



La conservación de los bosques secos de Mesoamérica en la era del cambio climático global¹

David A. Prieto Torres,^{2, 3} E. Avril Manrique Ascencio,^{2,4} Hannia Irene Martínez Badillo,² María de Lourdes Núñez Landa,^{2, 5} Mariana Maya Romero,^{2,6} Daniela Remolina Figueroa,^{2,6} Pablo César Hernández Romero,² Andrea M. Gama-Rodríguez,² Diego Heriberto Torres,² Luis Antonio Sánchez González,⁷ Adolfo Gerardo Navarro-Singüenza,⁷ María del Coro Arizmendi²

Resumen. Los bosques secos tropicales, aunque parecen inhóspitos, albergan una gran diversidad de especies y endemismos. No obstante, están altamente amenazados por la deforestación, la fragmentación del hábitat y el cambio climático. Por este motivo, nuestro proyecto analizó la diversidad y distribución de más de 1700 especies de plantas y animales para identificar vacíos de información y fallas

en la conservación en estos bosques ante el cambio climático global. Nuestros resultados representan un avance significativo en la comprensión ecológica de este ecosistema y son clave para reconocer las limitantes existentes en su protección. Además, permiten delimitar áreas resilientes con alta diversidad y endemismos que requieren acciones inmediatas de protección, especialmente en México.

1 Proyecto PAPIIT IA202822: "Identificación de áreas prioritarias para la conservación de los bosques secos de Mesoamérica: un enfoque integrativo en la era del cambio climático"

2 Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. davidprietorres@gmail.com

3 Laboratorio Nacional SECICHTI de Biología del Cambio Climático, México

4 Red Biología Evolutiva, Instituto de Ecología, A. C.

5 Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

6 Posgrado de Ciencias Biológicas, UNAM

7 Facultad de Ciencias, UNAM



Palabras clave. Biodiversidad, cambio climático, macroecología, planeación sistemática de la conservación

CONTENIDO

Durante las últimas tres décadas, la evidencia científica ha mostrado que la distribución y supervivencia de las especies, así como de los ecosistemas que habitan, están siendo afectadas por los impactos combinados del cambio climático global y la deforestación. En particular, el rápido aumento de la temperatura de la superficie terrestre, junto con las altas tasas de pérdida de hábitat, están provocando importantes cambios en las áreas de distribución de las especies, en la abundancia y tamaño de sus poblaciones e incluso en la forma en que estas interactúan con otros organismos. Esta situación incrementa los riesgos de extinción y altera los patrones espaciales de diversidad alfa (número de especies por sitio) y beta (singularidad regional basada en la composición de especies) en distintas áreas del planeta. Sabemos que las especies no viven aisladas, sino que dependen unas de otras para sobrevivir; y cuando el clima cambia o destruimos sus hábitats, muchas de estas interrelaciones pueden desaparecer. Por ello, analizar cómo podrían responder las especies a estas amenazas y determinar las áreas de alta biodiversidad que requieren esfuerzos inmediatos de protección se ha convertido en una prioridad dentro de la agenda científica y ambiental de los países latinoamericanos.

Los bosques secos tropicales, conocidos en México como selvas secas, son ecosistemas con alta biodiversidad y concentración de endemismos, pero hoy figuran entre los más amenazados del mundo, principalmente debido a actividades humanas como la agricultura, la ganadería, la explotación maderera e incluso la instalación de desarrollos turísticos. Una característica distintiva de estos bosques es la cantidad de precipitación anual que reciben, que varía entre 700-2 000 mm, con ciclos estacionales de sequía muy marcados. En respuesta a esta dinámica, la vegetación característica de este ecosistema incluye árboles caducifolios principalmente, es decir, esos que pierden sus hojas durante los períodos secos. Dicha característica puede otorgar la impresión de que son ambientes inhóspitos en ciertas épocas del año, en especial, al ser comparados con ecosistemas permanentemente húmedos. Sin embargo, estos bosques en realidad albergan una gran diversidad de especies y están, de hecho, considerados dentro de las zonas más biodiversas del planeta. Aunado a ello, al igual que en

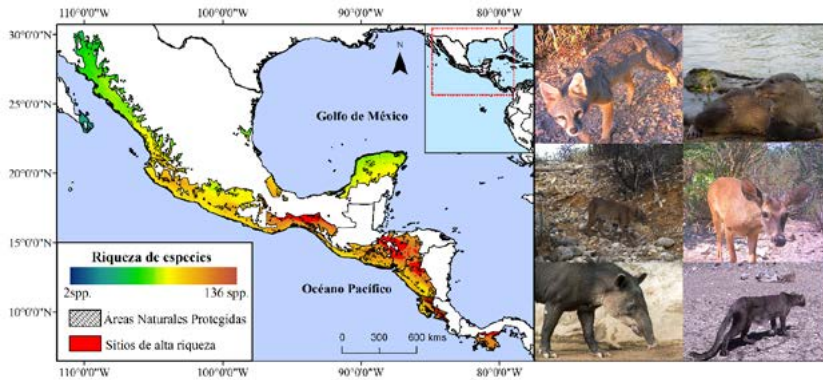
muchos otros ecosistemas, las áreas protegidas existentes en estos bosques no son suficientes ni siempre eficientes para preservar su singular biota. Esto se debe, en parte, a que la designación histórica de áreas protegidas ha respondido más a criterios económicos y de oportunidad a corto plazo que a criterios ecológicos de conservación.

Los bosques secos de Mesoamérica (figura 1) no escapan a este sombrío panorama. Estos bosques presentan unas de las tasas de deforestación más altas a nivel mundial y su biodiversidad ha sido catalogada como altamente vulnerable frente a la transformación del hábitat y el cambio climático. De hecho, se estima que más del 49 % de los bosques secos originales han sido convertidos por la humanidad a otros usos de suelo. Por el contrario, la mayoría de los países en la región con este tipo de ecosistema cuentan con menos del 10 % de su superficie bajo algún grado de protección. A pesar de que numerosos estudios han descrito aspectos biogeográficos y ecológicos —como diversidad, endemismo y recambio de especies— de la biota de estos bosques, todavía son pocos los trabajos que analizan la forma en que estos patrones podrían verse afectados en un contexto de cambio climático. Esta falta de información integrada y de análisis detallados limita nuestra comprensión sobre la magnitud real de estos riesgos y las consecuencias de la inacción para la conservación. Es decir, persisten importantes vacíos de conocimiento que dificultan el diseño de estrategias efectivas de manejo y protección a largo plazo.

En este contexto, a través de nuestro proyecto PAPIIT IA202822, hemos analizado los potenciales impactos del cambio climático global en los patrones espacio-temporales de la biota asociada (considerando más de 1700 especies) a los bosques secos de Mesoamérica, considerando la información de grupos bien conocidos, como plantas, anfibios, aves y mamíferos. Para este fin hemos utilizado métodos computacionales que estiman la idoneidad ambiental para la presencia de cada especie, con los que identificamos las variables climáticas más relevantes en sus distribuciones actuales y futuras proyectadas. Este enfoque metodológico parte de una teoría conocida en la biología como nicho ecológico, la cual postula que los organismos responden a condiciones ambientales específicas propias de cada especie, lo que nos permite trazar mapas individuales que muestran la adecuación climática de diferentes regiones para cada especie, tanto en el presente como bajo diferentes escenarios climáticos futuros. Además, a partir de estos mapas, también pudimos identificar zonas de mayor y menor concentración de especies, lo cual se conoce como patrones de riqueza (figura 1). Estos patrones, junto con el conocimiento de la composición de las comunidades (es decir, las

especies que las conforman), nos permiten identificar grupos bióticos particulares y especies endémicas exclusivas de regiones específicas.

Figura 1. Distribución geográfica de los bosques secos de Mesoamérica y sus patrones actuales de riqueza de especies de mamíferos terrestres



*Imágenes de los mamíferos corresponden a especies carismáticas reportadas en este tipo de ecosistemas: 1) zorra gris (*Urocyon cinereargenteus*); 2) nutria neotropical (*Lontra longicaudis*); 3) lince (*Lynx rufus*); 4) venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*); 5) tapir centroamericano (*Tapirus bairdii*), y 6) yaguarundi (*Herpailurus yagouaroundi*).

Figura tomada de: Prieto-Torres et al. (2024): “Los Mamíferos de los Bosques Secos de Mesoamérica”.

Nuestros resultados principales indican que *i*) existen vacíos significativos en la información disponible, puesto que entre el 30 y 40 % de las especies reportadas, especialmente anfibios, reptiles y plantas, carecen de datos suficientes para modelar sus distribuciones; *ii*) varias especies podrían sufrir extinciones locales o globales, mientras que otras quizás experimenten desplazamientos altitudinales de entre 200 y 250 m hacia ecosistemas colindantes con mejores condiciones climáticas; *iii*) los modelos climáticos futuros predicen impactos negativos y heterogéneos en la extensión de distribución y la diversidad taxonómica (número de especies), filogenética (rasgos evolutivos) y funcional (rasgos o características ecológicas entre especies), y *iv*) aunque la mayoría de las actuales áreas protegidas también podrían enfrentar impactos adversos, estas zonas muestran una mayor resiliencia relativa, lo que destaca su papel crucial como refugios naturales

para grupos como las plantas. No obstante, ninguna área protegida es inmune a condiciones climáticas más áridas, por lo que es imprescindible implementar medidas específicas de adaptación al clima para asegurar la conservación a largo plazo.

Más importante aún, la probabilidad de extinción y la homogenización biológica (es decir, la pérdida de diversidad a lo largo del paisaje) dependerán en gran medida tanto de las tolerancias fisiológicas de las especies como de su capacidad para dispersarse hacia nuevos hábitats con condiciones favorables. No obstante, es importante entender que, en estos escenarios de cambio climático futuro, no todas las especies tendrán las capacidades para responder a las variaciones ambientales en el poco tiempo que implican los cambios de temperatura previstos. Por ejemplo, en el caso de los mamíferos, las especies que no tienen afinidad específica por los bosques secos, como el yaguarundí (*Herpailurus yagouaroundi*) o el coyote (*Canis latrans*), podrían no verse impactadas negativamente por las nuevas condiciones climáticas.

Una de las consecuencias más importantes de este proceso dinámico de modificaciones en los patrones de distribución de las especies es que probablemente se reduzca la cantidad de especies que viven en estos bosques, e incluso se conformarían nuevas comunidades y se establecerían nuevas interacciones ecológicas. Esto puede tener muchas consecuencias biológicas; por ejemplo, que especies que actualmente no viven juntas compitan en un futuro por el mismo alimento o los mismos sitios de anidación. Todos estos escenarios de pérdida y deterioro en los bosques secos son especialmente críticos en México, donde se ha documentado una pérdida de más del 50 % de su vegetación original, y donde la fragmentación del paisaje representa una amenaza adicional que limita la persistencia de las poblaciones y su capacidad de respuesta ante el cambio climático.

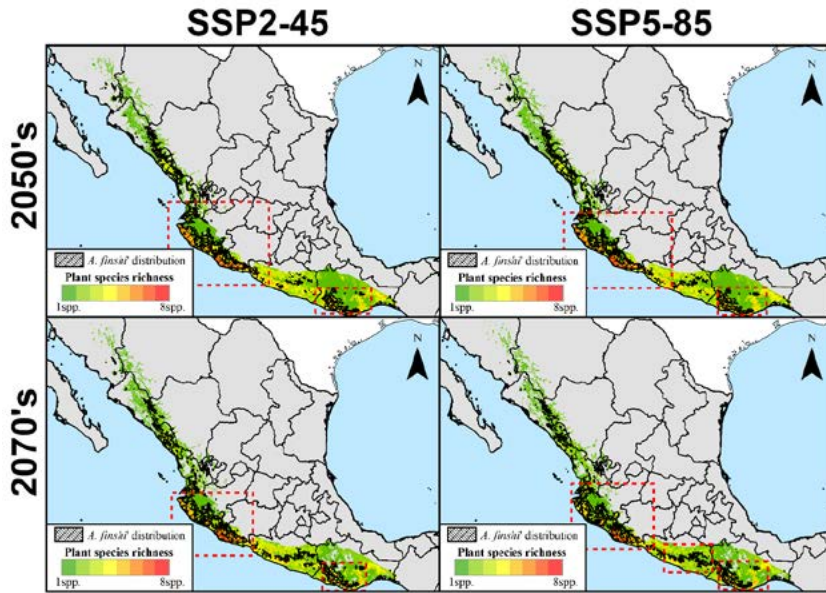
Es importante destacar que el cambio climático no solo afectará negativamente a las especies actualmente catalogadas como amenazadas y ecológicamente restringidas a estos ecosistemas, sino también a aquellas consideradas de menor preocupación para la conservación. De hecho, en muchos casos, los cambios en la distribución de las especies se asocian directamente con modificaciones en los rangos estacionales de precipitación durante los trimestres más cálidos y fríos del año, así como con aumentos en la temperatura promedio anual ($> 1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$) y una reducción de la precipitación anual ($< 40\text{ mm}$). Evaluaciones específicas sobre especies vegetales revelaron que la mayoría tiene una capacidad limitada para soportar periodos prolongados de déficit hídrico, lo que pone en riesgo su hábitat y biodiversidad ante sequías más intensas o prolongadas. De

este modo, entendemos que aquellas especies con menor tolerancia al estrés hídrico (es decir, sequía y calor) tienden a sufrir mayores reducciones en su rango de distribución. Además, en cuanto a los animales, en casos de especies como el águila real (*Aquila chrysaetos*), que muestran alta fidelidad a sitios específicos de anidación en bosques secos y matorrales, su supervivencia bajo escenarios futuros de cambio climático dependerá en gran medida de la protección de estas áreas de reproducción, pues la estabilidad climática en estas zonas es crítica para el establecimiento y permanencia de sus poblaciones. Todos estos resultados resaltan la necesidad de abordar la conservación de la biodiversidad en su conjunto y no solo como una cuestión de especies amenazadas.

Adicionalmente, hemos podido observar que --dado que las respuestas al cambio climático pueden variar entre especies-- existe la posibilidad de que ocurran desacoples geográficos entre taxones y sus interacciones ecológicas. En el caso del loro *Amazona finschi*, especie endémica de México y en peligro de extinción, se proyecta una reducción tanto en su área de distribución como en la de las plantas que utiliza para alimentación y anidación, lo que podría fragmentar o romper sus asociaciones ecológicas (figura 2). De hecho, esta tendencia se observó igualmente en las redes ecológicas entre aves (como los colibríes) y plantas, donde se estima una reducción promedio de entre 5.9 y 6.8 % en la congruencia espacial de los patrones de distribución de estas especies, así como cambios en la superposición de nichos y en la estructura de sus redes de interacción, siendo la región de la depresión del Balsas la que mostró una mayor tasa de cambio en estos patrones.

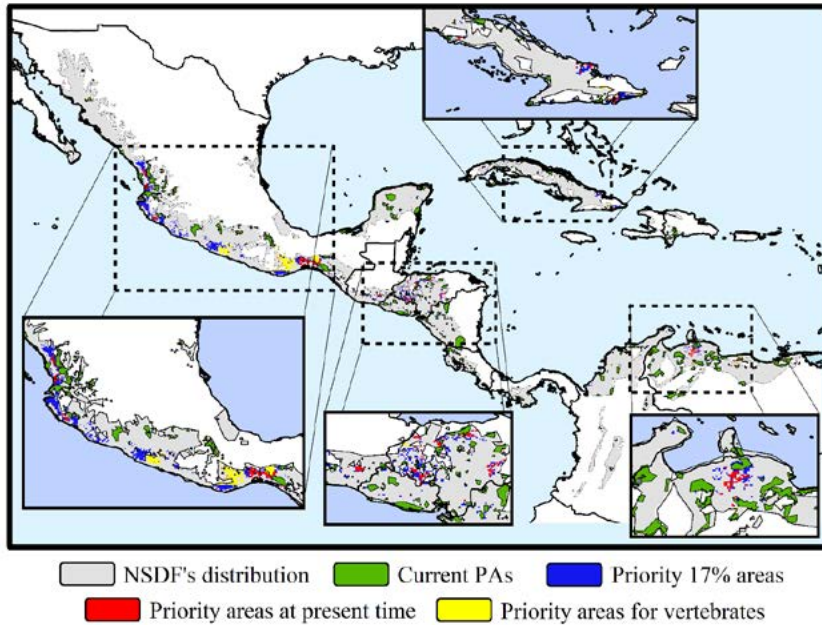
Para garantizar la conservación a largo plazo, es fundamental definir unidades prioritarias de conservación basadas en zonas de alta resiliencia climática y agregarlas a los sistemas nacionales de áreas protegidas. Por ejemplo, en nuestros estudios localizamos áreas identificadas como prioritarias para la protección y restauración del bosque seco en las tierras bajas de la vertiente del Pacífico occidental (figura 3), desde el noroeste de México hasta el noroeste de Centroamérica (incluyendo Guatemala, Honduras y El Salvador). Esta región es considerada un sitio clave para la diversificación de la biota de estos bosques, así como importantes refugios pleistocénicos, pero actualmente se encuentra poco protegida y altamente deforestada.

Figura 2. Patrones de codistribución de especies entre el loro corona lila (*Amazona finschi*) y las ocho especies de plantas leñosas asociadas con su uso de hábitat



* Proyecciones de dos escenarios de emisión de gases de efecto invernadero (SSP2-4.5 y SSP5-8.5) para los años 2050 y 2070, considerando la capacidad de dispersión de las especies. Las líneas rojas punteadas en los mapas indican las áreas donde los sitios con alta riqueza de plantas se superponen con la distribución de *A. finschi*. Figura tomada de: Nuñez-Landa et al. (2023): “Predicting Co-Distribution Patterns of Parrots and Woody Plants under Global Changes: The Case of the Lilac-Crowned Amazon and Neotropical Dry Forests”.

Figura 3. Áreas naturales protegidas de los bosques secos tropicales en Mesoamérica y el norte de Sudamérica y áreas potenciales de expansión



* Áreas identificadas en nuestro análisis espacial al seleccionar el 17 % prioritario del territorio bajo el escenario sinérgico (cambio climático global y cambio en el uso del suelo) para la década de 2050. Para las áreas propuestas, se muestran los sitios que coincidieron con zonas previamente definidas como prioritarias para los bosques secos tropicales estacionales (Prieto-Torres et al., 2018) y como prioridades para la conservación e investigación de vertebrados terrestres (Nori et al., 2020). Figura tomada de: Prieto-Torres et al. (2021): “Challenges and Opportunities in Planning for the Conservation of Neotropical Seasonally Dry Forests into the Future”.

Debido a lo anterior, nuestros hallazgos aportan valiosa información para orientar esfuerzos de restauración en al menos 15 000 km² en la región occidental de México. Reforzar y expandir el sistema de áreas naturales protegidas, restaurar zonas clave y promover la conectividad ecológica del paisaje son medidas esenciales para mejorar la resiliencia de las especies y ecosistemas ante los futuros escenarios climáticos. La inacción en estos temas pondría en riesgo los compromisos internacionales adquiridos por nuestros países con las Metas Ai-

chi para la Biodiversidad⁸, los Objetivos de Desarrollo Sostenible y la lucha contra la pérdida de biodiversidad.

En conclusión, el estudio y la conservación de las especies del bosque seco es fundamental para el funcionamiento de estos ecosistemas tan importantes para el bienestar del ser humano. No obstante, aún tenemos una ardua y desafiante tarea por delante, puesto que son muchos los vacíos de conservación por atender para este tan particular e importante ecosistema tropical y sus especies. Aunque este estudio pone en evidencia la necesidad urgente de replantear las estrategias de conservación para estos ecosistemas, considerando no solo su alta biodiversidad y endemismo, sino también su creciente vulnerabilidad, debemos entender que se necesita más que la sola protección de territorios, en especial si tomamos en cuenta el acelerado avance y expansión de la frontera agrícola, así como de otros tipos de degradación ambiental (contaminación, deforestación, cacería ilegal) que actualmente amenazan los bosques secos mesoamericanos.

Asimismo, incluso si estos resultados sirven para guiar el establecimiento de futuras acciones de conservación en el país para estos organismos altamente vulnerables, el éxito de estas iniciativas dependerá del fortalecimiento de colaboraciones entre académicos, instituciones gubernamentales y organizaciones no gubernamentales, así como la participación de la ciudadanía y la educación ambiental. Solo mediante una planificación integral, basada en evidencia científica y bajo un enfoque regional y prospectivo, será posible mitigar los impactos del cambio global y asegurar la conservación de los bosques secos y de los servicios ecosistémicos que proporcionan a las comunidades humanas de la región.

Lecturas recomendadas

- Gama-Rodríguez, A. M., J. A. García, L. F. Lozano, y D. A. Prieto-Torres. 2024. "Protecting Breeding Sites: A Critical Goal for the Conservation of the Golden Eagle in Mexico under Global Change Scenarios." *Journal of Ornithology* 165(3): 759–775. <https://doi.org/10.1007/s10336-023-02147-1>
- López-Toledo, L., D. A. Prieto-Torres, F. D. V. Barros, N. Ribeiro, y R. T. Pennington. 2024. "Seasonally Dry Tropical Forests: New Insights for Their Knowledge and Conservation." *Frontiers in Forests and Global Change* 6: 1350375. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1350375>

8 Plan Estratégico para la Diversidad Biológica 2011-2020.

- Manrique-Ascencio, A., D. A. Prieto-Torres, F. Villalobos, J. Mercado Gómez, y R. Guevara. 2024. "Limited Drought Tolerance in the Neotropical Seasonally Dry Forest Plants Impairs Future Species Richness." *Plant Biology*. <https://doi.org/10.1111/plb.13600>
- Manrique-Ascencio, A., D. A. Prieto-Torres, F. Villalobos, y R. Guevara. 2024. "Climate-Driven Shifts in the Diversity of Plants in the Neotropical Seasonally Dry Forest: Evaluating the Effectiveness of Protected Areas." *Global Change Biology* 30(4): e17282. <https://doi.org/10.1111/gcb.17282>
- Nori, J., R. Loyola, y F. Villalobos. 2020. "Priority areas for conservation of and research focused on terrestrial vertebrates". *Conservation Biology* 34(5): 1281-1291. <https://doi.org/10.1111/cobi.13476>
- Núñez-Landa, M. L., J. C. Montero-Castro, T. C. Monterrubio-Rico, S. I. Lara-Cabrera, y D. A. Prieto-Torres. 2023. "Predicting Co-Distribution Patterns of Parrots and Woody Plants under Global Changes: The Case of the Lilac-Crowned Amazon and Neotropical Dry Forests." *Journal for Nature Conservation* 71: 126323. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2023.126323>
- Prieto-Torres, D. A., A. Lira-Noriega, y A. G. Navarro-Sigüenza. 2020. "Climate Change Promotes Species Loss and Uneven Modification of Richness Patterns in the Avifauna Associated to Neotropical Seasonally Dry Forests." *Perspectives in Ecology and Conservation* 18(1): 19-30. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2019.12.002>
- Prieto-Torres, D. A., H. M. Badillo, y P. C. Hernández-Romero. 2024. "Los Mamíferos de los Bosques Secos de Mesoamérica." *Therya ixmana* 3(1): 11-13. <https://doi.org/10.12933/therya-ixmana-24-13>
- Prieto-Torres, D. A., J. Nori, O. R. Rojas-Soto, y A. G. Navarro-Sigüenza. 2021. "Challenges and Opportunities in Planning for the Conservation of Neotropical Seasonally Dry Forests into the Future." *Biological Conservation* 257: 109083. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109083>
- Prieto-Torres, D. A., J. Nori, y O.R. Rojas-Soto. 2018. "Identifying priority conservation areas for birds associated to endangered Neotropical dry forests." *Biological Conservation* 228: 205-214. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.10.025>
- Prieto-Torres, D. A., L. A. Sánchez-González, M. F. Ortiz-Ramírez, J. E. Ramírez-Albores, E. A. García-Trejo, y A. G. Navarro-Sigüenza. 2021. "Climate Warming Affects Spatio-Temporal Biodiversity Patterns of a Highly Vulnerable Neotropical Avifauna." *Climatic Change* 165(3): 57. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03060-3>

- Prieto-Torres, D. A., O. R. Rojas-Soto, D. Santiago-Alarcon, E. Bonaccorso, y A. G. Navarro-Sigüenza. 2019. "Diversity, Endemism, Species Turnover and Relationships among Avifauna of Neotropical Seasonally Dry Forests." *Ardeola* 66(2): 257–277. <https://doi.org/10.13157/arla.66.2.2019.ra2>
- Remolina-Figueroa, D., D. A. Prieto-Torres, W. Dáttilo, E. Salgado Díaz, L. E. Nuñez Rosas, C. Rodríguez-Flores, et al. 2022. "Together Forever? Hummingbird-Plant Relationships in the Face of Climate Warming." *Climatic Change* 175(1): 17. <https://doi.org/10.1007/s10584-022-03418-1>