

Capítulo 14

Cuantificación de flujos de CO₂ en un ecosistema de manglar en la Bahía de Panamá

JAIME GONZÁLEZ

*Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas,
Universidad Tecnológica de Panamá.*

NATHALIA TEJEDOR-FLORES

*Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas,
Universidad Tecnológica de Panamá.
Sistema Nacional de Investigación (SNI).*

REINHARDT PINZÓN

*Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas,
Universidad Tecnológica de Panamá.
Sistema Nacional de Investigación (SNI).*

ANA FRANCO

*Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas,
Universidad Tecnológica de Panamá.*

Resumen

Los bosques de manglar que existen en el mundo, son ecosistemas extremadamente productivos, tanto en el sentido biomasa como en el almacenamiento de

carbono y otros usos. Estos bosques de manglar almacenan gran cantidad de carbono no solo a nivel aéreo sino por debajo del suelo, siendo en algunos casos mayores secuestradores que otros organismos similares. Debido a esta importancia, el objetivo principal de esta investigación, es la cuantificación de los flujos de CO₂ que se producen en el bosque de manglar ubicado en la Bahía de Panamá. Para la medición de este flujo se cuenta con sistema covarianza de Eddy, ubicado en una torre de 30 metros. Los datos utilizados han sido recopilados desde el 2015 hasta la fecha actual. Con este tipo de estudios se espera cuantificar el aporte de CO₂ que proviene de los ecosistemas de manglar y con ello mejorar las políticas de protección de los mismos. Se concluye que estudios como este realizan aportes de diversas índoles tanto a nivel de creación de capacitaciones personales inexistentes en Panamá, como mejoramiento del conocimiento científico, además este estudio aporta una bibliografía actualizada del estado del arte sobre la captación de CO₂ en los manglares, la cual será útil para la comunidad científica en general.

Palabras Clave: Avicennia sp, Cambio Climático, Covarianza de Eddy, Gases de efecto invernadero, Meteorología.

Abstract

The mangrove forests that exist in the world are extremely productive ecosystems, in the sense of biomass, carbon storage and other useful uses. These mangrove forests store a large amount of carbon not only at the aboveground but also below the ground, being in some cases the greater reservoir of carbon than other similar organisms. The main objective of this research is the quantification of the CO₂ fluxes that take place in the mangrove forest located in Panama Bay, we used the Eddy Covariance system, located in a 30-meter tower to measurement this flux. The data used in this research has been compiled from 2015 to the present. With this study, we expected to quantify the contribution of CO₂ that comes from the mangrove ecosystems and with this, improve the protection policies of these ecosystems. We concluded that studies like this one will make important contributions at the level of creation of non-existent technical staff in Panama, as well as improvement of scientific knowledge; also, this study contributes an updated bibliography of the state of the art of the CO₂ capture in the mangroves and represents a useful tool for the scientific community.

Keywords: Avicennia sp, Climate Change, Eddy Covariance, Greenhouse Gases, Meteorology.

SUMARIO: I. INTRODUCCIÓN. II. MATERIALES Y MÉTODOS. 2.1. *Área de estudio*. 2.2. *Sistema de adquisición: instrumentos, sensores*. 2.3. *Metodología*. III. RESULTADOS. IV. CONCLUSIONES. V. REFERENCIAS.

I. INTRODUCCIÓN

Los manglares se encuentran distribuidos a lo largo de las costas protegidas en los trópicos y subtrópicos, donde cumplen importantes funciones socioeconómicas y ambientales. Estos incluyen la provisión de una gran variedad de productos forestales madereros y no madereros; protección costera contra los efectos del viento, las olas y las corrientes de agua; la conservación de la diversidad biológica, incluidos varios mamíferos, reptiles, anfibios y aves en peligro de extinción; protección de arrecifes de coral, lechos de pastos marinos y rutas marítimas contra la sedimentación; y la provisión de hábitat, zonas de desove y nutrientes para una variedad de peces y mariscos, incluidas muchas especies comerciales (Baldocchi; Hincks y Meyers 1988). A pesar de que los manglares brindan una serie de importantes servicios ecosistémicos para la humanidad, su existencia está amenazada por la deforestación, el cambio de uso de suelo y el cambio climático (Lee, Massman y Law, 2006).

Desde hace tiempo, se ha venido constatando que los bosques de manglar y las zonas asociadas, han sido consideradas como fuentes relevantes de carbono orgánico para las zonas costeras y para el secuestro del mismo (Baldocchi, 2003), (Fuentes, Geerts, Dejene, D'Odorico y Joseph 2006), (Fuentes, McFrederick y Kathilankal, 2006), bien es conocida la alta densidad del carbono en los innumerables espacios donde estos se encuentran arraigados y la importancia de su conservación para el significativo papel histórico que desempeñan en el cambio climático, mitigando sus efectos y favoreciendo el crecimiento de la vida a su alrededor (Fuentes, McFrederick y Kathilankal, 2006), (Tiwary, Fuentes, Barr, Wang y Colls, 2006). La alta productividad y densidad de carbono de los manglares también significa que la conservación de estos podría potencialmente secuestrar un volumen sustancial de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico y, por lo tanto, contribuir a la mitigación del cambio climático.

La presente investigación busca generar conocimientos sobre los aportes del manglar para una ciudad como la de Panamá, cercana y dependiente de su costa, la cual resulta tener una gran vulnerabilidad ante el cambio climático. El proyecto dispone de una torre covarianza Eddy instalada en el área protegida Humedal Bahía de Panamá. Esta tecnología proporciona estimaciones directas de los flujos de vapor de agua y CO₂ para las especies que conforman la vegetación del manglar.

El clima a nivel global está sufriendo cambios importantes entre los que se destaca el incremento de los niveles de CO₂ y su impacto en el efecto de invernadero y aumento de la temperatura de la atmósfera, por ello es necesaria su cuantificación. La pérdida rápida de los manglares en las recientes décadas los ha convertido en uno de los

ecosistemas más amenazados en el mundo, por lo cual este proyecto de investigación busca una estrategia que contribuya a elevar la calidad de vida del ciudadano y el mejoramiento de los sistemas ecológicos en que se encuentra la ciudad, poniendo la educación y la investigación al servicio de las necesidades de la población, contribuyendo al mejoramiento de la ciudad, así también al saneamiento de la Bahía de Panamá, con la participación de la sociedad. Para tales efectos, el proyecto contempla tres líneas principales de trabajo: la educación ambiental, la participación social, y el desarrollo de la investigación sobre el papel de los manglares en la reducción del riesgo y la adaptación al cambio climático.

Hasta la fecha, la mayoría de los estudios de intercambio de CO₂ y el vapor de agua se han realizado en ecosistemas de bosques y zonas áridas, pero dichas investigaciones no están totalmente documentadas en áreas de manglares. Es importante entender los balances de agua y de carbono de las comunidades de mangle, presentes únicamente en el 3% de la biosfera terrestre, asociada a los trópicos y sub-trópicos del planeta. Además, las comunidades de plantas en regiones de manglares han experimentado cambios rápidos y generalizados en respuesta al cambio climático o el uso de suelo. Por lo tanto, es de fundamental importancia para los ecólogos, ingenieros, hidrólogos y meteorólogos entender cómo se comportan los manglares en el intercambio atmosférico de la energía y el agua.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada en la bahía de Panamá, en un área cercana a la ciudad por lo cual reporta su localización, datos interesantes que pueden ser de utilidad para el entorno urbano. El proyecto SENACYT, FID2016-30 consta con el acceso a una torre de meteorología y de covarianza Eddy ubicada en una zona de manglar de Juan Díaz, esta torre se localiza en las siguientes coordenadas geográficas 9°00'51.082" N 79°27'10.60" E. Dicha estación experimental está dedicada a la memoria de Jay Zieman (qepd), de la Universidad de Virginia, y quien promovió la investigación y conservación de los manglares, ecosistemas tan ricos como frágiles y diversos que posee el Istmo de Panamá (ver figuras 1, 2 y 3). El proyecto tiene un sitio web donde se pueden observar las distintas actuaciones que se van realizando a cabo a lo largo de los meses (<http://manglar-carbono.utp.ac.pa/>).

Figura 1. Ubicación de la torre en la ciudad de Panamá.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2. Ubicación de la torre en el manglar de Juan Díaz. Panamá.



Fuente: Elaboración propia.

2.2. SISTEMA DE ADQUISICIÓN: INSTRUMENTOS, SENSORES

La torre de 30 metros de altura, tiene instalados a lo largo de su estructura diferentes instrumentos que realizan mediciones de variables meteorológicas y gases (dióxido de carbono y vapor de agua). Ver tablas 1, 2 y 3.

La instalación de la torre se realizó durante la campaña del año 2015 y se procedió a recopilar en una base de datos a partir del año 2016, las dificultades acaecidas por el clima y la dureza del manglar hacen que no todos los equipos hayan podido estar midiendo desde el principio o ininterrumpidamente, sino que se han producido eventos que interrumpido mediciones y situaciones en las que la torre ha sido deteriorada por la fauna propia del lugar, obligando a los investigadores a poner nuevamente en funcionamiento los elementos averiados. Actualmente la torre

se encuentra completamente funcional y realiza mediciones completas desde los inicios del año presente. Ver figura 3.

Figura 3. Vista aérea, torre proyecto FID-1630.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1. Descripción de variables. Almacenador de datos 1.

Descripción de variables-Datalogger Mangrove Tower		
Variable	Unidades	Altura/profundidad
Velocidad del viento	m/s	8.0, 15.0
		30.3
Dirección del viento	grados	8.0, 15.0
		30.3
Humedad relativa	%	2.6, 30.0
Temperatura del aire	°C	12.1, 15.7, 23.1, 18.9, 25.6, 30.0

Tabla 2. Descripción de variables. Almacenador de datos 2

Descripción de variables- Datalogger Mangrove2		
Variable	Unidades	Altura/profundidad (metros)
Temperatura de suelo	°C	0.05, 0.10, 0.15, 0.25

Variable	Unidades	Altura/profundidad (metros)
Flujo de calor de suelo	W/m ²	0.08
Radiación promedio de onda corta (cima del piranómetro)	W/m ²	30.5
Radiación media de onda larga (cima del pirgeómetro)	W/m ²	30.5
Radiación media de onda larga (fondo del pirgeómetro)		

Tabla 3. Descripción de variables instrumentos de gases

Descripción de variables instrumentos de gases		
Variable	Unidades	Altura/profundidad (metros)
H ₂ O	mmol/m ³	27.70
Presión	kPa	27.70
Velocidad del Viento (U, V, W)	m/s	27.70
Temperatura	K	27.70

2.3. METODOLOGÍA

La metodología empleada en el proyecto se implementó en el año 2015. Esta consiste en la descarga periódica de los datos y su posterior almacenamiento para procesarse en gabinete. Los viajes o giras al manglar donde se encuentra ubicada la torre se realizan con una frecuencia mensual, debido en parte a la necesidad de contactar con un organismo de seguridad de Panamá que brinda su apoyo y supervisión en todas las visitas y que, sin ellos, no permiten las mismas.

Las giras a campo llevan asociadas una descarga de datos, revisión de los sistemas energéticos y de almacenamiento, mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos in situ y en oficina. La descarga de datos se realiza en equipos de trabajo del proyecto, tanto computadoras como memorias portátiles especiales para trabajar en las difíciles condiciones como las que nos exige el manglar.

En la actualidad se han realizado distintas reparaciones o modificaciones a algunos mecanismos de la torre debido a distintos problemas

originados tanto por la climatología como por la fauna del entorno. La torre se encuentra actualmente en un constante mejoramiento debido a estas incidencias.

Como consideraciones teóricas de las mediciones con covarianza Eddy, podemos asumir o imaginar el flujo de aire como un flujo horizontal de numerosos remolinos giratorios. Cada Eddy tiene componentes 3D, incluyendo el movimiento vertical del aire. Cada parcela de aire tiene características asociadas tales como la temperatura, concentración y otros parámetros. Conociendo la dirección del movimiento del aire, y estas características, se podría determinar si la entidad de interés estudiada se mueve dentro o fuera de la componente principal.

Los principios básicos de las mediciones de covarianza de Eddy se basan en el flujo vertical, el cual se puede calcular como covarianza entre la concentración de la entidad de interés y la velocidad vertical del viento en los remolinos. El método de Covarianza Eddy asume que el flujo es turbulento y que también el terreno suele ser homogéneo. También se asume que durante la noche y con la calma, las turbulencias bajas de los flujos pueden ser desestimadas.

Usualmente, una vez recopilada la data primaria o *raw*, de los días o meses, la misma se suele procesar con el programa *EddyPro*, después de esto se produce una segunda evaluación o procesamiento que se llama *secondary data processing*, en el cual se le aplican una serie de correcciones estándar para obtener los datos de mediciones meteorológicas.

Se deben también eliminar usualmente los datos que se producen en la noche y los datos que arrojan valores negativos, usualmente los datos que se producen por la noche son datos que se pueden identificar fácilmente al usar un Par fotosintético ya que este nos estará dando unos valores menores de $20\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Aparte de estas correcciones se deben realizar otras tales como la corrección de la velocidad de fricción. Una vez realizados todos los análisis y procesamientos necesarios podríamos obtener unos resultados claros de las condiciones y situaciones que están ocurriendo alrededor de la torre.

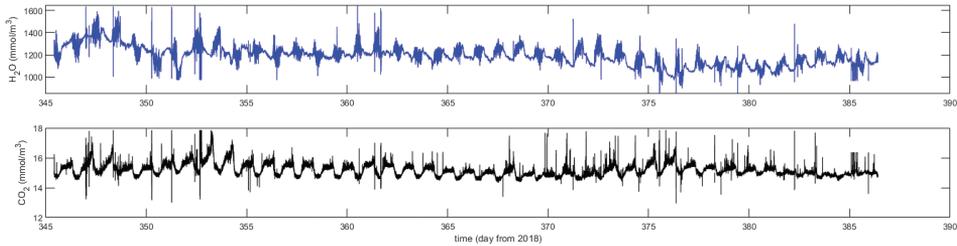
III. RESULTADOS

La serie que se presenta en este artículo ha sido analizada por el mediante el uso de Matlab y ha revelado los siguientes resultados que pasamos a comentar.

En primera instancia se obtuvo una serie de tiempo de vapor de agua y dióxido de carbono correspondiente al mes aproximado de datos

aportados, que van desde el 12 de diciembre de 2018 al 22 de enero de 2019.

Figura 4. Grafico serie de tiempo CO₂ y H₂O.

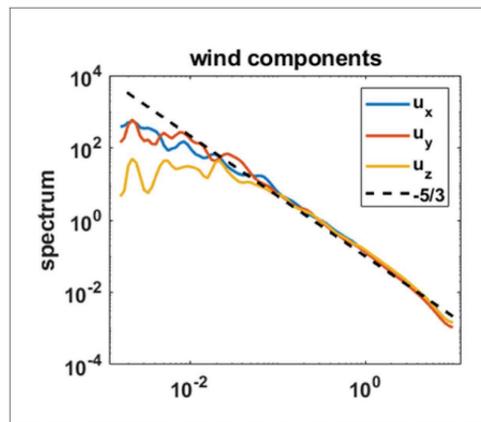


Fuente: Gráfico elaborado por Matteo Detto, utilizando Matlab.

Analizando la gráfica de la figura 4, podemos observar que los mmol de CO₂/m³ van desde los 13mmol/m³ hasta los 18mmol/m³. En esta misma gráfica también se representan los valores del H₂O, se pueden observar valores desde 1000mmol/m³ hasta 1600mmol/m³. Ambas gráficas dibujan los mismos incrementos de decrecimientos a lo largo del tiempo, aportando una similitud de medición y correlación a lo largo del tiempo.

Las otras variables que se analizaron mediante un análisis *wavelet power spectra* o análisis de ondícula (traducción del inglés) el cual realiza una comparación entre una recta imaginaria e ideal y los datos obtenidos en los análisis, han sido las componentes del viento, la temperatura del aire, el CO₂ y el H₂O se presentan en las figuras 5, 6, 7 y 8.

Figura 5. Gráfica de componentes del viento.

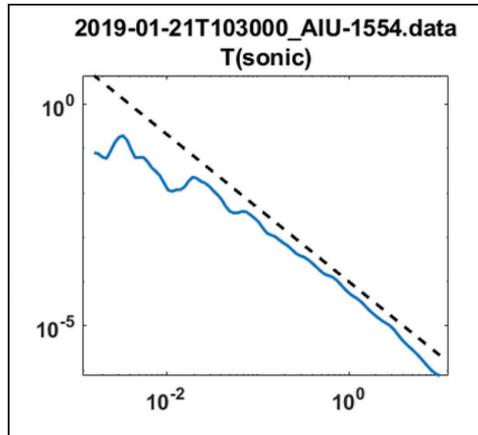


Fuente: Gráfico elaborado por Matteo Detto, utilizando Matlab.

Como se observa en la figura 5, el spectrum de las componentes del viento (*Wind components*), representa las tres componentes del viento, X, Y, Z que han sobrepasado la línea imaginaria de $5/3$ puesta como referencia (teoría de la turbulencia de Kolmogorov), esto indica que los datos analizados son realmente buenos, lo que demuestra que la torre realiza mediciones de forma correcta.

De la figura 6, el análisis de la temperatura del aire, nos indica una aproximación bastante buena a la línea de referencia, estando durante una buena parte del mismo en paralelo a la línea imaginaria, indicando también que la medición de la torre para la componente T° del aire es de buena calidad, y que la torre está trabajando de forma eficiente.

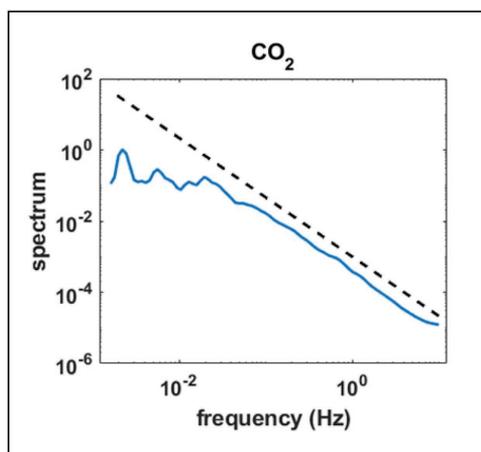
Figura 6. Gráfica de temperatura del aire.



Fuente: Gráfico elaborado por Matteo Detto, utilizando Matlab.

De la figura 7, en la componente CO_2 , nos ocurre un caso similar a la temperatura del aire, ya que al comienzo de la medición se muestra la línea muy separada de la línea de referencia aproximándose hasta encontrarse en paralelo a poca distancia como se muestra en dicha figura, este proceso indica que las mediciones y los resultados que se están obteniendo son válidos y pueden utilizarse completamente.

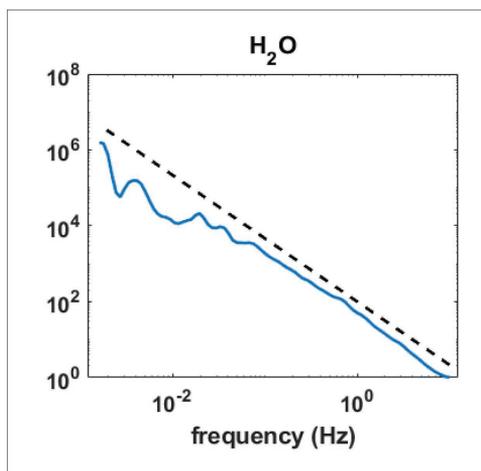
Figura 7. Grafica medición CO₂.



Fuente: Gráfico elaborado por Matteo Detto, utilizando Matlab.

Finalmente, de la figura 8, se analiza la componente H₂O y aunque en el principio se muestra muy cercana a la línea de referencia se aleja un poco y luego vuelve a posicionarse paralela a la misma hasta estabilizarse. Confirmando que se obtienen unas muy buenas mediciones que está llevando a cabo la torre y de validez de los datos recolectados.

Figura 8. Grafica medición H₂O.



Fuente: Gráfico elaborado por Matteo Detto, utilizando Matlab.

A grandes rasgos podemos afirmar en relación a las gráficas mostradas anteriormente que el trabajo de medición llevado a cabo en la torre está dentro de los valores normales y que nos muestran una eficiencia bastante buena para el desempeño de la torre.

IV. CONCLUSIONES

Los análisis de los datos nos indican que el sistema de adquisición de data y condiciones del ecosistema funcionan correctamente. Todavía se deben evaluar muchos datos y corregir algunos factores que no sean los adecuados. Por otro lado, este artículo abre la puerta a la futura comparación de los datos obtenidos y su interpretación por otros medios que no sea Matlab, por ejemplo, *EddyPro*, en el cual se está trabajando actualmente.

Para la completa presentación de todos los datos, se hace necesario un análisis multivariante de distintos factores, así como la obtención de otros modelos y datos que actualmente están siendo trabajados.

Con la instalación de torres de covarianza Eddy y el estudio de los flujos de carbono, se demuestran los beneficios de la conservación de los manglares y las mejoras que pueden aportar al ecosistema o a la temática del cambio climático.

El proyecto todavía tiene pendientes la realización de distintos trabajos como interpretación de la Flux Footprint, interpretación de datos de radiación solar, estimación de la NPP (Net Primary Production), NEE (Net Ecosystem Exchange) y entre otros.

Agradecimientos. Queremos agradecer a todos los colaboradores del Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas (CIHH) y externos, que trabajan con esmero y dedicación en el proyecto. Al apoyo brindado por el Programa de Saneamiento de Panamá del Ministerio de Salud (MINSA). Al Servicio Nacional Aeronaval (SENAN) por salvaguardar nuestra integridad física durante las giras a manglar. Finalmente, a la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología e Innovación (SENACYT), a través del Proyecto FID16-30, a McGill University, a través de "PRISM Small Grants" y al Sistema Nacional de Investigación (SNI).

V. REFERENCIAS

Baldocchi, D.D. 2003. *Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: Past, present and future*. Glob. Chang. Biol., 9, 479-492.

- Baldocchi, D.D.; Hincks, B.B.; Meyers, T.P. 1988. *Measuring Biosphere-Atmosphere Exchanges of Biologically Related Gases with Micrometeorological Methods*. *Ecology*, 69, 1331-1340.
- Fuentes JD, B Geerts, T Dejene, P D'Odorico, and E Joseph. 2006. *Vertical attributes of precipitation in West Africa and adjacent ocean*. *Theoretical and Applied Climatology*. Under review.
- Fuentes JD, QS McFrederick, J Kathilankal. 2006. *Air pollution interference with pollinators*. *Atmospheric Environment*. Under review.
- Lee, X.; Massman, W.J.; Law, B.E. 2006. *Handbook of Micrometeorology: A Guide for Surface Flux Measurement and Analysis*; Springer: New York, USA, Volume 29.
- Tiwary A, JD Fuentes, JG Barr, D Wang, JJ Colls. 2006. *Inferring the source strength of isoprene from ambient concentrations*. *Environmental Modelling and Software*. In press.

