válvula de paso que permitió regular la presión interna de la cámara, un termohigrómetro para medir la temperatura, un tapón de caucho para la toma de la muestra y un anillo cilíndrico de icopor que le permite flotar sobre la superficie de la Laguna. Las muestras gaseosas para determinar las concentraciones de los GEI se tomaron en intervalos de 10 minutos (0, 10, 20 y 30 minutos), mediante una jeringa de 20 ml la cual fue insertada en el punto de muestreo (tapón de caucho). Posteriormente la muestra gaseosa tomada por la jeringa fue inyectada a viales al vacío los cuales fueron transportados al laboratorio para su posterior análisis acorde con las técnicas indicadas en la tabla 1.

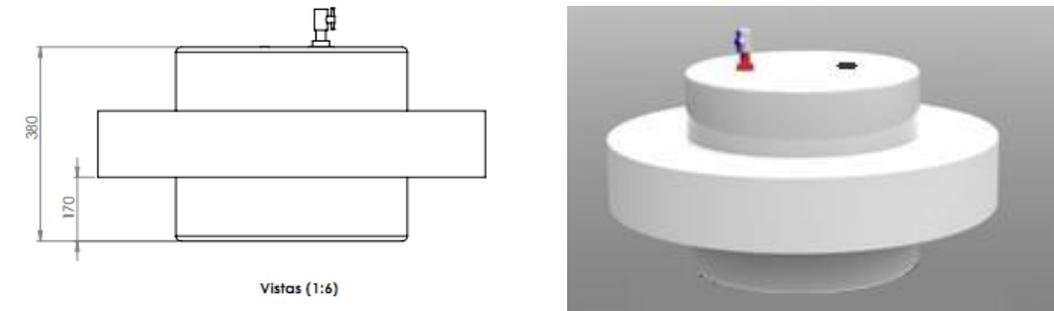


Figura 3. Cámara estática flotante (dimensiones en mm)
Fuente: Autores

Una vez determinadas las concentraciones de GEI en cada uno de los viales, los flux de CO₂, CH₄, N₂O se determinaron a partir de los datos de concentración versus tiempo acorde con la siguiente ecuación:

$$F = \frac{dC}{dt_{t=0}} \times \frac{V_c}{A_c} \times \frac{1440 \text{ min}}{d} \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde:

F= Flux de CH₄, CO₂ y N₂O (g m⁻² d⁻¹)

dC/dt_{t=0}= Pendiente de la curva de concentración del gas en el tiempo cero (g m⁻³ d⁻¹)

V_c= Volumen de la cámara (m³)

A_c= Área transversal de la cámara (m²)

2.3.4 Influencia de la vegetación y fitoplancton en la dinámica de GEI en la Laguna de Sonso

Estudio de macrófitas

Colecta de especies vegetales: Se realizaron recorridos libres en el sitio de estudio para la colecta de vegetación acuática. Las muestras botánicas fueron numeradas, prensadas y secadas. Los ejemplares fueron identificados hasta la categoría taxonómica más específica posible, mediante comparación con especímenes de herbario o con la ayuda de especialistas. Los ejemplares fueron depositados en el herbario de la Universidad del Valle (CUVC).

Estimación de la cobertura vegetal y parámetros ambientales: En cada zona se midió la cobertura vegetal mediante la ubicación aleatoria de un cuadrante de 1m² sobre sitios cubiertos de vegetación acuática. El porcentaje de cobertura por especie se estimó visualmente, y se le asignó un valor de 1-100%.

Determinación de la biomasa: Se colectó el total de vegetación acuática y/o estructuras vegetales presentes al interior del cuadrante de muestreo. En el laboratorio las plantas fueron lavadas para extraer elementos contaminantes, luego se clasificó el material por especie y se



secó en un horno a 70°C por tres a cinco días. Finalmente se pesó en una balanza con precisión de 0,01g y se determinó la biomasa en peso seco por especie y la total.

Efecto de la productividad primaria en la producción de Gases Efecto Invernadero (GEI)

Recolección de muestras: En cada sitio de muestreo, se realizó un arrastre vertical de la zona superficial del agua durante 2 minutos, utilizándose para ello, una red de fitoplancton con red de nylon de malla de 20 micras. En total se recogieron ocho muestras por salida, de 1L de agua que fueron fijadas con solución de Lugol-acético, para la determinación de densidad de algas (análisis cuantitativo) por medio de una cámara de Neubauer (Moreno et al. 2012) y otras cuatro de 250 mL fijadas con formol al 4% para la identificación de especies (análisis cualitativo) mediante claves (Pestalozzi 1932; Bourrelly 1972; Germain 1981,). Ambos tipos de muestras fueron envasadas en recipientes de plástico previamente rotulados.

Medición de Clorofila *in vivo*: Siguiendo el método descrito por Holm-Hansen et al (1965) por medio de un fluorómetro Turner Designs, se obtuvo la clorofila *a* que es una medida indirecta de la biomasa del fitoplancton.

Medición de la producción primaria en fitoplancton

Se utilizó el método de las botellas claras y oscuras (Gaarder & Gran 1927), siguiendo las sugerencias propuestas por Brower y Zar (1981), manteniendo las botellas en incubación en un recipiente de acrílico transparente cubierto con papel polarizante a diferente espesor, que redujo la luz en diferentes porcentajes, con el fin de evidenciar la fotoinhibición de la fotosíntesis. Las botellas fueron incubadas en la zona fótica de los sitios de muestreo durante 2 horas, basados en experiencias previas que han mostrado que este tiempo es suficiente para registrar cambios detectables en la producción de oxígeno en las muestras (Varona-Cordero & Gutiérrez 2003). Luego del periodo de incubación, las botellas se sacaron a la superficie y se midió la concentración de oxígeno en cada botella, utilizando el método de Winkler (Strickland & Parsons 1972).

Influencia de parámetros ambientales y fisicoquímicos, macrófitas y productividad primaria en la generación de GEI

A todos los datos obtenidos en los experimentos de campo y de laboratorio inicialmente se les aplicó estadística descriptiva (pH, T, DQO, NH₃, NO₃⁻, NO₂⁻, NT, PO₄⁻³ y PT) para observar su variabilidad. La normalidad de estas variables se determinó con las pruebas estadísticas Shapiro Wilk y Anderson-Darling. La variación espacial de GEI, la influencia de las macrófitas y la producción primaria en la generación de GEI se determinó a través de las pruebas de Kruskal-Wallis, Mann-Whitney y los coeficientes de correlación de Spearman. Todos los datos fueron analizados mediante los programas estadísticos R, STATISTICA, versión 8 y PAST 2.15.

Métodos analíticos

Las mediciones de GEI y los parámetros fisicoquímicos y ambientales se determinaron acorde con lo descrito en las Tablas 2 y 3.

Tabla 2. Métodos de análisis de CO₂, CH₄ y N₂O

Gas	Método de análisis
------------	---------------------------

CO ₂	Analizador (Loligo Systems, Dinamarca), equipo infrarrojo Qubit S151, fase móvil de 75 ml de aire.min ⁻¹ a temperatura ambiente.
CH ₄	Cromatografía de Gases - equipo Shimadzu GC14A con detector de ionización de llama (FID), columna en Porapak "NH, 80-100 mallas, 2m x 3mm, velocidad de flujo del gas portador (N ₂) de 22 ml.min ⁻¹ y temperatura de Cromatografía de Gases - equipo Shimadzu GC 14A con detector de captura de electrones (ECD), columna en Porapak "NH, 80-100 mallas, 2m x 3mm, velocidad de flujo del gas portador (N ₂) de 22 ml.min ⁻¹ y temperatura de

Tabla 3. Técnicas analíticas de parámetros fisicoquímicos del agua

Tipo de parámetro	Parámetro	Técnica analítica
IN-SITU	Temperatura	Medición directa empleando termómetro
	pH	Medición directa empleando pH-metro
	Oxígeno Disuelto	Método Potenciométrico
	Potencial Redox	Método potenciométrico
	DQO	Microdigestión
	NH ₃ -N	Espectrofotometría – Espectrofotómetro Hach DR 2700
	NO ₃ ⁻ -N	Espectrofotometría – Espectrofotómetro Hach DR 2700
	NO ₂ ⁻ -N	Espectrofotometría – Espectrofotómetro Hach DR 2700
	N Total	Espectrofotometría – Espectrofotómetro Hach DR 2700
	PO ₄ ⁻³ - P	Espectrofotometría – Espectrofotómetro Hach DR 2700
	P Total	Espectrofotometría – Espectrofotómetro Hach DR 2700

2.4 Resultados obtenidos

2.4.1 Calidad del agua de la Laguna de Sonso

Acorde con los datos reportados en la Tabla 4 se puede establecer que la Laguna de Sonso presenta características de un cuerpo acuático eutrofizado. Las concentraciones de NT y PT caen en el rango establecido para condiciones eutróficas de nitrógeno total entre 1 y 2 mg N.L⁻¹ y fósforo total entre 0,030 y 0,100 mg P.L⁻¹ (Heyman et al., 1984; Moreno, 2010). Igualmente, la influencia de la eutrofización de la Laguna de Sonso en la calidad del agua se observa en los

valores de oxígeno disuelto medidos en la columna de agua. Estos valores están por debajo del valor de saturación y quizás lo más crítico es que en algunos muestreo se obtuvo valores puntuales cercanos a 2 mg.L^{-1} .

Otro factor que indica la eutrofización de la Laguna de Sonso es la presencia de gran cantidad de Plantas acuáticas. En esta investigación se identificaron principalmente tres especies emergentes (*Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitchc, *Hydrocotyle umbellata* L., *Paspalum repens* P. J. Bergius) y tres especies flotantes (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, *Pistia stratiotes* L., y *Salvinia* sp.) Las especies dominantes en las zonas de muestreo fueron *E. crassipes* y *Salvinia* sp.

Tabla 4 Características de la calidad del agua en la Laguna de Sonso. Se muestran los valores promedio y desviaciones estándar de los parámetros fisicoquímicos y ambientales.

Parámetro	Puntos de Muestreo			
	1	2	3	4
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	26.8 ± 2.5	28.7 ± 2.9	30.3 ± 2.8	30.4 ± 2.6
OD (mg.L^{-1})	4.4 ± 2.2	4.5 ± 1.7	5.4 ± 1.6	4.6 ± 1.6
ORP (mv)	222.6 ± 26	213.2 ± 28.2	193.2 ± 30.4	202.9 ± 38.6
pH (unidades)	7.8 ± 0.5	7.8 ± 0.4	7.9 ± 0.4	7.8 ± 0.5
Profundidad (m)	0.6 ± 0.3	0.5 ± 0.5	0.7 ± 0.5	0.6 ± 0.6
Transparencia (m)	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.2 ± 0.1
Alcalinidad ($\text{mg de CaCO}_3.\text{L}^{-1}$)	172.8 ± 52.2	215.7 ± 55	227.2 ± 37	256.2 ± 40
DQO ($\text{mg O}_2.\text{L}^{-1}$)	33.8 ± 9.5	31.6 ± 12	31.7 ± 12.3	32.1 ± 12.2
Ptotal (g P.L^{-1})	61.0 ± 0.06	82.0 ± 0.07	72.0 ± 0.08	53.0 ± 0.06
Fosfatos ($\text{mg P}_{\text{PO}_4^{3-}}.\text{L}^{-1}$)	0.5 ± 0.4	0.5 ± 0.3	0.4 ± 0.18	0.3 ± 0.14
Nitritos ($\text{mgN}_{\text{NO}_2^-}.\text{L}^{-1}$)	7.6 ± 0.007	6.7 ± 0.005	7.2 ± 0.006	4.0 ± 0.005
N amoniacal ($\text{mg N}_{\text{NH}_3}.\text{L}^{-1}$)	1.0 ± 0.52	0.9 ± 0.64	0.7 ± 0.42	0.5 ± 0.3
N total (mg N.L^{-1})	1.3 ± 1.1	1.2 ± 1.4	1.8 ± 2.1	1.7 ± 1.8
Nitratos ($\text{g N}_{\text{NO}_3^-}.\text{L}^{-1}$)	64.0 ± 0.08	0.1 ± 0.11	67.0 ± 0.09	0.1 ± 0.12

Otro factor que incide en la calidad del agua de la Laguna de Sonso es la materia orgánica proveniente de las descargas de las aguas residuales y de las escorrentías agrícolas de los cultivos aledaños. El valor de DQO encontrado supera el valor de 20 mg.L^{-1} establecido como

una guía de calidad de agua para aguas naturales (UNESCO, 1996). Este exceso en el contenido de materia orgánica puede generar cambios en la acumulación de carbono en la Laguna de Sonso.

2.4.2 Emisiones de GEI en Sedimentos

Los resultados obtenidos indican que para todas las condiciones de eutrofización simuladas los sedimentos fueron fuente neta de CH₄, CO₂ y N₂O (Tabla 4). El sedimento proveniente de P1 registró las más altas emisiones de CO₂ y CH₄, 12.79 y 4.10 mg.m⁻².h⁻¹, respectivamente. Esto es atribuido al exceso de materia orgánica y nutrientes que hace el Río Cauca a la Laguna de Sonso que favorece el proceso de eutrofización en este cuerpo acuático. Este exceso en materia orgánica y nutrientes estimula los procesos anaeróbicos generando la descomposición del carbono acumulado en los sedimentos a CH₄ y CO₂ tal como se observa en la figura 4. Por otra parte, la máxima emisión de N₂O se presentó en P4 con un flux de 5.63 µg.m⁻².h⁻¹. Esta generación de N₂O estuvo relacionada con el exceso de nitrógeno acumulado en los sedimentos de esta zona que en los reactores estudiados se transformo a N₂O a través de nitrificación o denitrificación incompletas, ya que en los reactores no se dieron las condiciones adecuadas para llevar a cabo completamente estos procesos.

Un aspecto importante a tener en cuenta en la generación de los GEI en los sedimentos es que no hubo diferencias significativas para las diferentes condiciones de eutrofización simuladas en cuanto a la producción de de CH₄, CO₂ y N₂O. La simulación de las condiciones de eutrofización se estableció sobre la base de adicionar N y P al sobrenadante líquido en los reactores, sin embargo, acorde con los resultados obtenidos esto no afecto la producción de GEI y probablemente fueron más importantes los contenidos de materia orgánica y nutrientes que tuvieron los sedimentos colectados, así en los reactores no hubo limitación de nutrientes para producir emisión de GEI. Todo lo anterior sugiere que la excesiva carga de materia orgánica y de nutrientes que presenta la Laguna de Sonso ha producido un incremento de carbono y nitrógeno en los sedimentos alterando la biogeoquímica del humedal lo que probablemente acelera el intercambio de GEI entre el cuerpo acuático y la atmosfera (Huttunem et al., 2002).

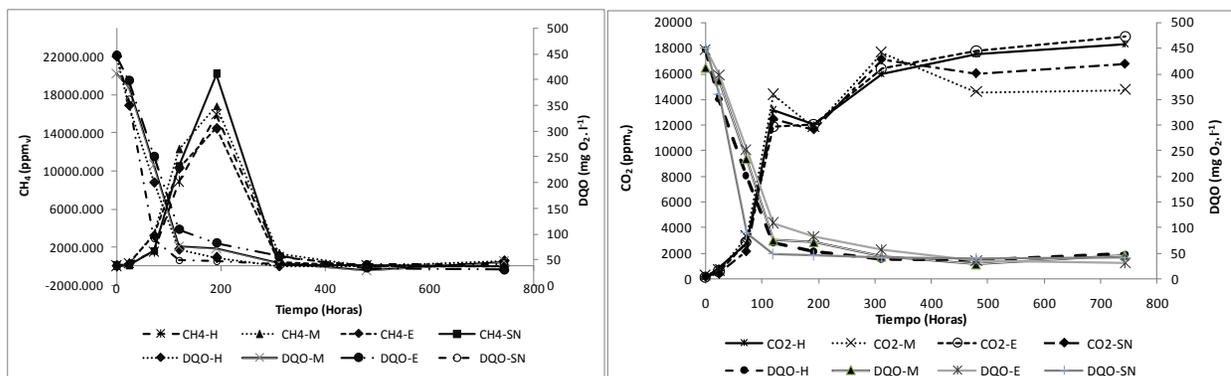


Figura 4. Comportamiento concentraciones (a) CH₄ (b)CO₂ Vs DQO

Tabla 5. Emisiones de GEI (CH₄, CO₂ y N₂O) generadas en los sedimentos

ESTADO EUTROFIZACIÓN	FLUX CO ₂			
	P1	P2	P3	P4
	(mg.m ⁻² .h ⁻¹)			
SN	11.14	6.98	4.79	7.88
M	12.79	7.62	7.08	7.60
E	10.57	6.56	7.06	7.04
H	11.75	7.64	6.21	8.63

ESTADO EUTROFIZACIÓN	FLUX CH ₄			
	P1	P2	P3	P4
	(mg.m ⁻² .h ⁻¹)			
SN	4.10	1.83	0.78	1.22
M	3.98	2.07	1.46	1.29
E	3.34	2.39	1.79	1.44
H	3.24	2.13	1.58	1.41

ESTADO EUTROFIZACIÓN	FLUX N ₂ O			
	P1	P2	P3	P4
	(µg.m ⁻² .h ⁻¹)			
SN	3.23	1.83	1.16	1.75
M	2.33	1.11	1.49	1.36
E	2.39	1.77	1.76	2.62
H	2.31	1.07	1.91	5.63

Finalmente, los modelos estadísticos (ver anexo 2) que correlacionaron las concentraciones de CO₂ y CH₄ obtenidos para los sedimentos de los 4 puntos de muestreo evidenciaron que las emisiones de CO₂ y CH₄ se ven influenciadas principalmente por la materia orgánica y nutrientes. Este resultado es acorde con lo reportado por Schrier-Uijl *et al.*, (2011) quien cuantificó las emisiones de CO₂ y CH₄ en zonas de turba, canales y lagos. Adicionalmente, autores como Stadmark y Leonardson (2005) y Liikainen *et al.*, (2002) encontraron que el incremento de materia orgánica estimularon la emisión de CO₂. En este estudio las emisiones de N₂O fueron favorecidas por las concentraciones NO₃⁻, resultado acorde con autores como (Liikainen *et al.*, 2002; Stadmark & Leonardson, 2005; Stadmark & Leonardson, 2007) quienes han reportado que el incremento de la disponibilidad de NO₃⁻ inciden directamente sobre la emisión de N₂O debido a que el NO₃⁻ toma importancia como aceptor de electrones para microorganismos quimiorganotrofos y al mismo tiempo estimula la desnitrificación.

2.4.3 Emisiones de GEI generados en la interfase agua-aire

En la Tabla 6 se indican los valores medios de flux, la desviación estándar y el número de mediciones realizadas en los diferentes puntos para los tres tipos de GEI evaluados en esta investigación CH₄, CO₂ y N₂O.

Tabla 6. Valores de Flux promedio para los GEI CH₄, CO₂ y N₂O medidos en cuatro diferentes puntos de la Laguna de Sonso. Se muestran la desviación estándar y el número de datos.

GEI	Punto de Muestreo			
	P1	P2	P3	P4
CH ₄ (g.m ⁻² .d ⁻¹)	3.6±6.9(n=13)	0.9±1.6(n=16)	0.2±1.4(n=13)	-0.4±1.6(n=14)
CO ₂ (g.m ⁻² .d ⁻¹)	4.2±7.9(n=14)	3.9±6.1(n=16)	3.1±2.4(n=15)	5.5±6.3(n=16)
N ₂ O(mg.m ⁻² .d ⁻¹)	0,1±0,008 (n=11)	0,03±0,002(n=14)	1,3±0,009 (n=16)	-1,1±0,013 (n=14)

Metano

Al comparar los resultados de flux promedio determinados en la Laguna de Sonso con valores reportados en la literatura, se puede observar que el rango de valores hallados en otros estudios para sistemas naturales en condiciones tropicales son menores (Bastviken et al., 2010; Huttunen et al., 2002; Smith et al., 2000; Tremblay et al., 2004). Tal diferencia entre los valores de flux puede ser asociada a la contaminación ocasionada por las descargas de agua residual y el estado trófico que presenta la laguna lo cual puede estimular tanto la producción como el consumo del metano.

Lo anterior se puede ver reflejado en la similitud que presentan los flux medidos en la Laguna de Sonso con los valores encontrados para una Laguna facultativa (Silva, 2011) y algunos humedales construidos de flujo libre (FWS) diseñados para tratar aguas residuales (Johansson et al., 2004; Johansson et al., 2003; Liikanen et al., 2006). Similitud que indica que la intervención antropogénica en los humedales naturales incrementa las emisiones de metano. Por lo tanto, si los humedales naturales aportan entre el 30 y 40% de las emisiones mundiales de metano (IPCC, 2007), estos valores pueden llegar a ser mayores debido al aporte de sistemas afectados por actividades antropogénicas como escorrentías agrícolas y vertimientos de agua residual tal como es el caso de la Laguna de Sonso.

Considerando las emisiones totales de los cuatro puntos evaluados la Laguna de Sonso es una fuente emisora de metano. Sin embargo, se presentaron algunas diferencias en los flux de CH₄ entre los puntos. En el caso del metano los puntos P1 y P2 fueron fuente neta de metano mientras que P3 y P4 tuvieron tendencia a comportarse como sumideros (Tabla 6). Debe tenerse en cuenta que el metano emitido hacia la atmosfera proviene del balance de la producción por bacterias anaerobias y el consumo de este gas por organismos metanotrofos. En el caso de los puntos P1 y P2 la producción de metano fue mayor debido a la carga orgánica adicional suministrada al humedal por el Río Cauca y la descarga de aguas residuales de la comunidad aledaña a la Laguna. En contraste, en los puntos P3 y P4 la liberación de oxígeno a través de la fotosíntesis realizada por la vegetación y el fitoplancton pudo favorecer las condiciones propicias para que ocurriera la oxidación de metano.

A partir del análisis estadístico no se encontró correlación entre la producción de metano y la temperatura o el potencial de oxidación-reducción ($p > 0.05$). Se encontró una correlación positiva entre la producción de metano y la concentración de PO_4^{3-} ($r = 0.66$; $p = 0.037$), la DQO ($r = 0.55$; $p = 0.025$), $\text{NH}_3\text{-N}$ ($r = 0.77$; $p = 0.01$) y la profundidad ($r = 0.56$; $p = 0.02$). Los fosfatos que ingresan a la Laguna de Sonso provienen del punto 1 y se pueden asociar al intercambio de agua y sedimentos con el Río Cauca, el cual recibe vertimientos de agua residual y escorrentías agrícolas a lo largo de su curso. La presencia de fosfato en los cuerpos de agua estimula la prevalencia de condiciones anóxicas y el crecimiento de microorganismos anaerobios lo cual trae como consecuencia un incremento en la producción de metano (Adhya et al., 1998; Conrad & Klose, 2005; Huttunen et al., 2003; Sun et al., 2013). En el experimento de la estimación de GEI en sedimentos se encontró que la materia orgánica (DQO) estimula la producción de metano lo que está acorde con lo observado en las mediciones *in situ*. Los vertimientos de agua residual incrementan la disponibilidad de nitrógeno amoniacal lo cual puede beneficiar las emisiones de metano ya que este compuesto inhibe los microorganismos metanótrofos los cuales se encargan de la oxidación de metano y regulan la emisión de este gas a la atmósfera (Borrel et al., 2011; Le Mer & Roger, 2001; Schnell & King, 1994).

El metano fue correlacionado negativamente con la concentración de oxígeno disuelto ($r = -0.50$; $p = 0.04$), $\text{NO}_3\text{-N}$ ($r = -0.68$; $p = 0.45$) y pH ($r = -0.75$; $p = 0.001$). La disminución en la concentración de OD favorece las condiciones anaerobias incrementando la producción de metano. Huttunen et al. (2002), indicaron que la oxigenación de la columna de agua puede limitar el proceso de metanogénesis en los sedimentos y favorecer la oxidación del metano. La correlación negativa encontrada entre el metano y la concentración de $\text{NO}_3\text{-N}$ puede explicarse mediante tres mecanismos. El primero es la oxidación anaerobia del CH_4 la cual utiliza el nitrato como aceptor de electrones (Biswas et al., 2007; Borrel et al., 2011; Raghoebarsing et al., 2006). El segundo es la inhibición de la producción de CH_4 debido a la presencia de compuestos intermedios de la desnitrificación que son tóxicos para los organismos metanogénicos (Roy & Conrad, 1999). El tercero es la oxidación aerobia del metano mediante el oxígeno introducido por la vegetación la cual se favorece del incremento de la disponibilidad de nitratos (Thiere et al., 2011). La correlación entre la producción de metano y el pH puede explicarse con lo reportado por (Noyola et al., 1997) los cuales mostraron en su estudio que el proceso de metanogénesis se empieza a inhibir a valores de pH cercanos a 8 unidades. Estos valores de pH se presentan principalmente cuando se cuenta con una intensa actividad fotosintética del fitoplancton la cual aumenta la producción de oxígeno favoreciendo la oxidación del metano.

Dióxido de Carbono

En general La Laguna de Sonso fue una fuente neta de CO_2 obteniéndose valores de flux entre -22.9 y $23 \text{ g.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ (Median = 0.93; SD = 7.1; $n = 42$). Comparando las emisiones de CO_2 con la literatura se encuentra que los valores medios son mayores a los observados en otros sistemas naturales (Huttunen et al., 2002; Xing, et al. 2005; Tremblay et al., 2004; Schier-Uijl et al., 2011) y comparables a lo reportado en estudios de humedales construidos tratando aguas residuales (Liikanen et al., 2006; Ström et al., 2007). Adicionalmente, la magnitud de los flux negativos encontrados para el CO_2 en la Laguna de Sonso fueron 10-30 veces mayores a los valores reportados para lagos en China, Canada y Holanda (Xing, et al., 2005; Tremblay et al., 2004; Schier-Uijl et al., 2011).



Al comparar los cuatro puntos evaluados se encontró diferencias significativas entre P4 y el resto de puntos (P1: $p=0.0002$; P2: $p=0.0001$; P3: $p=0.0001$; Mann Witney). Esto es tribuido a la presencia de vegetación en P4 que favorece procesos fotosintéticos de captura de CO_2 y a que P1, P2 e inclusive P3 están influenciados por los aportes antrópicos a la Laguna de Sonso. Esto se corrobora en el hecho de que los puntos P1, P2, P3 las emisiones de CO_2 se correlacionaron con los parámetros ambientales DQO($r=.57$; $p=0.05$), N-NO_3^- ($r=0.89$; $p=0.06$), $\text{NH}_3\text{-N}$ ($r=-.55$; $p=0.04$), and PT($r=0.58$; 0.001). La entrada de materia orgánica en exceso a la Laguna incrementa la disponibilidad de sustrato en los sedimentos y esto puede incrementar la producción de CO_2 por procesos de descomposición microbológica (Casper, 1992). Los nitratos sirven como uno de los primeros aceptores terminales en los sedimentos de los humedales después de la depleción del oxígeno constituyéndose en un compuesto clave en la oxidación de la materia orgánica. Las bacterias denitrificantes juegan un papel importante en el ciclo del carbono ya que ellos contribuyen significativamente a la mineralización del carbono (más del 50% del carbón mineralizado en los humedales es atribuido a la actividad denitrificante (Andersen 1977, Christensen et al., 1990). La correlación positiva encontrada entre PT y CO_2 puede explicarse en el hecho de que las bacterias dependen del fósforo como nutriente esencial para transformar la materia orgánica por ejemplo a CO_2 , por lo tanto a mayor disponibilidad de PT mayor producción de este gas.

Oxido nitroso

Considerando el total de los datos obtenidos en los cuatro puntos, los flux de óxido nitroso presentaron valores entre $-23,87$ y $26,14 \text{ mg N}_2\text{O m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ con los valores promedios reportados para cada punto en la tabla 6. Acorde con los resultados durante el periodo de estudio la Laguna de Sonso actuó como fuente y como sumidero de óxido nitroso, prevaleciendo esta última condición para el punto 4 y como fuente en los puntos restantes.

El rango de flux de N_2O determinados en la Laguna de Sonso fueron menores que los obtenidos en una laguna boreal en época de verano (Huttunen et al., 2002) mayores que los reportados para humedales construidos como reservorios (Guérin et al., 2008) y sistemas de tratamiento de agua residual (Johansson et al., 2004; Johansson et al., 2003; Teiter & Mander, 2005) y ligeramente similares a los encontrados para un humedal de tipo FWS (Strom et al., 2007). Estos resultados sugieren que la Laguna de sonso está actuando como una fuente significativa de óxido nitroso estimulada por su estado eutrófico. Por su parte, la variabilidad de los flux de óxido nitroso reportados en los diferentes estudios, puede atribuirse a las condiciones anaerobias y de disponibilidad de nutrientes que requieren los organismos denitrificadores, las cuales pueden presentar diferencia para cada estudio.

La aplicación de las diferentes pruebas estadísticas indicó que los flux de óxido nitroso no presentaron variación espacial significativa ($p=0,45$) (Figura 12). Sin embargo los comportamientos individuales indicaron que los puntos 1, 2 y 3 se comportaron principalmente como fuentes y el punto 4 como sumidero. El comportamiento de sumidero se puede asociar a que en el punto 4 el predominio de vegetación puede disminuir la disponibilidad de nitrato requerido como sustrato en el proceso de denitrificación. Al disminuir la disponibilidad de nitratos (menor a $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$), los microorganismos denitrificantes se obligan a utilizar para su metabolismo el óxido nitroso de la atmósfera como aceptor de electrones (Johansson et al., 2003). Cabe resaltar que el óxido nitroso es muy soluble en agua, lo cual facilita su disponibilidad para los microorganismos que lo consumen.

La disponibilidad de oxígeno disuelto presenta un efecto variable sobre los procesos de denitrificación y nitrificación en los cuales el N_2O se forma como un producto intermedio. El proceso de nitrificación corresponde a la oxidación del nitrógeno amoniacal a nitratos. En este proceso se puede formar el N_2O mediante la transformación de la NH_2OH (producto intermedio de la nitrificación I) y del NO_2^- (Hu et al., 2013; Wrage et al., 2001). La formación de N_2O mediante el proceso de nitrificación se presenta principalmente cuando las concentraciones de oxígeno son limitadas, Silva (2011) reporta valores alrededor de $1,2 \text{ mg.L}^{-1}$. En el caso de este estudio, en la Laguna de Sonso predominaron valores de oxígeno disuelto superiores a $4,0 \text{ mg.L}^{-1}$ lo cual no favoreció al predominio de la formación del N_2O mediante esta ruta, sin embargo en algunas mediciones realizadas durante las campañas de muestreo regulares se presentaron valores por debajo de 2 mg.L^{-1} . Por su parte la denitrificación consiste en la reducción por microorganismos heterotróficos de NO_3^- a nitrógeno molecular (N_2). Para el desarrollo de este proceso se requieren bajas concentraciones de oxígeno disuelto y alta disponibilidad de materia orgánica (Wrage et al., 2001). Oh and Silverstein (1999) reportaron que ha concentraciones de oxígeno disuelto menores a $5,9 \text{ mg.L}^{-1}$ se puede producir N_2O y que cuando se supera este valor se inhibe el proceso de denitrificación. Por lo tanto la formación de N_2O en la Laguna de Sonso puede haberse presentado principalmente mediante la ruta nitrificación y posterior denitrificación en alturas de la columna de agua cercanas a los sedimentos en donde se pueden llevar a cabo los dos procesos asociados a la disponibilidad limitada de oxígeno disuelto. Disponibilidad que puede ser afectada por el consumo de oxígeno realizado durante la transformación del nitrógeno total disponible en la columna de agua enriquecida por las cargas externas de agua residual y escorrentías de fertilizantes, el cual para este estudio se correlacionó positivamente con los flux de N_2O .

Adicional a la correlación con el nitrógeno total, se encontró una correlación positiva entre los nitratos y los flux de óxido nitroso del punto 2. Este resultado sugiere que posiblemente la producción de óxido nitroso en este punto se llevó a cabo principalmente mediante el proceso de denitrificación, ruta que utiliza al nitrato como principal aceptor de electrones (Hu et al., 2013; Huttunen et al., 2003; Moseman-Valtierra et al., 2011; Priscu, 1997; Roger et al., 1981; Stadmark & Leonardson, 2005). Por lo tanto en este punto un incremento de la disponibilidad de nitratos asociado principalmente a las escorrentías agrícolas que llegan a la Laguna por medio de las acequias cercanas generó una intensificación de los flux de N_2O .

Efecto de las macrofitas en la producción de Gases de Efecto Invernadero (GEI)

Se registraron seis especies de macrofitas durante el periodo de estudio principalmente tres especies emergentes (*Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitchc, *Hydrocotyle umbellata* L., *Paspalum repens* P. J. Bergius) y tres especies flotantes (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, *Pistia stratiotes* L., y *Salvinia* sp.) Las especies dominantes en las zonas de muestreo fueron *E. crassipes* y *Salvinia* sp. Los resultados demostraron que esta vegetación ejerce un efecto sobre la dinámica de los gases de efecto invernadero en el ecosistema lagunar. Los producción de los flux de los gases en áreas con y sin vegetación presentaron diferencias significativas tanto en la zona Nororiente ($p= 0,0001$) como en la zona Sur ($p=0,001$). El CO_2 en las áreas con vegetación presentó valores promedio de flux negativos, $-1,02$, al igual que el NO con valores promedio de $-0,97 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. En contraste, que en las áreas de espejo de agua sin vegetación los valores fueron positivos ($1,03$ y $1,19 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, NO y S). Para los muestreos del ciclo de 24 hrs., no se encontraron diferencias significativas en los valores de flux de CO_2 tanto para áreas con y sin de vegetación (NO $p= 0,086$ y S $p= 0,147$). En el caso del CH_4 , los valores más altos

se observaron para las áreas con macrófitas ($NO= 5,50 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ y $S= 3,34 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), comparadas con las áreas de espejo de agua ($NO= 1,42 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ y $S = 0,12 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). Sin embargo no hubo diferencias significativas de flux entre las áreas con vegetación y las descubiertas ($NO \text{ } p= 0,368$; $S \text{ } p=0,772$). Los resultados obtenidos demuestran que la vegetación acuática actúa como sumideros de dióxido de carbono, además de actuar como una barrera física que afecta la difusión del CO_2 hacia la atmosfera en estos sitios. Los resultados de emisiones de gases en un ciclo de 24 hrs. en las áreas con vegetación revelaron que durante el ciclo diurno los valores de flux fueron negativos, evidenciando el efecto de la actividad fotosintética de las plantas en la fijación y captura de CO_2 . El estudio demostró que los sitios con vegetación acuática son importantes para la captura de dióxido de carbono en las horas del día contribuyendo con la reducción de las emisiones de este gas a la atmosfera. Sin embargo durante la noche dichas áreas pueden actuar como fuente de dióxido de carbono siendo mayores emisoras que los sitios de aguas abiertas. Las áreas con vegetación mostraron en promedio mayores emisiones de metano, comparativamente con los flux en áreas sin vegetación.

Efecto del fitoplancton y la productividad primaria en la producción de Gases de Efecto Invernadero (GEI)

Los resultados de la variabilidad de la productividad primaria y su relación con la dinámica de la emisión de CO_2 mostraron una relación inversamente proporcional ($p=0,098$), evidenciando fluxes de CO_2 negativos ($-0,125 \text{ g/m}^2/\text{d}^1$). Estos datos reflejan el papel del fitoplancton en la captura de CO_2 en el ecosistema lagunar. En la escala temporal, la productividad incrementó desde marzo ($160,156 \text{ mgCfij/m}^3/\text{h}$) hasta julio ($214,845 \text{ mgCfij/m}^3/\text{h}$), mientras que la emisión del gas fue en aumento hasta mayo con un flujo desde $-0,292$ hasta $2,933 \text{ g/m}^2/\text{d}^1$, y fue decreciendo hasta julio con un flujo de $-0,594 \text{ g/m}^2/\text{d}^1$. Estos resultados demuestran la consistencia de relación espacio-temporal entre la productividad y la emisión de CO_2 . Los valores de biomasa y de productividad demostraron que la actividad fotosintética de los productores primarios (fitoplancton) influencia la reducción de la presión parcial de dióxido de carbono de las aguas superficiales, y por ende en el proceso de secuestro del CO_2 hacia capas internas de la laguna. Así, la suma de "fotosíntesis + sedimentación" favorece la persistencia de un flujo neto y bombeo continuo de dióxido de carbono desde la atmósfera hacia capas más profundas generando una importante captura de CO_2 .

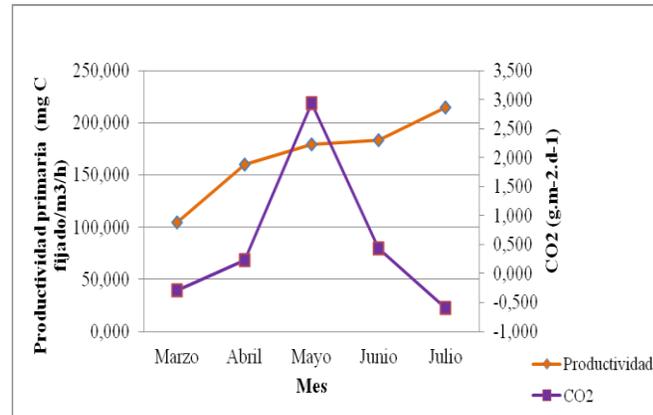


Figura 5. Relación de la productividad primaria vs la emisión de CO₂ en la estación norte de la laguna

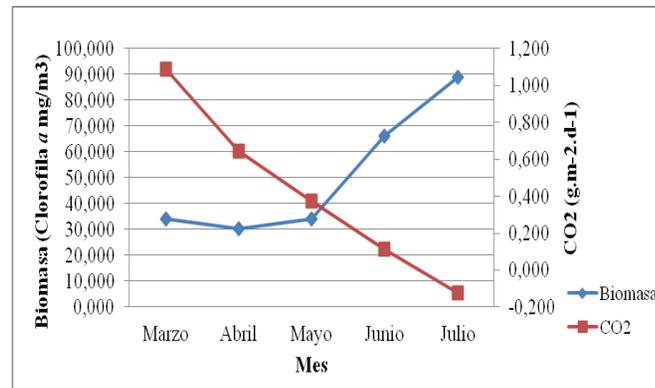


Figura 6. Relación de la productividad primaria vs la emisión de CO₂ en la estación centro de la laguna

LISTA DE ANEXOS

1. Resumen manuscrito "Effect of primary productivity and biomass of phytoplankton on CO₂ emission in the Lagoon Sonso, Cauca Valley".
2. Carta de recepción del manuscrito.
3. Informe de envío y recepción del manuscrito, "Effect of macrophyte biomass and coverage on the flux of carbón dioxide and methane in a tropical lagoon ecosystem".
4. Actas de grado de los estudiantes de pregrado Ingeniería Sanitaria y Ambiental.
5. Actas de grado de los estudiantes de pregrado Biología.



6. Resumen tesis de maestría Teresita Canchala (maestría en ingeniería énfasis en ingeniería sanitaria y ambiental).
7. Certificado de presentación de proyecto COLCIENCIAS, convocatoria 569-2012
8. Certificación de Ponencias nacionales
9. Certificación de Ponencias internacionales

3. Productos:

Tabla No. 1. **Cantidad y tipo de productos pactados en el Acta de Trabajo y Compromiso y productos finalmente presentados**

TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS	No. de PRODUCTOS PRESENTADOS
Productos de nuevos conocimientos		
Artículo completo publicado en revistas A1 o A2	3	2
Artículo completo publicados en revistas B		
Artículo completo publicados en revistas C		
Libros de autor que publiquen resultados de investigación		
Capítulos en libros que publican resultados de investigación		
Productos o procesos tecnológicos patentados o registrados		
<input type="checkbox"/> Prototipos y patentes		
<input type="checkbox"/> Software		
Productos o procesos tecnológicos usualmente no patentables o protegidos por secreto industrial		
Normas basadas en resultados de investigación		



TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS		No. de PRODUCTOS PRESENTADOS	
	No. de estudiantes vinculados	No. de tesis	No. De estudiantes Vinculados	No. De tesis
Formación de recursos humanos				
Estudiantes de pregrado	4	3	4	3
Semillero de Investigación				
Estudiantes de maestría	2	2	3	3
Estudiantes de doctorado	1		1	
Productos de divulgación				
Publicaciones en revistas no indexadas				
Ponencias presentadas en eventos (congresos, seminarios, coloquios, foros)	No. de ponencias nacionales	No. de ponencias internacionales	No. de ponencias nacionales	No. de ponencias internacionales
Propuesta de investigación	2	1	2	1
Propuestas presentadas en convocatorias externas para búsqueda de financiación.		1	1	1

Tabla No. 2. Detalle de productos.

Para cada uno de los productos obtenidos y relacionados en la tabla anterior, indique la información solicitada para cada uno, anexando copia de las respectivas constancias. Como anexo a esta guía encontrará el instructivo para la revisión de informes finales y productos

Tipo de producto:	Artículo revista A2
Nombre General:	Latinamerican Acuatic Journal
Nombre Particular:	Effect of macrophyte biomass and coverage on the flux of carbón dioxide and methane in a tropical lagoon ecosystem
Ciudad y fechas:	Santiago de Chile. Julio 31 de 2014



Participantes:	Ángela Cristina Jiménez taquina; Enrique Javier Peña Salamanca; Juan Pablo Silva vinasco; Ana Paola Lasso Palacios.
Sitio de información:	Centro de Documentación biología.
Formas organizativas:	Grupos de investigación.
Tipo de producto:	Artículo revista A2
Nombre General:	HIDROBIOLOGICA
Nombre Particular:	Effect of primary productivity and biomass of phytoplankton on CO ₂ emission in the Lagoon Sonso, Cauca Valley
Ciudad y fechas:	Mexico D.F. Abril 10 de 2015.
Participantes:	Carolina Isabel Pantoja Concha, ;Enrique Javier Peña Salamanca,;Alan Giraldo López ;Juan Pablo Silva
Sitio de información:	Centro de Documentación biología.
Formas organizativas:	Grupos de investigación.

4. Impactos actual o potencial:

Se ha demostrado que las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) de CO₂ y CH₄ a nivel mundial, provenientes de ecosistemas acuáticos continentales representan entre el 4% y 18%, de las emisiones globales de origen antropogénico. Por lo tanto, su significado en términos de ecosistemas estratégicos, permiten sustentar su papel protagónico en el secuestro de carbono en el escenario actual del cambio climático mundial. La Laguna de Sonso es el principal relicto de ecosistema lagunar asociado a la cuenca alta del Río Cauca y ha sido objeto de estudios científicos donde se han abordado su problemática ambiental desde varios puntos de vista. Sin embargo, este estudio aportó por primera vez la estimación de gases de efecto invernadero en humedales tropicales y su contribución como fuente o sumidero de GEI. Acorde con los resultados encontrados alrededor de la dinámica de emisión de GEI en la Laguna de Sonso, este estudio permitió entender el papel de estos ecosistemas en la problemática del calentamiento global. A nivel regional, este tipo de información se convierte en una herramienta científica para la toma de acciones de restauración de estos ecosistemas estratégicos frente al reto de afrontar el cambio climático en un contexto de alta incertidumbre.

La presente versión del informe contiene las observaciones de los evaluadores:



VICERRECTORIA DE INVESTIGACIONES
División de Proyectos

**FORMATO PARA LA ELABORACIÓN
DE INFORMES FINALES -
PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**

Firma del investigador principal

VoBo. Vicedecano de Investigaciones

*Por favor presente su informe impreso y en formato digital en hoja tamaño carta, letra arial 11,
con espacios de 1 1/2*