

A Bibliographic review of the Importance of Carbon Dioxide Capture in Mangroves

Jaime González
Centro de Investigaciones Hidráulicas e
Hidrotécnicas
Universidad Tecnológica de Panamá
Panamá, Panamá
jaime.gonzalez10@utp.ac.pa

Nathalia Tejedor-Flores
Centro de Investigaciones Hidráulicas e
Hidrotécnicas-Universidad Tecnológica de
Panamá
Sistema Nacional de Investigación
Panamá, Panamá
nathalia.tejedor@utp.ac.pa

Reinhardt Pinzón
Centro de Investigaciones Hidráulicas e
Hidrotécnicas-Universidad Tecnológica de
Panamá
Sistema Nacional de Investigación
Panamá, Panamá
reinhardt.pinzón@utp.ac.pa

Abstract—The mangrove forests that exist in the world, are extremely productive ecosystems, both in the sense of biomass and carbon storage. These mangrove forests store a large amount of carbon, not only at the above ground but also below ground, being in some cases larger carbon sequestration than other similar organisms. Due to this importance, the main objective of this research, is make an exhaustive bibliographic review of the state of the art of the importance of CO₂ sequestration in mangroves, in the last 10 years, to do that, key words and strategies are identified. We obtain a total of 40 articles worldwide within the 2009-2019 period. We found that 63% of these studies correspond to the mangrove forests in the Asian continent. Finally, we conclude that studies like this provide an updated bibliography of the state of the art on the carbon sequestration in mangroves to the scientific community.

Key words- Mangrove, Carbon Dioxide, Carbon Dioxide Fluxes, Biomass

Resumen—Los bosques de manglar que existen el mundo, son ecosistemas extremadamente productivos, tanto en el sentido biomasa como en el almacenamiento de carbono. 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 realizar una exhaustiva revisión bibliográfica sobre el estado del arte de la importancia de la captación de CO₂ en los manglares, en los últimos 10 años, para ello se identificaron palabras claves y estrategias de búsqueda para obtener así una selección de 40 artículos a nivel mundial dentro del período 2009-2019. Se encontró que el 63% de estos estudios corresponden a los bosques de manglar ubicados en el continente asiático, se concluye que estudios como este aportan una bibliografía actualizada del estado del arte sobre la captación de CO₂ en los manglares a la comunidad científica.

Palabras Clave— Manglar, Dióxido de Carbono, Flujos de dióxido de carbono, Biomasa

I. INTRODUCCIÓN

Los manglares se encuentran comúnmente a lo largo de las costas protegidas en los trópicos y subtropicos, 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 [1]. 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 [2].

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 [3][4][5], 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 [6][5]. 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. Existen numerosos estudios desarrollados a lo largo de los manglares que se encuentran en el mundo, por lo cual el objetivo principal de esta investigación es realizar una extensiva búsqueda bibliográfica relacionada a la importancia de la captación de CO₂ en los manglares en los últimos 10 años; ya que como tal, los manglares ahora atraen un gran interés a nivel de política internacional, ya sea a través de compromisos a nivel nacional con el Acuerdo Internacional de París [7][8] o mediante la incorporación a los mercados de compensación de carbono forestal [9].

El texto está dividido en 4 secciones principales: la Sección 1 contiene una breve introducción al tema, la Sección 2 presenta la metodología utilizada, la Sección 3 contiene los resultados principales y la Sección 4 presenta las conclusiones de esta investigación.

II. METODOLOGÍA

A. Estrategia de Búsqueda Bibliográfica

En el objetivo principal de esta investigación, se estableció realizar una exhaustiva revisión bibliográfica sobre el estado del arte de la importancia de la captación de CO₂ en los manglares, en los últimos 10 años, por lo cual se procedió al muestreo de documentos comprendidos entre los años 2009 y 2019. Para generar las estrategias de búsqueda de información utilizadas en esta investigación, se realizaron los siguientes pasos:

a) *Identificar términos específicos:* En este paso: 1) se identifican palabras clave (sustantivos, verbos, nombres propios); 2) se emplean sinónimos de las palabras elegidas, variantes gramaticales; 3) se utilizan términos relacionados de significado parecido, o del mismo campo semántico y 4) se traducen los términos en otro idioma, fundamentalmente en inglés. Los términos específicos utilizados en esta investigación son: “Mangrove” y “Carbon Dioxide”.

b) *Operadores lógicos:* OR, AND, NOT: Los operadores lógicos o booleanos son aquellos términos y símbolos que se utilizan en el proceso de búsqueda de información, para elaborar estrategias de búsqueda más eficientes. Aunque pueden variar de un catálogo a una base de datos, los más utilizados son:

- **OR:** Se utiliza el operador OR para combinar términos y recupera los registros en los que aparece cualquiera de los términos buscados.

- **AND:** Se utiliza el operador AND para unir términos distintos y recupera únicamente los registros en los que aparecen todos los términos buscados.

- **NOT:** Se utiliza el operador NOT para eliminar aspectos de las materias que no interesen y recupera los documentos en los que aparece el primer término y no el segundo.

c) *Base de datos bibliográfica:* Las Bases de Datos Bibliográficas son recopilaciones de publicaciones de contenido científico-técnico, como artículos de revistas, libros, tesis, congresos, etc, de contenido temático, que tienen como objetivo reunir toda la producción bibliográfica posible sobre un área de conocimiento. Para la búsqueda de la base de datos se utilizó el catálogo de la Web of Science. De manera complementaria también se revisará el catálogo de SCOPUS.

- **Web of Science:** Tiene acceso integrado a todas las bases de datos y productos editados por Clarivate Analytics. Constituye una única plataforma de búsqueda y recuperación de información bibliográfica de trabajos publicados en las revistas científicas más prestigiosas, así como herramientas de análisis de las propias publicaciones. Es de carácter multidisciplinar y en idioma inglés.

- **SCOPUS:** es una base de datos propiedad de la empresa Elsevier que contiene 18.000 revistas publicadas por más de 5000 editores internacionales. Tiene una cobertura desde 1996 e incluye patentes y sitios webs integradas, así como dos métricas de factor de impacto de la investigación como son Scimago Journal Rank (SCR) y SNIP (Source-normalized impact Paper) de la Universidad de Leyden. Es de carácter multidisciplinar y en idioma inglés.

d) *Estrategia de búsqueda:* A continuación, en la “Fig. 1.” se muestra la estrategia de búsqueda utilizada en la Web of Science, utilizando **Tema: (“Mangroves” AND “Carbon Dioxide”)**.

B. Base de datos

Para esta investigación se ha escogido trabajar con una selección de 40 artículos, después de una exhaustiva revisión de 237 artículos que contenían las palabras clave “Mangrove” y “Carbon Dioxide”. La fuente principal de información para la creación de la base de datos es la proveniente de la base de datos bibliográfica “Web of Science”. A continuación, en la Tabla 1, se muestra el listado por nombre del artículo, autor, año y país de los 40 artículos seleccionados; y en la “Fig. 2.” un mapa del mundo donde se encuentran localizados.

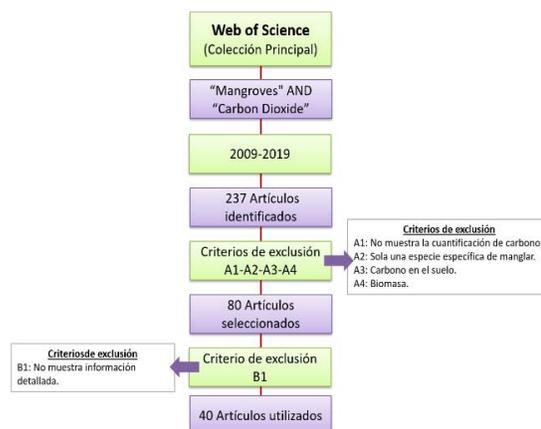


Fig. 1. Estrategia de búsqueda utilizada. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1.
Lista de artículos seleccionados.

| # | Autor | Año | País |
|----|---|------|------------------|
| 1 | Souza et al. [10] | 2009 | Brasil |
| 2 | Barr et al. [11] | 2010 | EE.UU (Florida) |
| 3 | G.C. Chen, N.F.Y. Tam y Y. Ye [12] | 2010 | China |
| 4 | McLeod et al. [13] | 2011 | Kenia y Tanzania |
| 5 | Ray et al. [14] | 2011 | India |
| 6 | John A. Zablocki, Andreas J. Andersson y Nicholas R. Bates [15] | 2011 | Bermuda |
| 7 | Jordan G. Barr, Vic Engel, Thomas J. Smith y José D. Fuentes [16] | 2012 | EE.UU (Florida) |
| 8 | Guang C. Chen, Nora F.Y. Tamb y Yong Ye [17] | 2012 | China |
| 9 | R. Ray, N. Majumder, C. Chowdhury, T.K. Jana [18] | 2012 | India |
| 10 | Marnie L. Atkins, Isaac R. Santos, Sergio Ruiz-Halpern y Damien T. Maher [19] | 2013 | Australia |
| 11 | Chanda et al. [20] | 2013 | India |
| 12 | Prabhakar R. Pawar [21] | 2013 | India |
| 13 | Ray et al. [22] | 2013 | India |
| 14 | Chanda et al. [23] | 2014 | India |
| 15 | H. Chen, W. Lu, G. Yan, S. Yang y G. Lin [24] | 2014 | China |
| 16 | Chen, C et al. [25] | 2014 | Indonesia |
| 17 | Qing Li, Weizhi Lu, Hui Chen, Yiqi Luo y Guanghui Lin [26] | 2014 | China |
| 18 | Linto et al. [27] | 2014 | India |

| | | | |
|----|---|------|-----------------|
| 19 | Udo Nehren y Pramaditya Wicaksono [28] | 2014 | Indonesia |
| 20 | Call et al. [29] | 2015 | Australia |
| 21 | Stuart E. Hamilton y John Lovette [30] | 2015 | Ecuador |
| 22 | Kamau et al. [31] | 2015 | Kenia |
| 23 | Reef et al. [32] | 2015 | Panamá |
| 24 | Troxler et al. [33] | 2015 | EE.UU (Florida) |
| 25 | Brown et al. [34] | 2016 | Australia |
| 26 | Ebrahim M. Eid, Ahmed F. El-Bebany y Sulaiman A. Alrumman [35] | 2016 | Arabia Saudi |
| 27 | Selena K. Gress, Mark Huxham, James G. Kairo, Lilian M. Mugi y Robert A. Briers [36] | 2016 | Kenia |
| 28 | Jerath et al. [37] | 2016 | EE.UU (Florida) |
| 29 | Nóbrega et al. [38] | 2016 | Brazil |
| 30 | Suraj Reddy Rodda , Kiran Chand Thumaty, Chandra Shekhar Jha y Vinay Kumar Dadhwal [39] | 2016 | India |
| 31 | Wang et al. [40] | 2016 | China |
| 32 | Raghab Ray y Tapan Kumar Jana [41] | 2017 | India |
| 33 | Jose Alan A. Castillo, Armando A. Apana, Tek N. Marasenib y Severino G. Salmo III [42] | 2017 | Filipinas |
| 34 | Guangcheng Chen, Min Gao, Bopeng Pang, Shunyang Chen y Yong Ye [43] | 2018 | China |
| 35 | Kusumaningtyas et al. [44] | 2018 | Indonesia |
| 36 | Rozainah M.Z., M.N. Nazri, A.B. Sofawi, Z. Hemati y W.A. Juliana [45] | 2018 | Malasia |
| 37 | Truong Van Vinha, Cyril Marchand, Tran Vu Khanh Linh, Duong Dang Vinh y Michel Allenbach [46] | 2018 | Vietnam |
| 38 | Virmi Budi Arifanti, J. Boone Kauffman, Deddy Hadriyante, Daniel Murdiyarto y Rita Dianac [2] | 2019 | Indonesia |
| 39 | Truong Van Vinh, Michel Allenbach, Aimé Joanne y Cyril Marchand [47] | 2019 | Vietnam |
| 40 | Clint Cameron, Lindsay B. Hutley y Daniel A. Friess [5] | 2019 | Indonesia |

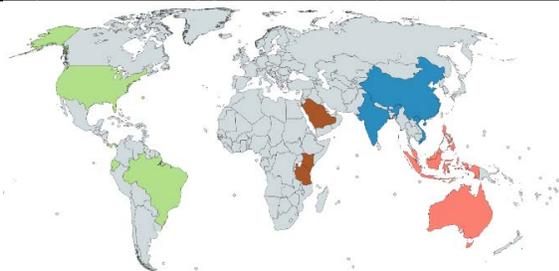


Fig. 2. Distribución de los artículos seleccionados en la revisión bibliográfica. Fuente: Elaboración propia.

III. RESULTADOS

De la revisión de los 40 artículos, el 63% de ellos fueron realizados en el continente asiático, lo que podría representar un gran interés por parte de la comunidad científica de estos países en conocer la captación de CO₂ en los bosques de manglar. El 23% de los estudios se encuentran en el continente americano, el 7 % en el continente africano y el 7% restante en el continente Oceánico. Ver “Fig. 3”.

Distribucion de los artículos seleccionados

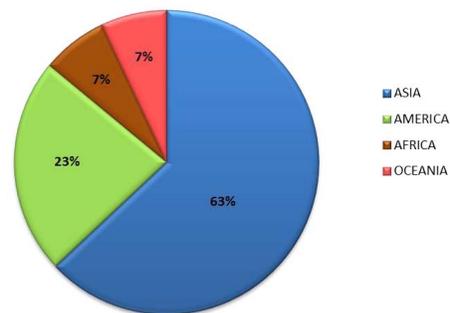


Fig. 3. Porcentajes de artículos por continentes. Fuente: Elaboración propia.

Para la evaluación del CO₂ captado por los bosques de manglar se procedió a revisar el valor total o promedio obtenido en cada una de las 40 investigaciones revisadas, cabe señalar que los valores presentados dentro de los artículos presentaban unidades de medida diferentes, por lo cual se procedió a transformar todas las medias de CO₂ a la unidad de medida mol m⁻² d⁻¹, la cual es la más frecuente en los estudios utilizados para esta investigación. En la Tabla 2 se muestran los resultados encontrados.

Tabla 2. Valores de CO₂.

| # | Autor | CO ₂ mol m ⁻² d ⁻¹ |
|----|--|---|
| 1 | Souza et al. | 4.75E+02 |
| 2 | Barr et al. | 0.245 |
| 3 | G.C. Chen, N.F.Y. Tam y Y. Ye | 0.894 |
| 4 | Mcleod et al. | 0.463 |
| 5 | Ray et al. | 9.00E-06 |
| 6 | John A. Zablocki, Andreas J. Andersson y Nicholas R. Bates | 32.650 |
| 7 | Jordan G. Barr, Vic Engel, Thomas J. Smith y José D. Fuentes | 0.491 |
| 8 | Guang C. Chen, Nora F.Y. Tamb y Yong Ye | 59.818 |
| 9 | R. Ray, N. Majumder, C. Chowdhury, T.K. Jana | 1.70E-04 |
| 10 | Marnie L. Atkins, Isaac R. Santos, Sergio Ruiz-Halpern y Damien T. Maher | 0.799 |
| 11 | Chanda et al. | 0.241 |
| 12 | Prabhakar R. Pawar | 0.054 |
| 13 | Ray et al. | 0.014 |
| 14 | Chanda et al. | 0.250 |
| 15 | H. Chen, W. Lu, G. Yan, S. Yang y G. Lin | 0.307 |
| 16 | Chen, C et al. | 0.225 |
| 17 | Qing Li, Weizhi Lu, Hui Chen, Yiqi Luo y Guanghui Lin | 1.296 |
| 18 | Linto et al. | 5.594 |

| | | |
|----|---|----------|
| 19 | Udo Nehrena y Pramaditya Wicaksonob | 2.42E+05 |
| 20 | Call et al. | 3.193 |
| 21 | Stuart E. Hamilton y John Lovette | 1.73E+07 |
| 22 | Kamau et al. | 0.135 |
| 23 | Reef et al. | 1.073 |
| 24 | Troxler et al. | 0.202 |
| 25 | Brown et al. | 0.106 |
| 26 | Ebrahim M. Eid, Ahmed F. El-Bebany y Sulaiman A. Alrumman | 0.023 |
| 27 | Selena K. Gress, Mark Huxham, James G. Kairo, Lilian M. Mugi y Robert A. Briers | 2.40E+06 |
| 28 | Jerath et al. | 0.001 |
| 29 | Nóbrega et al. | 8.00E-05 |
| 30 | Suraj Reddy Rodda , Kiran Chand Thumaty, Chandra Shekhar Jha y Vinay Kumar Dadhwal | 0.111 |
| 31 | Wang et al. | 0.017 |
| 32 | Raghab Ray y Tapan Kumar Jana | 1.50E-04 |
| 33 | Jose Alan A. Castillo, Armando A. Apana, Tek N. Marasenib y Severino G. Salmo III | 0.410 |
| 34 | Guangcheng Chen, Min Gao, Bopeng Pang, Shunyang Chen y Yong Ye | 4.53E+04 |
| 35 | Kusumaningtyas et al. | 0.006 |
| 36 | Rozainah M.Z., M.N. Nazri, A.B. Sofawi, Z. Hemati y W.A. Juliana | 9.00E-05 |
| 37 | Truong Van Vinha, Cyril Marchand, Tran Vu Khanh Linh, Duong Dang Vinh y Michel Allenbach | 0.003 |
| 38 | Virmi Budi Arifanti, J. Boone Kauffman, Deddy Hadriyante, Daniel Murdiyarso y Rita Dianac | 0.001 |
| 39 | Truong Van Vinh, Michel Allenbach, Aimé Joanne y Cyril Marchand | 23.320 |
| 40 | Clint Cameron, Lindsay B. Hutley y Daniel A. Friess | 2.00E-04 |

De los valores de CO₂ que se revisaron, se encontró que el valor más alto corresponde al estudio realizado por Stuart E. Hamilton y John Lovette [30], en el bosque de manglar de Ecuador, en esta investigación se recogen los datos resultantes de CO₂ de todos los manglares del país, dando como resultado una captación de 1.73E+07 CO₂ mol m⁻² d⁻¹, lo que nos indica la capacidad que tiene este país de captar CO₂ a través de sus bosques de manglar. El segundo valor de captación de CO₂ elevado (2.40E+06 CO₂ mol m⁻² d⁻¹) corresponde al estudio realizado por Selena K. Gress, Mark Huxham, James G. Kairo, Lilian M. Mugi y Robert A. Briers [36], en los bosques de manglar de Kenia, este estudio se realizó en toda la costa con representación de manglar (592 ha). El tercer valor elevado dentro de los estudios revisados, en captación de CO₂, corresponde al realizado por Udo Nehren y Pramaditya Wicaksono [28], en los manglares de Indonesia, en este estudio se miden las captaciones de CO₂ en el archipiélago de islas que pertenecen a Indonesia (alrededor de 300 ha de bosques de manglar). Otro valor que destaca en la captación de CO₂ (4.53E+04 CO₂ mol m⁻² d⁻¹) corresponde al encontrado por los autores Guangcheng Chen, Min Gao, Bopeng Pang, Shunyang Chen y Yong Ye [43], medido en 1400 ha bosques de manglar en China, el cual es un bosque repoblado por lo que se entiende que es un bosque joven y por ende con menos captura de CO₂ y por último en el estudio realizado por Souza et al. [10], quienes midieron una captación de 4.75E+02 CO₂ mol m⁻² d⁻¹, en un estuario de manglar en Brasil (4500 ha), estas 4500 ha representan todo el estuario, por lo que se considera, que las

mediciones de CO₂ se han realizado teniendo en cuenta tanto el bosque de manglar como la lámina de agua.

Excluyendo estos cinco estudios descritos en el párrafo anterior, en la “Fig. 4” se observa con más detalle los resultados de los 35 artículos restantes.

Captaciones de CO₂

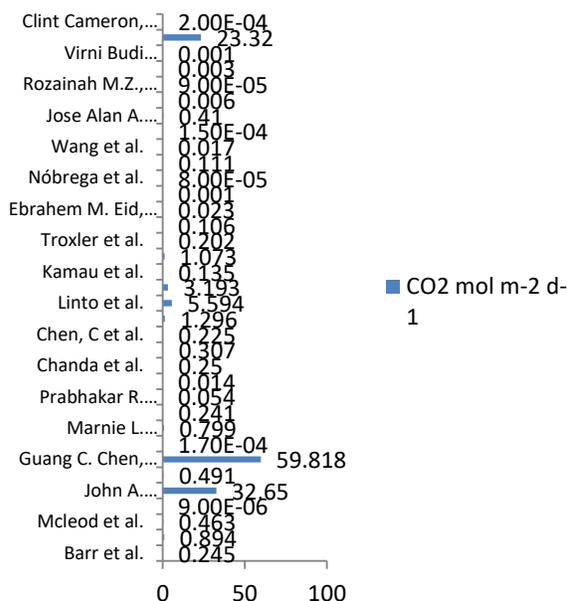


Fig. 4. Captación de CO₂ de los 35 estudios restantes seleccionados. Fuente: Elaboración propia.

En esta nueva selección destacan los estudios realizados por Guang C. Chen, Nora F.Y. Tamb y Yong Ye [17], John A. Zablocki, Andreas J. Andersson y Nicholas R. Bates [15] y Truong Van Vinha, Cyril Marchand, Tran Vu Khanh Linh, Duong Dang Vinh y Michel Allenbach [46], en los bosques de manglar de China, Bermuda y Vietnam, respectivamente.

IV. CONCLUSIONES

Siguiendo los resultados obtenidos en este trabajo se puede concluir que:

1. Al realizar la revisión bibliográfica sobre la captación de CO₂ en los bosque de manglar, se encontró que la mayoría de los estudios analizados han sido realizados en su mayoría a partir de los años 2012 y 2013, encontrando un menor número de estudios en años anteriores a estos, por lo cual esta revisión de 10 años llega a resultados más detallados sobre los estudios realizados en un período más amplio (2009 y 2019), lo que conforma una bibliografía actualizada del estado del arte sobre la captación de CO₂ en los manglares.
2. Se encontró en el estudio que la mayoría de las investigaciones realizadas en los bosques de manglar se ubican en el continente asiático (63%) y que en un número menor en Oceanía y África.

3. También se encontró que las investigaciones en el continente americano hacen exclusivamente referencia a América del Norte, siendo los estudios en Latinoamérica muy escasos, lo que indica que se hace necesaria una mayor aportación científica para el estudio en estas áreas.
4. Dentro del análisis de los datos de los artículos seleccionados, se encontró que el valor más alto corresponde al estudio realizado por Stuart E. Hamilton y John Lovette, en el bosque de manglar de Ecuador, en esta investigación se recogen los datos resultantes de CO₂ de todos los manglares del país, dando como resultado una captación de 1.73E+07 CO₂ mol m⁻² d⁻¹, lo que nos indica la capacidad que tiene este país de captar CO₂ a través de sus bosques de manglar.

REFERENCIAS

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations, "The world's mangroves 1980-2005," Rome, Italy, 2007.
- [2] R. Diana, V. B. Arifanti, D. Hadriyanto, J. B. Kauffman, and D. Murdiyarso, "Carbon dynamics and land use carbon footprints in mangrove-converted aquaculture: The case of the Mahakam Delta, Indonesia," *For. Ecol. Manage.*, vol. 432, no. August 2018, pp. 17–29, 2018.
- [3] D. C. Donato, J. B. Kauffman, D. Murdiyarso, S. Kurmianto, M. Stidham, and M. Kanninen, "Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics," *Nat. Geosci.*, vol. 4, no. 5, pp. 293–297, May 2011.
- [4] C. Nellemann *et al.*, *Blue Carbon*. Norway, 2009.
- [5] C. Cameron, L. B. Hutley, and D. A. Friess, "Estimating the full greenhouse gas emissions offset potential and profile between rehabilitating and established mangroves," *Sci. Total Environ.*, vol. 665, pp. 419–431, 2019.
- [6] S. E. Hamilton and D. Casey, "Creation of a high spatio-temporal resolution global database of continuous mangrove forest cover for the 21st century (CGMFC-21)," *Glob. Ecol. Biogeogr.*, vol. 25, no. 6, pp. 729–738, 2016.
- [7] M. Adame *et al.*, "The undervalued contribution of mangrove protection in Mexico to carbon emission targets," *Conserv. Lett.*, vol. 11, no. 4, p. e12445, 2018.
- [8] P. Taillardat, D. A. Friess, and M. Lupascu, "Mangrove blue carbon strategies for climate change mitigation are most effective at the national scale," *Biol. Lett.*, vol. 14, no. 10, p. 20180251, Oct. 2018.
- [9] T. Locatelli *et al.*, "Turning the Tide: How Blue Carbon and Payments for Ecosystem Services (PES) Might Help Save Mangrove Forests," *Ambio*, vol. 43, no. 8, pp. 981–995, Dec. 2014.
- [10] M. F. L. Souza, V. R. Gomes, S. S. Freitas, R. C. B. Andrade, and B. Knoppers, "Net Ecosystem Metabolism and Nonconservative Fluxes of Organic Matter in a Tropical Mangrove Estuary, Piauí River (NE of Brazil)," *Estuaries and Coasts*, vol. 32, no. 1, pp. 111–122, 2008.
- [11] J. G. Barr *et al.*, "Controls on mangrove forest-atmosphere carbon dioxide exchanges in western Everglades National Park," *J. Geophys. Res. Biogeosciences*, vol. 115, no. G2, pp. 1–14, 2010.
- [12] G. C. Chen, N. F. Y. Tam, and Y. Ye, "Summer fluxes of atmospheric greenhouse gases N₂O, CH₄ and CO₂ from mangrove soil in South China," *Sci. Total Environ.*, vol. 408, no. 13, pp. 2761–2767, 2010.
- [13] E. McLeod *et al.*, "A blueprint for blue carbon: Toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂," *Front. Ecol. Environ.*, vol. 9, no. 10, pp. 552–560, 2011.
- [14] R. Ray *et al.*, "Carbon sequestration and annual increase of carbon stock in a mangrove forest," *Atmos. Environ.*, vol. 45, no. 28, pp. 5016–5024, 2011.
- [15] J. A. Zablocki, A. J. Andersson, and N. R. Bates, "Diel Aquatic CO₂ System Dynamics of a Bermudian Mangrove Environment," *Aquat. Geochemistry*, vol. 17, no. 6, pp. 841–859, 2011.
- [16] J. G. Barr, V. Engel, T. J. Smith, and J. D. Fuentes, "Hurricane disturbance and recovery of energy balance, CO₂ fluxes and canopy structure in a mangrove forest of the Florida Everglades," *Agric. For. Meteorol.*, vol. 153, pp. 54–66, 2012.
- [17] G. C. Chen, N. F. Y. Tam, and Y. Ye, "Spatial and seasonal variations of atmospheric N₂O and CO₂ fluxes from a subtropical mangrove swamp and their relationships with soil characteristics," *Soil Biol. Biochem.*, vol. 48, pp. 175–181, 2012.
- [18] R. Ray, N. Majumder, C. Chowdhury, and T. K. Jana, "Wood chemistry and density: An analog for response to the change of carbon sequestration in mangroves," *Carbohydr. Polym.*, vol. 90, no. 1, pp. 102–108, 2012.
- [19] M. L. Atkins, I. R. Santos, S. Ruiz-Halpern, and D. T. Maher, "Carbon dioxide dynamics driven by groundwater discharge in a coastal floodplain creek," *J. Hydrol.*, vol. 493, pp. 30–42, 2013.
- [20] A. Chanda *et al.*, "Characterizing spatial and seasonal variability of carbon dioxide and water vapour fluxes above a tropical mixed mangrove forest canopy, India," *J. Earth Syst. Sci.*, vol. 122, no. 2, pp. 503–513, 2013.
- [21] P. R. Pawar, "Monitoring of impact of anthropogenic inputs on water quality of mangrove ecosystem of Uran, Navi Mumbai, west coast of India," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 75, no. 1–2, pp. 291–300, 2013.
- [22] R. Ray, C. Chowdhury, N. Majumder, M. K. Dutta, S. K. Mukhopadhyay, and T. K. Jana, "Improved model calculation of atmospheric CO₂ increment in affecting carbon stock of tropical mangrove forest," *Tellus, Ser. B Chem. Phys. Meteorol.*, vol. 65, no. 1, pp. 1–11, 2013.
- [23] A. Chanda *et al.*, "Measuring daytime CO₂ fluxes from the inter-tidal mangrove soils of Indian Sundarbans," *Environ. Earth Sci.*, vol. 72, no. 2, pp. 417–427, 2014.
- [24] H. Chen, W. Lu, G. Yan, S. Yang, and G. Lin, "Typhoons exert significant but differential impacts on net ecosystem carbon exchange of subtropical mangrove forests in China," *Biogeosciences*, vol. 11, no. 19, pp. 5323–5333, 2014.
- [25] G. C. Chen *et al.*, "Rich soil carbon and nitrogen but low atmospheric greenhouse gas fluxes from North Sulawesi mangrove swamps in Indonesia," *Sci. Total Environ.*, vol. 487,

no. 1, pp. 91–96, 2014.

[26] Q. Li, W. Lu, H. Chen, Y. Luo, and G. Lin, “Differential responses of net ecosystem exchange of carbon dioxide to light and temperature between spring and neap tides in subtropical mangrove forests,” *Sci. World J.*, vol. 2014, 2014.

[27] N. Linto, J. Barnes, R. Ramachandran, J. Divia, P. Ramachandran, and R. C. Upstill-Goddard, “Carbon Dioxide and Methane Emissions from Mangrove-Associated Waters of the Andaman Islands, Bay of Bengal,” *Estuaries and Coasts*, vol. 37, no. 2, pp. 381–398, 2014.

[28] U. Nehren and P. Wicaksono, “Mapping soil carbon stocks in an oceanic mangrove ecosystem in Karimunjawa Islands, Indonesia,” *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, vol. 214, no. September, pp. 185–193, 2018.

[29] M. Call *et al.*, “Spatial and temporal variability of carbon dioxide and methane fluxes over semi-diurnal and spring–neap–spring timescales in a mangrove creek,” *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 150, pp. 211–225, 2014.

[30] S. E. Hamilton and J. Lovette, “Ecuador’s mangrove forest carbon stocks: A spatiotemporal analysis of living carbon holdings and their depletion since the advent of commercial aquaculture,” *PLoS One*, vol. 10, no. 3, pp. 1–14, 2015.

[31] J. N. Kamau *et al.*, “Spatial variability of the rate of organic carbon mineralization in a sewage-impacted mangrove forest, Mikindani, Kenya,” *J. Soils Sediments*, vol. 15, no. 12, pp. 2466–2475, 2015.

[32] R. Reef, K. Winter, J. Morales, M. F. Adame, D. L. Reef, and C. E. Lovelock, “The effect of atmospheric carbon dioxide concentrations on the performance of the mangrove *Avicennia germinans* over a range of salinities,” *Physiol. Plant.*, vol. 154, no. 3, pp. 358–368, 2015.

[33] T. G. Troxler *et al.*, “Agricultural and Forest Meteorology Component-specific dynamics of riverine mangrove CO₂ efflux in the Florida coastal Everglades,” *Agric. For. Meteorol.*, vol. 213, pp. 273–282, 2015.

[34] D. R. Brown *et al.*, “Seagrass, mangrove and saltmarsh sedimentary carbon stocks in an urban estuary; Coff’s Harbour, Australia,” *Reg. Stud. Mar. Sci.*, vol. 8, pp. 1–6, 2016.

[35] E. M. Eid, A. F. El-Bebany, and S. A. Alrumman, “Distribution of soil organic carbon in the mangrove forests along the southern Saudi Arabian Red Sea coast,” *Rend. Lincei*, vol. 27, no. 4, pp. 629–637, 2016.

[36] S. K. Gress, M. Huxham, J. G. Kairo, L. M. Mugi, and R. A. Briers, “Evaluating, predicting and mapping belowground carbon stores in Kenyan mangroves,” *Glob. Chang. Biol.*, vol. 23, no. 1, pp. 224–234, 2017.

[37] M. Jerath, M. Bhat, V. H. Rivera-Monroy, E. Castañeda-Moya, M. Simard, and R. R. Twilley, “The role of economic, policy, and ecological factors in estimating the value of carbon stocks in Everglades mangrove forests, South Florida,

USA,” *Environ. Sci. Policy*, vol. 66, pp. 160–169, 2016.

[38] G. N. Nóbrega *et al.*, “Edaphic factors controlling summer (rainy season) greenhouse gas emissions (CO₂ and CH₄) from semiarid mangrove soils (NE-Brazil),” *Sci. Total Environ.*, vol. 542, pp. 685–693, 2016.

[39] S. R. Rodda, K. C. Thumaty, C. S. Jha, and V. K. Dadhwal, “Seasonal variations of carbon dioxide, water vapor and energy fluxes in tropical Indian mangroves,” *Forests*, vol. 7, no. 2, pp. 1–18, 2016.

[40] H. Wang *et al.*, “Temporal and spatial variations of greenhouse gas fluxes from a tidal mangrove wetland in Southeast China,” *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 23, no. 2, pp. 1873–1885, 2016.

[41] R. Ray and T. K. Jana, “Carbon sequestration by mangrove forest: One approach for managing carbon dioxide emission from coal-based power plant,” *Atmos. Environ.*, vol. 171, no. March, pp. 149–154, 2017.

[42] J. A. A. Castillo, A. A. Apan, T. N. Maraseni, and S. G. Salmo, “Soil greenhouse gas fluxes in tropical mangrove forests and in land uses on deforested mangrove lands,” *Catena*, vol. 159, no. August 2016, pp. 60–69, 2017.

[43] G. Chen, M. Gao, B. Pang, S. Chen, and Y. Ye, “Forest Ecology and Management Top-meter soil organic carbon stocks and sources in restored mangrove forests of different ages,” *For. Ecol. Manage.*, vol. 422, no. March, pp. 87–94, 2018.

[44] M. A. Kusumaningtyas, A. A. Hutahaean, H. W. Fischer, M. Pérez-Mayo, D. Ransby, and T. C. Jennerjahn, “Variability in the organic carbon stocks, sources, and accumulation rates of Indonesian mangrove ecosystems,” *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, vol. 218, no. December 2018, pp. 310–323, 2019.

[45] M. Z. Rozainah, M. N. Nazri, A. B. Sofawi, Z. Hemati, and W. A. Juliana, “Estimation of carbon pool in soil, above and below ground vegetation at different types of mangrove forests in Peninsular Malaysia,” *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 137, no. October, pp. 237–245, 2018.

[46] T. Van Vinh, C. Marchand, T. V. K. Linh, D. D. Vinh, and M. Allenbach, “Allometric models to estimate above-ground biomass and carbon stocks in *Rhizophora apiculata* tropical managed mangrove forests (Southern Viet Nam),” *For. Ecol. Manage.*, vol. 434, no. June 2018, pp. 131–141, 2019.

[47] T. Van Vinh, M. Allenbach, A. Joanne, and C. Marchand, “Seasonal variability of CO₂ fluxes at different interfaces and vertical CO₂ concentration profiles within a *Rhizophora* mangrove forest (Can Gio, Viet Nam),” *Atmos. Environ.*, vol. 201, no. December 2018, pp. 301–309, 2019.