

Distribución del carbono forestal y la riqueza de especies en la Reserva Ecológica Cuxtal, Yucatán, México

En este estudio se generaron mapas de la densidad de carbono y la riqueza de especies de árboles en la Reserva Ecológica Cuxtal, así como mapas bivariados para evaluar la relación espacial entre ambas variables. La correlación entre la densidad de carbono y la riqueza de especies en la reserva fue positiva con un valor de 89%. Además, el 16.9% de la superficie de la reserva presentó valores altos de carbono almacenado y riqueza de especies. Los resultados destacan la importancia de combinar mapas de carbono y riqueza de especies para identificar áreas relevantes para la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento del servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono.

Palabras clave:
áreas naturales protegidas,
biomasa aérea,
bosques tropicales secos,
diversidad de especies.

JOSÉ LUIS HERNANDEZ-STEFANONI^{1,2}, JUAN ANDRES MAURICIO¹,
FERNANDO TUN DZUL¹, LUIS ÁNGEL HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ¹,
KARINA ELIZABETH GONZÁLEZ-MUÑOZ¹,
VÍCTOR ALEXIS PEÑA-LARA¹ Y ERIC ANTONIO GAMBOA BLANCO¹

¹Unidad de Recursos Naturales, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Calle 43 No. 130 x 32 y 34, Colonia Chuburná de Hidalgo, Mérida, Yucatán, 97205, México.

²jl_stefanoni@cicy.mx

Los bosques tropicales son uno de los reservorios de carbono más significativos en todo el mundo, representan aproximadamente el 25% de las reservas de carbono terrestre (Poorter *et al.* 2015). Al mismo tiempo, los bosques tropicales albergan más del 96% de las especies de árboles que existen en todos los ecosistemas del planeta. Por otra parte, los bosques tropicales secos (BTS) son uno de los tipos de ecosistemas más importantes en los trópicos, cubriendo el 40% de la superficie de los bosques tropicales. Además, los BTS representan más del 18% de las reservas de carbono en los trópicos (Keith *et al.* 2009). A pesar de que los BTS tienen niveles más bajos de diversidad de especies comparados con los bosques tropicales húmedos, poseen muchas especies endémicas (Banda *et al.* 2016).

Por otro lado, la diversidad de especies puede fomentar la producción de biomasa a través de la complementariedad de nichos. Es decir, existe un uso más completo y eficiente de los recursos por parte de las especies, debido a una ocupación más completa de los nichos disponibles (Sullivan *et al.* 2017). El tipo de asociación entre la densidad de carbono y la diversidad es de mucho interés, ya que las áreas que tienen almacenes de carbono más grandes y altos niveles de diversidad de especies, podrían ser importantes para la mitigación del cambio climático y la conservación de la diversidad de plantas al mismo tiempo.

Sin embargo, los BTS son considerados como uno de los ecosistemas más amenazados y con las mayores tasas de deforestación a nivel mundial. Esto debido a que han estado sujetos a cambios intensos en el uso del suelo, generados por la deforestación y proce-

tos de perturbación como la tala, la expansión de la agricultura, la ganadería y los asentamientos humanos. La deforestación, además de disminuir la diversidad de plantas, es una importante fuente de emisiones de gases de efecto invernadero (Watson *et al.* 2014). Ante estos hechos, las áreas naturales protegidas (ANP) tienen el propósito de preservar los hábitats, así mismo, de beneficiar a las comunidades locales a través de la provisión de servicios ecosistémicos. Adicionalmente, las ANP en los bosques tropicales son fundamentales para la mitigación del cambio climático, ya que poseen el 68% del carbono global almacenado en los ecosistemas terrestres y albergan el mayor grado de diversidad biológica del planeta (Bebber y Butt 2017).

La Reserva Ecológica Cuxtal (REC), ubicada al sur de la ciudad de Mérida, está cubierta en su mayoría por BTS. La REC fue establecida en 1993 por el Gobierno Municipal de Mérida, con dos objetivos principales: proteger el territorio para captar y abastecer de agua a la ciudad de Mérida, y preservar la diversidad biológica de la región e impulsar el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales. La REC tiene una superficie de 11,894.0 hectáreas de las cuales 3,590.0 hectáreas pertenecen a la zona núcleo, donde se encuentran las áreas mejor conservadas, y el resto de la superficie esta zonificada como área de amortiguamiento. Para conocer cuál es el papel que juega la REC en la mitigación del cambio climático y la conservación de la biodiversidad, es necesario obtener mapas del carbono almacenado en el área cubierta por BTS y la diversidad de especies de plantas que la conforman. Estos mapas pueden proporcionar datos importantes para evaluar la contribución de la REC en términos de almacenamiento de carbono y conservación de la biodiversidad.

Los objetivos de este artículo son: Primero, obtener mapas con la distribución espacial de la densidad de carbono y la riqueza de especies de árboles en el área ocupada por la REC, mediante el uso de imágenes de radar, datos climáticos y de campo. Estos mapas permitieron contabilizar la cantidad de carbono almacenado y conocer la distribución de este atributo dentro de la reserva. En segundo lugar, se obtuvieron mapas bivariados de la densidad de carbono y la riqueza de especies de árboles para evaluar su relación espacial e identificar áreas con valores altos para ambas variables en las áreas cubiertas por

BTS dentro de la REC.

Se utilizó el polígono con los límites de la reserva para extraer las áreas de densidad de carbono y riqueza de especies de árboles a partir de mapas elaborados para toda la península de Yucatán a una resolución espacial de 25 m (Hernández-Stefanoni *et al.* 2021). Para elaborar los mapas de carbono forestal y la riqueza de especies de la península de Yucatán se utilizó un modelo de regresión con random forest para cada una de variables de respuesta (densidad de carbono y riqueza de especies) relacionándolas con diferentes variables explicativas obtenidas de métricas de retrodispersión y de textura, derivadas de las imágenes del radar ALOS PALSAR y datos climáticos. Durante la validación de los modelos para la obtención de los mapas regionales se utilizó un conjunto de datos independientes de parcelas y se obtuvo como resultado un error cuadrático medio relativo de 38.5 % y 33 % a nivel de pixel, para la densidad de carbono y la riqueza de especies, respectivamente.

Para evaluar la relación entre la densidad de carbono y la riqueza de especies se obtuvo un mapa bivariado, en donde se identificaron cuatro áreas que tienen las siguientes características: a) áreas con bajo carbono y baja riqueza de especies, b) áreas con alto carbono y baja riqueza de especies, c) áreas con bajo carbono y alta riqueza de especies y d) áreas con alto carbono y alta riqueza de especies. Además, se calcularon estadísticas descriptivas de estas variables para cada una de las cuatro áreas y se ajustó un modelo de regresión lineal entre la diversidad y el carbono forestal.

El mapa de densidad de carbono resultante se muestra en la Figura 1. El carbono total almacenado en la biomasa aérea viva en la REC es de 561,451.7 toneladas, con un promedio de 48.6 ton/ha. En la zona núcleo se encuentra la mayor superficie con valores altos de densidad de carbono, con un promedio 55.6 ton/ha, mientras que las zonas con menor cantidad de carbono se encuentran en el área de amortiguamiento, que tiene un promedio de 45.3 ton/ha. Por otra parte, el mapa de riqueza de especies mostró patrones similares al de densidad de carbono (Figura 2). De igual forma, existen valores de riqueza de especies más altos en la zona núcleo con 30.8 especies por hectárea, en comparación con la zona de amortiguamiento, donde hay un promedio de 25.3 especies por hectárea.

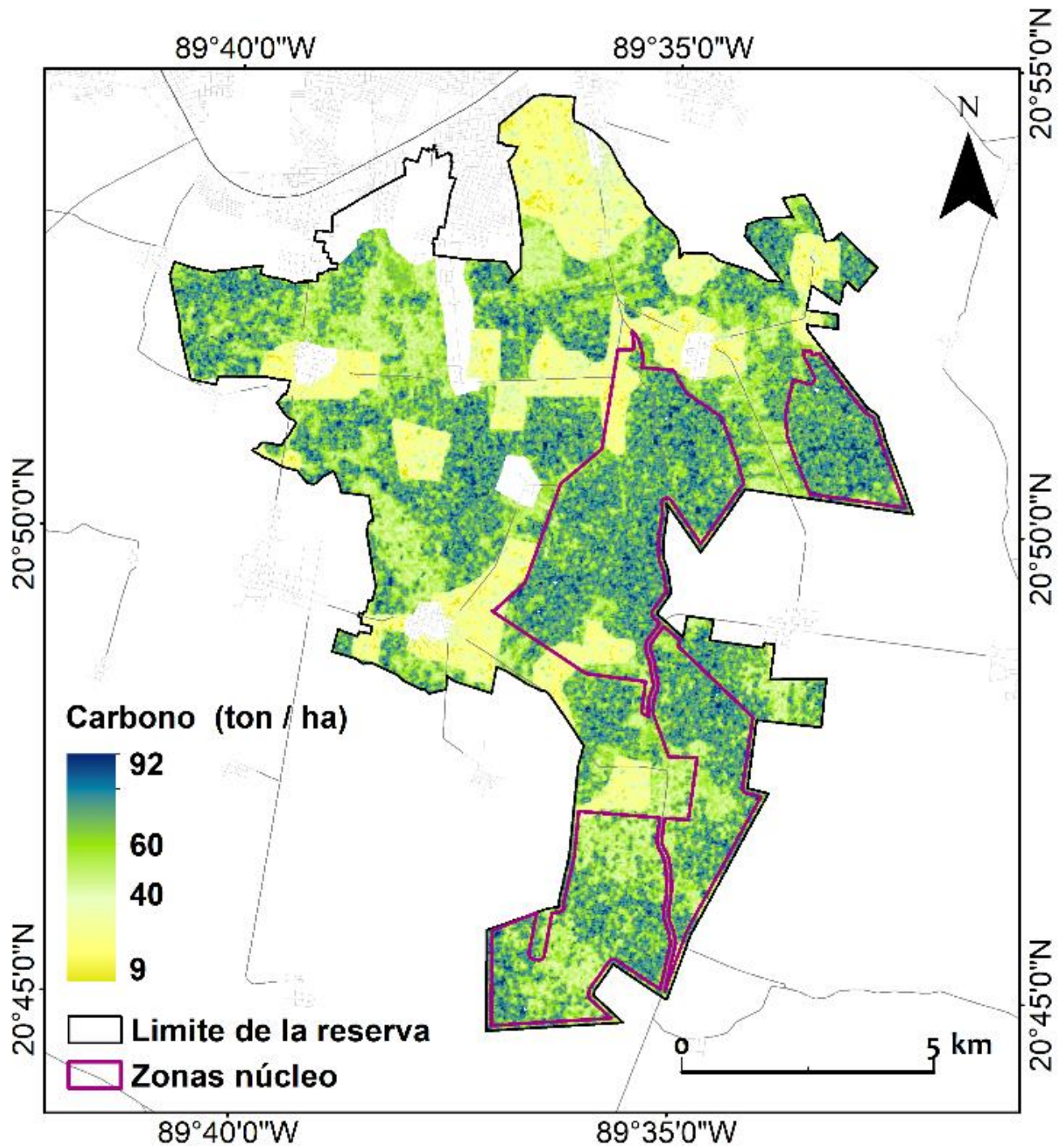


Figura 1. Mapa con la densidad de carbono estimado para la Reserva Ecológica Cuxtal, Yucatán (Mapa elaborado por los autores).

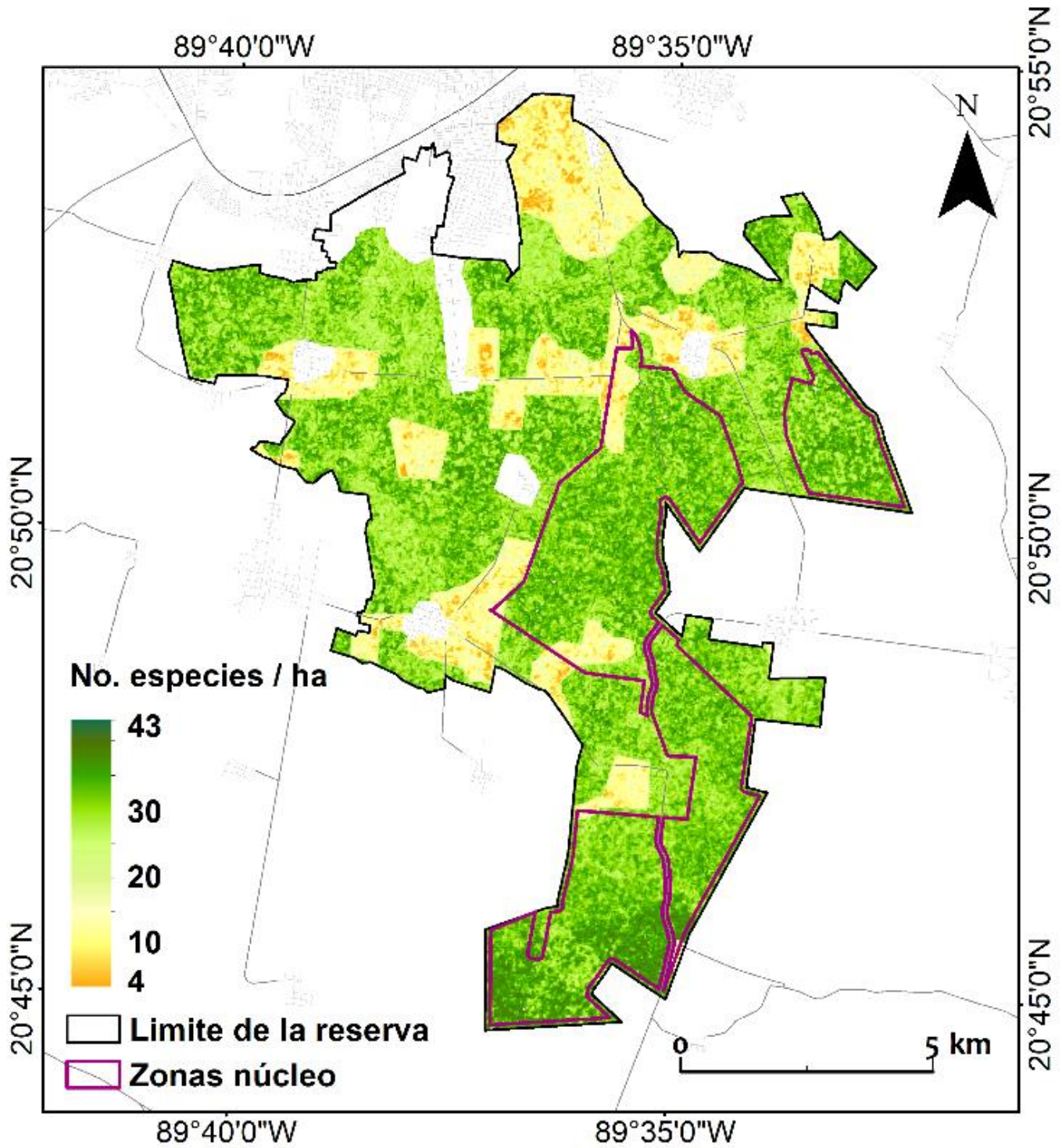


Figura 2. Mapa con la riqueza de especies estimada para la Reserva Ecológica Cuxtal, Yucatán (Mapa elaborado por los autores).

El mapa bivariado de densidad de carbono-riqueza de especies ejemplifica la relación espacial que existe entre ambas variables (Figura 3). En este mapa, se muestra que el 42.7% del área de la REC tiene valores altos de carbono almacenado, que corresponde a las áreas en los colores verde y azul en la Figura 3, o las zonas C y D de la Figura 4, que tienen en promedio 61.6 y 65.9 ton/ha de carbono, respectivamente. Por otro lado, el 16.9% de la superficie de la REC tiene valores altos, tanto en el carbono almacenado (65.9 ton/ha), como en la riqueza de especies (35.2), como se muestra en las áreas de color azul en la Figura 3 o la zona D de la Figura 4. Por el contrario, el 49.9 % del área de la REC presenta bajos niveles de densidad de carbono

(35.7 ton/ha) y de riqueza de especies (22.2) que se pueden apreciar en amarillo en la Figura 3 o en la zona A de la Figura 4. Esto significa que existe una alta congruencia entre el carbono almacenado y la riqueza de especies, en alrededor del 69.8% de la superficie de la REC. El 30.2% restante de la REC se compone de áreas con alta densidad de carbono, pero baja riqueza de especies (color verde en la Figura 3 o la zona C de la Figura 4) o alta riqueza de especies, pero baja densidad de carbono (color naranja en la Figura 3 o la zona B de la Figura 4). Finalmente, la correlación entre la densidad de carbono y la riqueza de especies de árboles fue alta para la REC ($r = 0.89$, obtenido con los datos de los mapas, Figura 5).

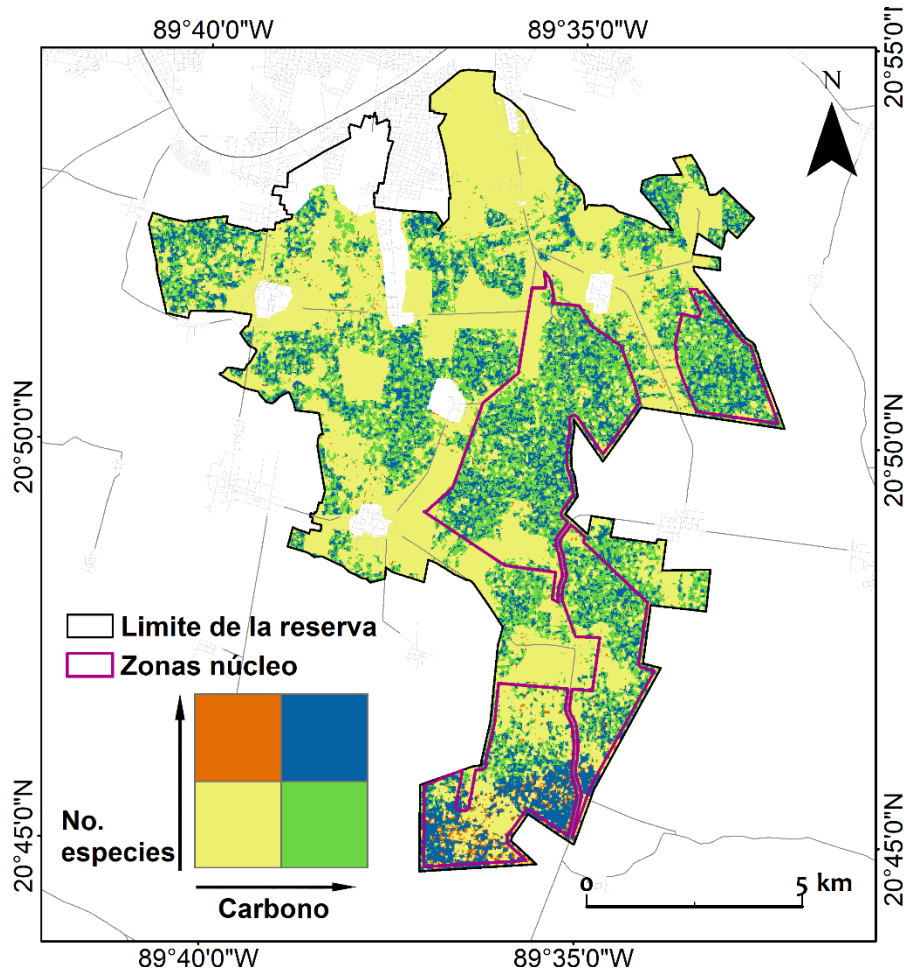


Figura 3. Mapa bivariado de la Reserva ecológica Cuxtal, Yucatán, con la congruencia entre densidad de carbono y riqueza de especies de árboles. Las áreas en color azul presentan alto carbono y alta riqueza de especies, mientras que las áreas en color amarillo tienen bajo carbono y baja riqueza de especies. Las áreas en color verde presentan alto carbono y baja riqueza de especies y las áreas en color naranja tienen bajo carbono y alta riqueza de especies (Mapa elaborado por los autores).

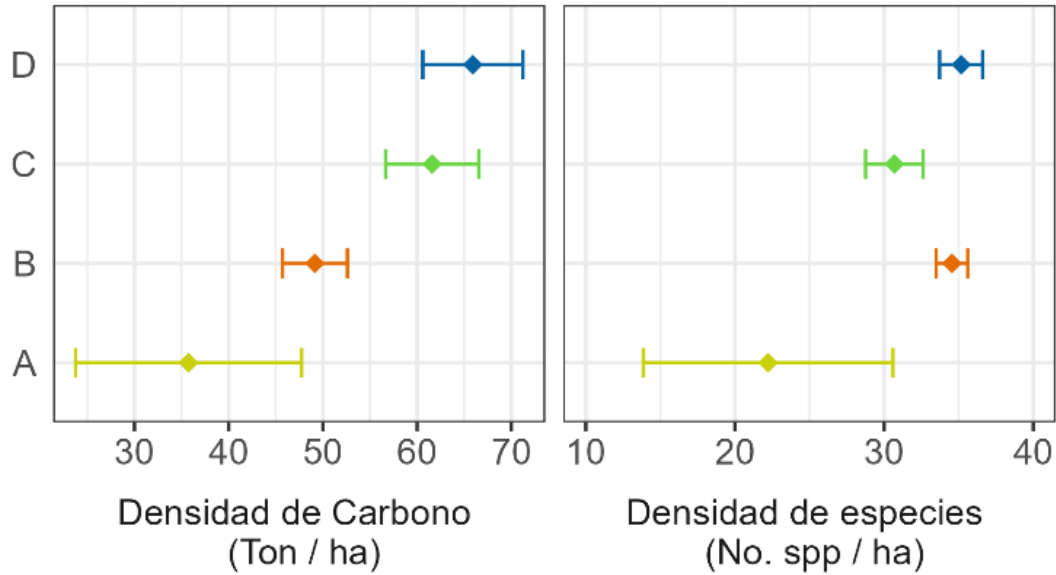


Figura 4. Gráfica del valor promedio de la densidad de carbono y la riqueza de especies de árboles para las diferentes zonas mostradas en el mapa bivariado; **A)** áreas con bajo carbono y baja riqueza de especies, **B)** áreas con alto carbono y baja riqueza de especies, **C)** áreas con bajo carbono y alta riqueza de especies y **D)** áreas con alto carbono y alta riqueza de especies (Gráfica elaborada por los autores).

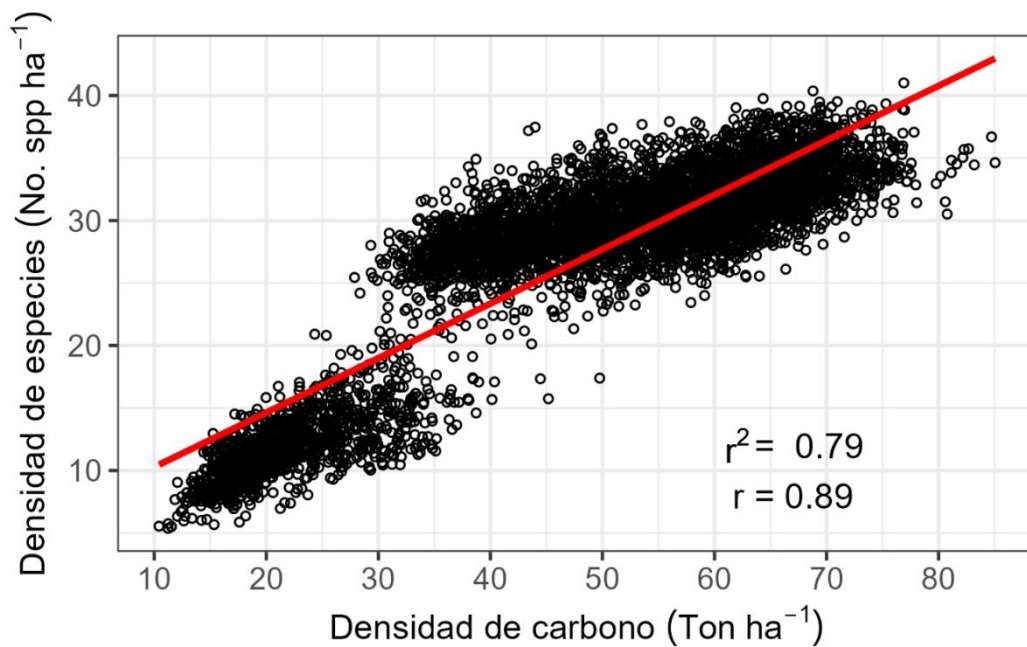


Figura 5. Modelo de regresión simple entre la riqueza de especies de árboles y la densidad de carbono calculados con datos de los mapas en el área de la Reserva ecológica Cuxtal, Yucatán. Se muestra el coeficiente de determinación (R^2) y el valor de correlación (R) (Gráfica elaborada por los autores).

Estos resultados ofrecen una herramienta para los tomadores de decisiones que estén interesados en mitigar el cambio climático, dado que además de reducir la brecha de emisiones de carbono, al mismo tiempo se busca preservar la biodiversidad. Por lo tanto, para el manejo y conservación de estos bosques, es de suma importancia obtener información con la distribución espacial de la densidad de carbono y la riqueza de especies como los que se presentan en este estudio. Los resultados sugieren que una importante proporción de la REC tiene valores altos de densidad de carbono, indicando que constituyen importantes reservas de carbono, así como una elevada riqueza de especies de árboles y, por consiguiente, una gran relevancia para la conservación de la biodiversidad. Estas áreas están localizadas principalmente dentro de la zona núcleo de la REC.

Referencias

- Banda K., Delgado-Salinas A., Dexter K.G., Linares-Palomino R., Oliveira-Filho A., Prado D., et al. 2016.** Plant diversity patterns in neotropical dry forests and their conservation implications. *Science* 353(6306): 1383-1387.
<https://www.science.org/doi/10.1126/science.aaf5080>
- Bebber D.P., Butt N. 2017.** Tropical protected areas reduced deforestation carbon emissions by one third from 2000-2012. *Scientific Reports* 7 (1): 14005.
<https://www.nature.com/articles/s41598-017-14467-w>
- Hernández - Stefanoni J.L., Castillo - Santiago M.A., Andres-Mauricio J., Portillo-Quintero C.A., Tun-Dzul F., Dupuy J.M. 2021.** Carbon stocks, species diversity and their spatial relationships in the Yucatán peninsula, Mexico. *Remote Sensing* 13(16): 3179.
<https://doi.org/10.3390/rs13163179>
- Keith H., Mackey B.G., Lindenmayer D.B. 2009.** Re-evaluation of forest biomass carbon stocks and lessons from the world's most carbon-dense forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106(28): 11635-11640.
<https://doi.org/10.1073/pnas.0901970106>
- Poorter L., van der Sande M.T., Thompson J., Arets E.J., Alarcón A., Álvarez-Sánchez J., et al. 2015.** Diversity enhances carbon storage in tropical forests. *Global Ecology and Biogeography* 24(11): 1314-1328.
<https://doi.org/10.1111/geb.12364>
- Sullivan M.J., Talbot J., Lewis S.L., Phillips O.L., Qie L., Begne S.K., et al. 2017.** Diversity and carbon storage across the tropical forest biome. *Scientific Reports* 7(1): 1-12.
<https://www.nature.com/articles/srep39102>
- Watson J.E., Dudley N., Segan D.B., Hockings M. 2014.** The performance and potential of protected areas. *Nature* 515(7525): 67-73.
<https://www.nature.com/articles/nature13947>

Desde el Herbario CICY, 15: 190-196 (28-septiembre-2023), es una publicación semanal editada por el Herbario CICY del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., con oficinas en Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Tel. 52 (999) 942-8330 Ext. 232, www.cicy.mx/Sitios/Desde_Herbario/, webmas@cicy.mx. Editores responsables: Ivón M. Ramírez Morillo, Diego Angulo y Néstor E. Raigoza Flores. Reserva de Derechos al Título Exclusivo No. 04-2016-041413195700-203, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, ISSN: 2395-8790. Responsable de la publicación: José Fernely Aguilar Cruz, Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Fecha de última modificación: 28 de septiembre de 2023. Las opiniones expuestas por los autores no necesariamente expresan la postura del editor de la publicación. De la misma manera, la responsabilidad sobre la veracidad y la precisión de los contenidos, le corresponde totalmente a los autores de los ensayos.