

Caracterización de los claros en el dosel del manglar de Tivives, Costa Rica

Alvaro Herrera Villalobos¹, 

1. Universidad Estatal a Distancia Costa Rica, Sabanilla, Costa Rica, aherrera@uned.ac.cr

Recibido:17/02/2025 Aceptado: 16/07/2025

Resumen

Los claros en el dosel de los manglares se forman como producto de la muerte de varios árboles que permanecen de pie, para luego caer, y tienen forma circular o elíptica. El objetivo de esta investigación fue caracterizar los claros en el dosel del manglar de Tivives, mediante la determinación de sus tamaños, cantidad, ubicación y condiciones de regeneración. Se usaron las imágenes de Google Earth Pro para los tamaños, cantidad y ubicación de los claros y se visitaron en el campo cinco claros para conocer su condición de regeneración. Se identificaron 24 claros, con áreas entre 2.403 y 74 m², con un promedio de 797 m². Estos claros del dosel se ubicaban en diferentes sectores del manglar, pero alejados de los bordes de los canales. Estas características de los claros en el dosel del manglar de Tivives son similares a las reportadas en otros claros de manglares del mundo. Sin embargo, el área de este manglar afectada por estos claros está entre los mayores informadas.

Canopy gaps in mangroves are created because of the death of several standing trees that later fall, and they have circular or elliptical shape. The objective of this research was to characterize canopy gaps in the Tivives mangrove by determining their sizes, amount, location and regeneration conditions. Google Earth Pro images were used to determine sizes, amount and location of canopy gaps and field trips to visit five canopy gaps to know their regeneration conditions. Twenty-four canopy gaps were identified, with sizes between 2,403 and 74 m², and average of 797 m². These canopy gaps were in different sectors of the mangrove, but away from the canal edges. The characteristics of the canopy gaps in the Tivives mangrove were like those reported for other canopy gaps in mangroves of the world. However, the area of this mangrove affected by these canopy gaps is among the largest informed.

Palabras claves: *Strongylaspis bullatus*, Google Earth Pro, caída de rayos, Puntarenas, Esparza

Keywords: *Strongylaspis bullatus*, Google Earth Pro, lightning strikes, Puntarenas, Esparza

Introducción

Los manglares son ecosistemas boscosos localizados en la línea costera, en la interfase terrestre y marina, en regiones tropicales y subtropicales (Whelan, 2005; Agyekum, 2023). Su dinámica hidrológica está determinada por las mareas altas que los inundan. La baja diversidad de plantas (Imbert, 2018) tolera la salinidad generada por las altas mareas temporales (Duke, 2001). Estos ecosistemas proveen servicios ecosistémicos importantes: almacenan grandes cantidades de carbono, son sitios de crianza de muchas especies de peces y hábitat para animales marinos, algunas de las cuales son de interés comercial, y proveen de recursos a las comunidades costeras a quien también protegen contra los fuertes oleajes (UNEP, 2014). Sin embargo, su ubicación en ambientes altamente cambiantes hacen a los manglares susceptibles a disturbios como la formación de claros en el dosel (Zhang et al., 2008; Krauss y Osland, 2020; Lasalle y de Souza Filho, 2022).

Los claros en el dosel en manglares han sido reportados en muchos de estos ecosistemas localizados en América, África, Asia y Oceanía (Whelan, 2005; Amir, 2012; Agyekum, 2023). Los claros en el dosel de los bosques de manglar se suelen caracterizar con base en su tamaño y forma (Agyekum, 2023). Estos claros en el dosel se forman como producto de la muerte de varios árboles, que permanecen de pie o caen (Duke, 2001; Amir y Duke, 2019), y tienen forma circular o elíptica (Sherman et al., 2000; Duke, 2001; Amir, 2012; Amir y Duke, 2019; Lassalle y de Souza Filho, 2022).

La mayoría de los investigadores de los claros en el dosel de los bosques de manglar indican que el agente causante más probable es la caída de rayos (Amir y Duke, 2009; Amir y Duke, 2019; Agyekum, 2023). No obstante, algunas investigaciones han propuesto otros agentes como huracanes, fuertes vientos, ataque de insectos y o patógenos, temperaturas y precipitaciones extremas, competencia, senescencia de árboles, y explotación forestal en pequeña escala (Amir and Duke, 2019; Krauss y Osland, 2020; Agyekum, 2023). Sin embargo, los mecanismos que llevan a la formación de estos claros en el dosel del manglar han sido poco estudiados (Whelan, 2005) y muchos se basan en observaciones cualitativas, anécdotas, y modelos conceptuales y predictivos (Amir y Duke, 2009, Agyekum 2023).

Duke (2001) informa que la formación de los claros en el dosel de manglares inicia con la defoliación de los árboles afectados, los cuales se observan de color gris en medio del dosel verde. Luego, se observa el sedimento desnudo cubierto parcialmente por troncos y ramas en descomposición. Seguidamente, se inicia el proceso de regeneración con la germinación de plántulas a partir del banco de semillas en el sedimento. Posteriormente, se da el crecimiento de los brinzales los cuales cubren el claro con su follaje, pero sin alcanzar la altura de los árboles del bosque a su alrededor. Finalmente, los árboles adquieren una altura comparable a los demás árboles del dosel, haciendo que desaparezca el claro. De esta manera, el bosque de manglar se encuentra en un mosaico de diferentes estados de regeneración vegetal (Whelan y Smith, 2004; Amir y Duke, 2019).

Una vez formados estos claros en el dosel del manglar, las condiciones de luz, nutrientes, temperatura y humedad, en el suelo y en el espacio abierto, cambian drásticamente (Sherman et al., 2000; Amir y Duke, 2009; Amir, 2012; Amir y Duke, 2019). Estos cambios favorecen la germinación de las plántulas y su respectivo crecimiento. Sherman et al. (2000) demostraron que el aumento en las tasas de crecimiento y supervivencia de las plántulas en claros del dosel en manglares fue facilitado por el aumento de la luz en comparación con el sotobosque alrededor. Amir y Duke (2019) establecieron que los claros en el dosel conducen a un incremento de la luz y la temperatura del agua en el sedimento, beneficiando la supervivencia y crecimiento de las plántulas. Whelan (2005) comunicó que, en los claros del dosel recién formados, en manglares del sur de Florida, la germinación de plántulas fue mayor que bajo el dosel.

El objetivo de esta investigación fue caracterizar los claros en el dosel del manglar de Tivives mediante los tamaños, cantidad y ubicación usando las imágenes de Google Earth y condiciones de regeneración vegetal mediante visitas de campo.

Materiales y métodos

Este estudio se llevó a cabo en el manglar de Tivives, ubicado mayoritariamente en el distrito Caldera del cantón de Esparza, provincia de Puntarenas. Este manglar se localiza en el Pacífico Central, a unos 18 km al sureste de la ciudad de Puntarenas, en la desembocadura del río Jesús María (9°51'49.44"N, -84°41'48.80"O) y forma parte de la Zona Protectora Tivives.

La zona presenta una marcada estación seca de diciembre a marzo, y la estación lluviosa de mayo a octubre, con abril y noviembre como meses de transición (Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica [IMN], 2023). La precipitación ronda los 2.500 mm anuales, mientras que las temperaturas promedian los 32°C durante el día y 22°C durante la noche (IMN, 2023). El área boscosa del manglar de Tivives mide aproximadamente 5 km², dominada por la presencia de mangle colorado (*Rhizophora mangle* y *R. racemosa*), mangle negro (*Avicennia bicolor* y *A. germinans*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y mangle piñuelo (*Pelliciera rhizophorae*) (Museo Nacional de Costa Rica, 2024). Jiménez y Soto (1985) señalan que este manglar presenta una composición florística particular al encontrarse en una zona de transición climática donde se combinan especies propias de los manglares al sur y de los manglares al norte de la costa Pacífica. Sin embargo, el bosque es dominado por *Avicennia bicolor* en tierra firme y *Rhizophora racemosa* a la orilla de los canales, las cuales forman rodales monoespecíficos (Jiménez, 1988). Jiménez (1988) consideró el manglar de Tivives como uno de los manglares de Costa Rica con un buen estado de madurez y con poca perturbación humana. Sin embargo, hoy día, este manglar se considera afectado por contaminación de agroquímicos y sedimentación acarreados por el río Jesús María (Manco et al., 2011; SINAC, 2016).

La caracterización de los claros del dosel en el manglar de Tivives se realizó utilizando Google Earth Pro. Usando la herramienta polígono se delimitó el borde de cada claro observado en el dosel del manglar. Los claros se identificaron porque presentaban una coloración y textura diferente al resto del dosel, dependiendo de su estado de sucesión (Duke, 2001; Lasalle y de Souza Filho, 2022). Cuando la resolución de la imagen lo permitía, se utilizaron las imágenes de años previos disponibles en este programa para verificar que se trataba de un claro en el dosel, para delimitar el polígono y para estimar el año en que apareció por primera vez en el manglar. Cada polígono recibió un código de identificación al cual se le asoció el área y el año en que apareció el claro.

Cinco de estos claros en el dosel fueron visitados en el campo con el fin de verificar que se trataba de un claro en el dosel según las características descritas en la literatura revisada. Se anotaron la cantidad de árboles muertos y se inspeccionó en general las condiciones del estado de regeneración vegetal en que se encontraban, según las etapas mencionadas por Duke (2001). Los datos del tamaño de los claros en el dosel fueron analizados mediante gráficos de barras por intervalos de áreas para mostrar la variación en la cantidad. También se graficó la cantidad de claros en el dosel según el año de su aparición en las imágenes de Google EARTH. Finalmente, se realizó un mapa del manglar de Tivives usando la imagen de Google EARTH, en donde se mostró la ubicación de los claros en el dosel. En dos de los claros en el dosel visitados se observaron abundantes agujeros en los troncos de los árboles muertos. En cada uno de estos dos claros, se seleccionó un tronco con agujeros con un diámetro a la altura del pecho de unos 7 cm, el cual fue cortado en tres secciones de entre 20 a 25 cm de largo utilizando un serrucho de poda. Durante uno de los cortes se observó una pupa de un cerambícido dentro de un agujero. Las tres secciones de cada árbol se colocaron en una bolsa de plástico para su transporte al laboratorio. Posteriormente, estas fueron colocadas en un balde de plástico cuya apertura fue cubierta con cedazo mosquito de plástico; un balde para cada uno de los dos árboles muestreados. Así se mantuvieron las secciones de troncos hasta recolectar adultos del cerambícido o de otros insectos. Una vez obtenidos los adultos, estos fueron identificados a especie por el entomólogo Ángel Solís Blanco.

Resultados

Se identificaron 24 claros en el dosel del manglar de Tivives. Estos claros se localizaban siempre en la zona donde se encontraban los altos árboles de género *Avicennia* sp; nunca en la orilla del canal donde crece el género *Rhizophora* (Figura. 1). Las áreas de estos claros variaron entre 2.403 y 74 m², con un promedio de 797 m². El área del manglar afectada por estos claros fue del 0,4%. La Figura. 2 muestra la cantidad de claros en el dosel en el 2024 según los ámbitos del área en metros cuadrados. La mayoría de estos claros (67%) se encontraban en los dos ámbitos de área menores, disminuyendo su cantidad conforme aumenta el área de los claros.

Figura. 1. Distribución de los claros en el dosel en el manglar de Tivives, Esparza, Puntarenas.

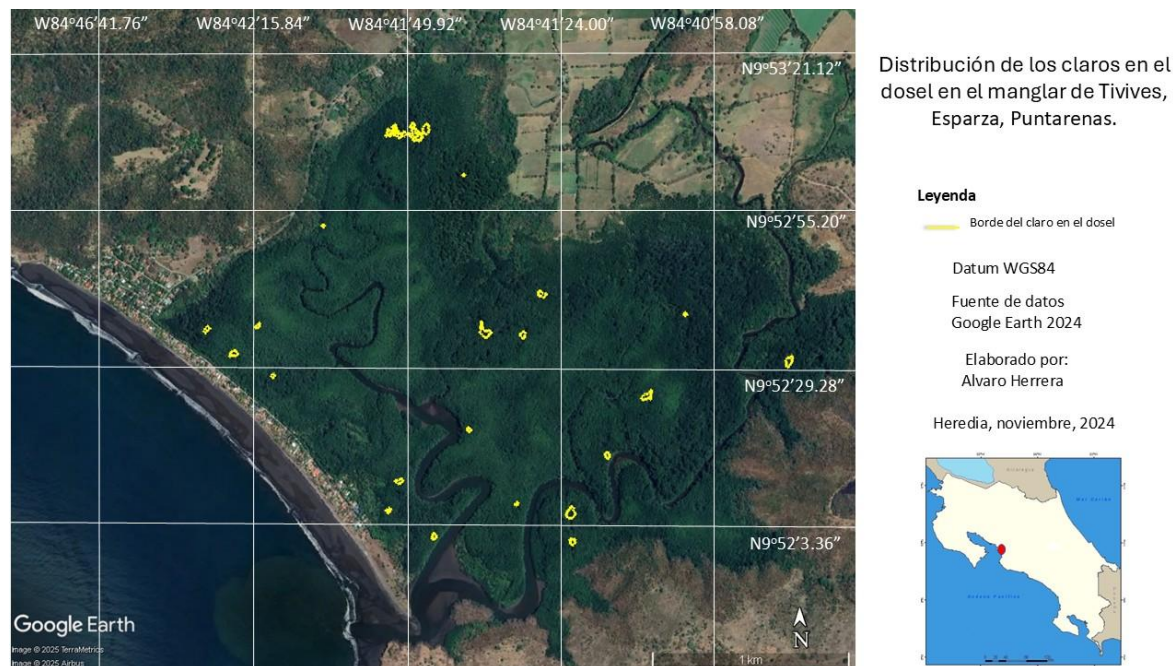
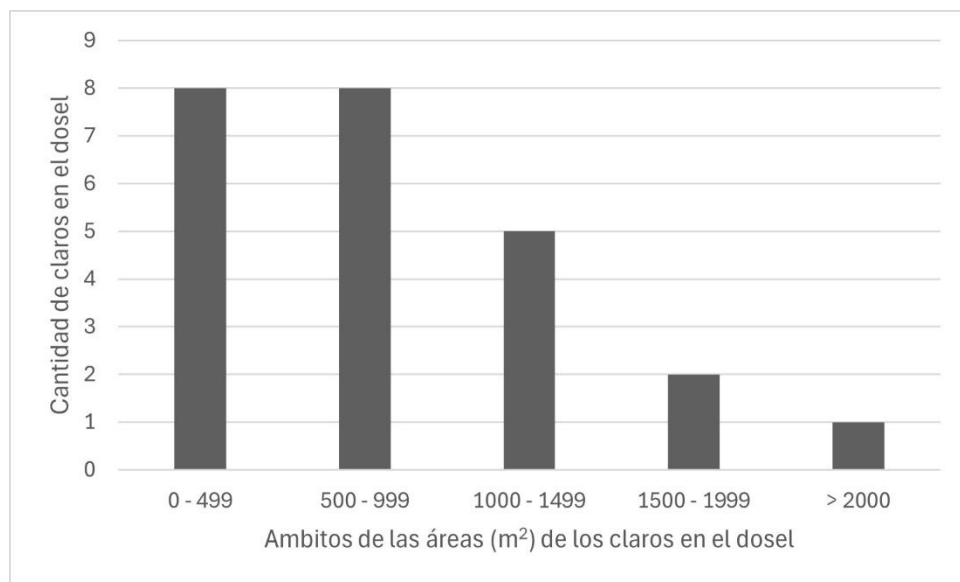


Figura. 2. Cantidad de claros en el dosel en el 2024 según los ámbitos de área (m²) en el manglar de Tivives.

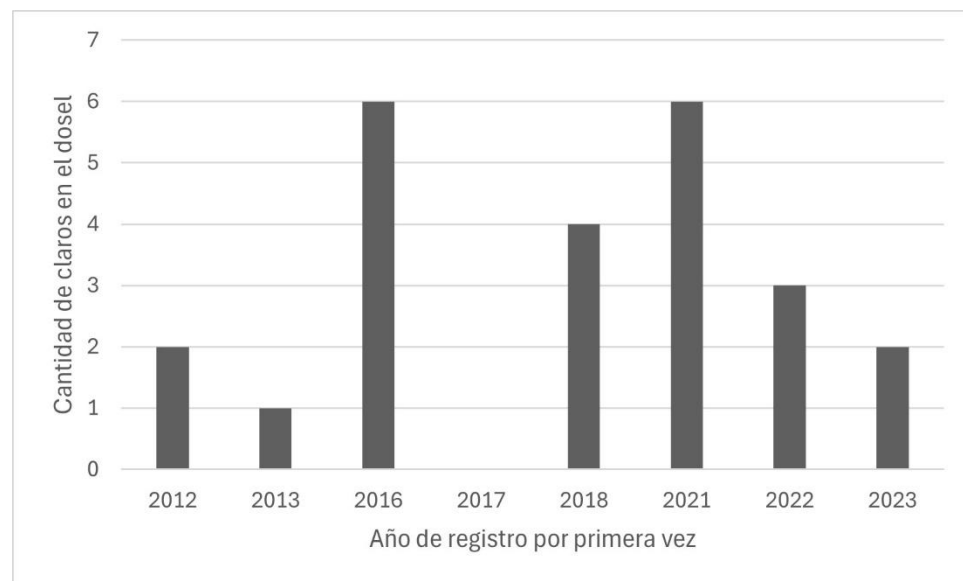


Se determinó que 16 de los polígonos que delimitan los claros en el dosel, usando las imágenes de Google EARTH, tienen una forma redondeada. La excepción se presentó en ocho, en donde la forma era irregular. Los cinco claros en el dosel visitados mostraron una forma más redondeada al observarlos desde el suelo que la forma del polígono trazado en Google EARTH Pro. Esto se debía a las copas de los árboles vivos, en los bordes de los claros, que se extendían en el espacio dejado por las copas de los árboles muertos.

En los cinco claros visitados, los árboles muertos aún permanecían de pie. En estos claros, la cantidad de árboles muertos variaba entre 10 y 13 árboles de diferentes diámetros, con alturas de entre 5 y 30 metros. En dos de estos claros visitados se observó brinzales creciendo con una altura máxima de medio metro aproximadamente. En los otros tres claros no se observaron plántulas.

Las imágenes de años anteriores en Google EARTH Pro permitieron registrar los claros en el dosel estudiados a partir del 2012. Dependiendo de la calidad de la imagen y de cuando la misma fue realizada, los claros pueden aparecer como copas sin hojas o como una discontinuidad en el dosel que luego se verifica como un claro con las imágenes de años posteriores. La Figura. 3 muestra la cantidad de claros en el dosel nuevos según el año en que fueron registrados por primera vez. En las imágenes del 2016 y del 2021 se registraron la aparición de una cantidad sobresaliente de claros, contrastante con el 2017 cuando no se registró la aparición de ningún claro en el dosel.

Figura. 3. Cantidad de claros en el dosel según el año de registro por primera vez en el manglar de Tivives.



La crianza de las larvas en las secciones de los troncos recolectados permitió obtener seis especímenes adultos, cuatro especímenes provenían de un claro y dos especímenes del otro. Estos dos claros en el dosel se encontraban a una distancia de un kilómetro. La especie de estos adultos fue identificada como *Strongylaspis bullatus* (Cerambycidae) (Figura. 4), con distribución desde México hasta Costa Rica, en donde ha sido recolectada en el bosque seco de la costa Pacífica de Costa Rica (A. Solís, comunicación personal, 12 de abril de 2024). No se obtuvieron adultos de otras especies de insectos.

Discusión

Agyekum (2023) provee una revisión de la literatura sobre los tamaños de los claros en el dosel en manglares estudiados en diferentes países, encontrando una variación de entre 3 y 1.783 m² con diferentes factores de formación de claros. El valor promedio documentado en este estudio (797 m²) fue similar al valor promedio informado en los manglares de República Dominicana (724 m²) por Sherman et al. (2000). Sin embargo, estos dos resultados fueron usando metodologías diferentes (Google Earth Pro vs. mediciones de campo). La mayoría de los tamaños de los claros en el dosel determinados en el manglar de Tivives fueron comparables a los tamaños mayoritariamente publicados en la literatura (Agyekum, 2023) para otros manglares. Los 8 claros en el dosel encontrados en Tivives que superan los 1.000 m² presentaron formas irregulares lo que supone la intervención de otros factores en su formación y tamaño.

Agyekum (2023) estudió los claros en el dosel en 4 secciones mayores a 5 Km² en los manglares de la desembocadura del río Grande de Térraba y del río Coto-Colorado, en el sur de costa Pacífica de Costa Rica. En este estudio, Agyekum (2023) utilizó el mapa de distribución global de manglares de USGS basado en imágenes satelitales, digitalizando manualmente los claros. Los tamaños promedios de los claros en el dosel de estos manglares fueron de 314,10 m², 382,23 m², 392,76 m² y 754,41 m²; valores similares a los tamaños mayoritariamente encontrados en el manglar de Tivives. Además, los valores del porcentaje de cobertura en el manglar de los claros en el dosel (0,02%, 0,03%, 0,06% y 0,1%) fueron menores al valor en el manglar de Tivives (0,4%). Valores cercanos y mayores al porcentaje de cobertura de los claros en el dosel en el manglar de Tivives han sido publicados para otros manglares en el mundo (Agyekum, 2023). Estos resultados sugieren que en el manglar de Tivives la mayoría de los claros en el dosel presentan tamaños similares a los informados en otros manglares de Costa Rica, pero su porcentaje de cobertura está entre los mayores.

Se encontraron diferentes claros en el dosel en el manglar de Tivives en diferentes estados de regeneración, sin embargo, los años asignados a su aparición no correlacionan con lo esperado. Así, claros en el dosel en sus primeras etapas de sucesión fueron registrados por primera vez en el mismo año de otros claros en el dosel en etapas más avanzadas de sucesión. Esto podría atribuirse a que las imágenes en retrospectiva en Google EARTH Pro no presentan la resolución apropiada para claramente identificar el año en que aparece el claro en el dosel.

Los claros en el dosel identificados en el manglar de Tivives claramente siguen las características de los claros comunicados en otros manglares del mundo: Formas circulares o elípticas, con varios árboles muertos en pie (Sherman et al., 2000; Duke, 2001; Amir, 2012; Amir y Duke, 2019; Lassalle y de Souza Filho, 2022). La mayoría de los investigadores de los claros en los manglares con estas características atribuyen su formación a la descarga de rayos (Sherman et al., 2000; Duke, 2001; Whelan y Smith, 2004; Whelan, 2005; Amir, 2012; Amir y Duke, 2019). No obstante, se desconoce el mecanismo físico por el que el rayo genera estos claros tan característicos y los informes se basan en anécdotas, observaciones cualitativas o evidencias empíricas (Agyekum, 2023). La imposibilidad de predecir donde y cuando caerá un rayo dificulta determinar si este es uno de sus impulsores, al menos que se planee una investigación usando pararrayos para caracterizar los efectos de sus descargas en el bosque del manglar.

En este estudio se encontró una especie de cerambícido, *Strongylaspis bullatus*, cuyas larvas se alimentan de la madera de los árboles muertos en los claros en el dosel del manglar. Los cerambícidos son conocidos por sus larvas xilófagas, atacando los árboles muertos o caídos (A. Solís, comunicación personal, 21 de agosto de 2024). Los abundantes agujeros producidos por las larvas de este cerambícido en el manglar de Tivives solo se observaron en los troncos de los árboles muertos, no se observaron en los troncos de los árboles vivos circundando al claro. Así, los datos sugieren que este cerambícido se aprovecha de la madera muerta disponible en estos claros, contribuyendo en el proceso de reciclaje de esta. Este es el primer informe de esta especie de cerambícido alimentándose de la madera en el manglar.

Conclusiones

Los claros en el dosel del manglar de Tivives coinciden con las características de forma, tamaño y procesos de regeneración descritos para los claros de otros manglares en el mundo. Esto sugiere que los claros en el dosel del manglar de Tivives fueron creados por la caída de rayos, como se indica en varios estudios de otros manglares. Es notable que el área del dosel afectada por estos claros en el manglar de Tivives se encuentra entre las mayores reportadas en otros manglares del mundo. En este estudio se reporta por primera vez la presencia abundante de larvas de *Strongylaspis bullatus* alimentándose de la madera de los árboles muertos de mangle aun de pie en los claros en el dosel.

Agradecimientos

Este estudio fue parte del proyecto de investigación “Estado de conservación del manglar de Tivives y su relación con los efectos del cambio climático, Pacífico Central, Costa Rica”, inscrito en la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad Estatal a Distancia, con financiamiento de la Sede de Orotina. Agradecimientos a Verónica Bonilla, Jeannette Rodríguez, María A. Zúñiga y a Oscar Chacón por el apoyo en la investigación, así como a Ángel Solís por sus sugerencias en la investigación.

Referencias

- Agyekum, M. K. (2023). *Canopy gap dynamics in mangrove forests: Exploring global patterns and drivers* [Tesis de doctorado, Universidad de Bremen]. Repositorio Institucional – Universidad de Bremen. https://scholar.archive.org/work/agl6bamefzdbbhdwqegdoaj32y/access/wayback/https://media.suub.uni-bremen.de/bitstream/elib/7666/3/MichaelThesis_FINAL.pdf
- Aldrie, A., & Duke, N. C. (2009). A forever young ecosystem: Light gap creation and turnover of subtropical mangrove forests in Moreton Bay, Southeast Queensland, Australia. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/47806885_A_forever_young_ecosystem_light_gap_creation_and_turnover_of_subtropical_mangrove_forests_in_Moreton_Bay_southeast_Queensland_Australia
- Amir, A. A. (2012). Canopy gaps and the natural regeneration of Matang mangroves. *Forest Ecology and Management*, 269, 60–67. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.12.040>
- Amir, A. A., & Duke, N. C. (2019). Distinct characteristics of canopy gaps in the subtropical mangroves of Moreton Bay, Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 222(April), 66–80. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.04.007>
- Duke, N. C. (2001). Gap creation and regenerative processes driving diversity and structure of mangrove ecosystems. *Wetlands Ecology and Management*, 9(3), 257–269. <https://doi.org/10.1023/A:1011121109886>
- Imbert, D. (2018). Hurricane disturbance and forest dynamics in east Caribbean mangroves. *Ecosphere*, 9(7), e02331. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2231>
- Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica. (2023, 31 de octubre). *Clima de Costa Rica y variabilidad climática*. Ministerio de Ambiente y Energía. Recuperado el 20 de agosto de 2024, de <https://www.imn.ac.cr/web/imn/clima-en-costa-rica>
- Jiménez, J. A. (1988). Floral and fruiting phenology of trees in a mangrove forest on the dry Pacific coast of Costa Rica. *Brenesia*, 29, 33–50. <https://biblioteca.museocostarica.go.cr/articulo.aspx?id=2504&art=8976>
- Jiménez, J. A., & Soto, R. (1985). Patrones regionales en la estructura y composición florística de los manglares de la costa Pacífica de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 33(1), 25–37. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/24470>
- Krauss, K. W., & Osland, M. J. (2020). Tropical cyclones and the organization of mangrove forests: A review. *Annals of Botany*, 125, 213–234. <https://doi.org/10.1093/aob/mcz161>
- Lassalle, G., & de Souza Filho, C. R. (2022). Tracking canopy gaps in mangroves remotely using deep learning. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 8(6), 890–903. <https://doi.org/10.1002/rse2.289>

- Manco, J., Benegas, L., Gómez, M., Watler, W., Ríos, J., Oduber, J., Sánchez, A., & Brenes, E. (2011). *Plan de manejo de la cuenca del Río Jesús María*. CATIE. https://www.cadeti.go.cr/sites/default/files/2020-07/Plan-Manejo-%20CRJM_II.pdf
- Museo Nacional de Costa Rica. (2024, 11 de julio). *Sistema de búsqueda de colecciones historia natural*. Ministerio de Cultura y Juventud. Recuperado el 8 de agosto de 2024, de <https://biodiversidad.museocostarica.go.cr/>
- Sherman, R. E., Fahey, T. J., & Battles, J. J. (2000). Small-scale disturbance and regeneration dynamics in a neotropical mangrove forest. *Journal of Ecology*, 88(1), 165–178. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2000.00439.x>
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación. (2016). *Diagnóstico socioeconómico y ambiental de la Zona Protectora Tivives*. Área de Conservación Pacífico Central (ACOPAC). [https://www.sinac.go.cr/ES/planmanejo/Plan%20Manejo%20ACOPAC/ZP%20Tivives%20\(2018\)/Diagnostico%20Tivives%20final.pdf](https://www.sinac.go.cr/ES/planmanejo/Plan%20Manejo%20ACOPAC/ZP%20Tivives%20(2018)/Diagnostico%20Tivives%20final.pdf)
- Sousa, W. P., Quek, S. P., & Mitchell, B. J. (2003). Regeneration of *Rhizophora mangle* in a Caribbean mangrove forest: Interacting effects of canopy disturbance and a stem-boring beetle. *Oecologia*, 137(3), 436–445. <https://doi.org/10.1007/s00442-003-1350-0>
- United Nations Environment Programme. (2014). *The importance of mangroves to people: A call to action* (J. van Bochove, E. Sullivan, & T. Nakamura, Eds.). UNEP-WCMC. <https://ris.utwente.nl/ws/portalfiles/portal/325723978/ImportanceOfMangrovesToPeople-UNEP-2014.pdf>
- Whelan, K. R. T. (2005). *The successional dynamics of lightning-initiated canopy gaps in the mangrove forests of Shark River, Everglades National Park, USA* [Tesis de doctorado, Florida International University]. ProQuest. <https://search.proquest.com/openview/2ac52f2d5baf66df8282bdfd96325c/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>
- Whelan, K. R. T., & Smith, T. J. (2004). *Lightning gaps in the mangrove forest of Everglades National Park* (USGS Fact Sheet 2004-3016). U.S. Geological Survey. https://pubs.usgs.gov/fs/2004/3016/FS_2004_3016.pdf
- Zhang, K., Simard, M., Ross, M., Rivera-Monroy, V. H., Houle, P., Ruiz, P., Twilley, R. R., & Whelan, K. R. T. (2008). Airborne laser scanning quantification of disturbances from hurricanes and lightning strikes to mangrove forests in Everglades National Park, USA. *Sensors*, 8(4), 2262–2292. <https://doi.org/10.3390/s8042262>