

Efectos de la variabilidad de temperatura y precipitación causadas por el cambio climático sobre la reproducción de los murciélagos

Effects of temperature and precipitation variability caused by climate change on bat reproduction

PAOLA OCAMPO-GONZÁLEZ¹, TAMARA M. RIOJA-PARADELA^{2*}, ARTURO CARRILLO-REYES², CONSUELO LORENZO³, EDUARDO ESPINOZA-MEDINILLA⁴, Y RICARDO LÓPEZ-WILCHIS⁵

¹Escuela de Estudios Agropecuarios Mezcalapa, Universidad Autónoma de Chiapas. Carretera Chicoasén-Malpaso Km. 24.3, Colonia San Miguel El Cocal, C. P. 29625, Copainalá. Chiapas, México. E-mail: paola.ocampo@unach.mx (PO-G).

²Posgrado en Ciencias en Desarrollo Sustentable y Gestión de Riesgos, Facultad de Ingeniería, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Libramiento Norte Poniente 1150, Colonia Lajas Maciel, C. P. 29039, Tuxtla Gutiérrez. Chiapas, México. E-mail: tamara.rija@unicach.mx (TMR-P); arturo.carrillo@unicach.mx (AC-R).

³Departamento de Conservación de la Biodiversidad, El Colegio de la Frontera Sur. Carretera Panamericana y Periférico Sur s/n, C. P. 29290, San Cristóbal de Las Casas. Chiapas, México. E-mail: clorenzo@ecosur.mx (CL).

⁴Instituto de Ciencias Biológicas, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Libramiento Norte Poniente 1150, Colonia Lajas Maciel, C. P. 29039, Tuxtla Gutiérrez. Chiapas, México. E-mail: eduardo.espinoza@unicach.mx (EE-M).

⁵Departamento de Biología, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. Av. San Rafael Atlixco No. 186, Col. Vicentina, C. P. 09340. Ciudad de México, México. E-mail: rlw@xanum.uam.mx (RL-W).

*Autor de correspondencia

La reproducción en murciélagos es regulada por factores endógenos y exógenos, por lo que las variaciones en las condiciones climáticas pueden impactar en su éxito reproductivo. Se presenta una revisión de literatura y análisis de los efectos de la variabilidad de la temperatura y precipitación causadas por el cambio climático sobre la reproducción de los murciélagos. Se realizó una búsqueda de literatura científica publicada de 2000 a 2023, basada en la combinación de 3 elementos clave referentes a la variabilidad de la temperatura y precipitación, cambio climático y reproducción de murciélagos. Los efectos descritos fueron analizados y la información se reporta en una síntesis cualitativa. Un total de 41 artículos científicos y 3 capítulos de libros de 15 países abordaron el efecto de la variabilidad climática en la temperatura y precipitación causada por el cambio climático en la reproducción de murciélagos. Se evidencia la capacidad de algunas especies para modificar su patrón reproductivo en respuesta a esta variabilidad y que las variables ambientales pueden modificar el momento de los eventos reproductivos. Debido a la diversidad en su biología reproductiva y la capacidad para maximizar su eficiencia reproductiva ante diferentes condiciones ambientales, no se puede generalizar sobre los efectos del cambio climático en la reproducción de murciélagos, ya que se han demostrado diferencias intra e interespecíficas en la capacidad para maximizar su éxito reproductivo. Se requiere de mayor investigación que aborde los efectos de las variables climáticas sobre los eventos reproductivos.

Palabras clave: Calentamiento global; ciclos reproductivos, Chiroptera; lactancia; lluvias; momento de parto; sequías.

Reproduction in bats is regulated by endogenous and exogenous factors, so variations in climatic conditions can impact their reproductive success. A literature review and analysis of the effects of temperature and precipitation variability caused by climate change on bat reproduction are presented. A search of scientific literature published from 2000 to 2023 was carried out, based on the combination of three key elements related to temperature and precipitation variability, climate change and bat reproduction. The described effects were analyzed and the information is reported in a qualitative synthesis. A total of 41 scientific articles and 3 book chapters from 15 countries addressed the effect of climate variability in temperature and precipitation caused by climate change on bat reproduction. The ability of some species to modify their reproductive pattern in response to this variability is evidenced. In addition, it is evident that environmental variables can modify the timing of reproductive events. Due to the diversity in their reproductive biology and the ability to maximize their reproductive efficiency under different environmental conditions, it is not possible to generalize about the effects of climate change on bat reproduction, since intra and interspecific differences have been demonstrated in the ability to maximize their reproductive success. Further research is required to address the effects of climatic variables on reproductive events.

Key words: Chiroptera, droughts; global warming; lactation; rains; reproductive cycles; timing of parturition.

© 2023 Asociación Mexicana de Mastozoología, www.mastozoologiamexicana.org

Los efectos del cambio climático son reconocidos como una de las principales amenazas a la biodiversidad de murciélagos a nivel mundial (Frick *et al.* 2020). El clima influye en

su distribución geográfica, la disponibilidad de alimento, la fenología de la hibernación, la frecuencia y duración de letargo, la tasa de gasto de energía y la reproducción

([Sherwin et al. 2013](#)). Diversos estudios han evidenciado cómo los murciélagos son afectados y responden a la variabilidad climática derivada de los efectos del cambio climático ([La Val 2004](#); [Mistry y Moreno-Valdez 2008](#); [Adams 2010](#); [Amorim et al. 2015](#); [Festa et al. 2023](#)), y concluyen que se puede tener un mejor entendimiento de esto si se consideran aspectos de la historia de vida de las especies que las hacen particularmente vulnerables a las variaciones climáticas ([Jones et al. 2009](#)), tales como su distribución geográfica, hábitos alimenticios, uso de espacios y recursos y reproducción.

La reproducción en murciélagos involucra un conjunto de factores endógenos y exógenos ([Mello et al. 2009](#)). Con respecto a los factores endógenos, en las hembras, por ejemplo, las etapas de reproducción más exigentes se encuentran en el último periodo de gestación: la lactancia y el destete, por lo que la probabilidad de supervivencia de una hembra y su descendencia se maximiza, haciendo coincidir estas etapas con las condiciones ambientales óptimas ([Racey y Entwistle 2000](#)). En los machos, la reproducción está determinada por el ciclo reproductivo de las hembras, por lo que se considera que la ciclicidad reproductiva anual del macho probablemente sea paralela a la de la hembra, con una producción sincronizada de gametos ([Kruttsch 2000](#)).

Se ha demostrado que las variaciones de factores ambientales como la temperatura y precipitación, así como la disponibilidad de alimento y la pérdida de hábitat, pueden afectar el momento de la ovulación y la fertilización, las tasas de crecimiento posterior a la implantación, el momento del parto, las tasas reproductivas, la espermatogénesis y el recrudescimiento gonadal de los murciélagos ([Heideman 2000](#); [Arlettaz et al. 2001](#); [Mello et al. 2004](#); [Mello et al. 2009](#); [Arandas et al. 2019](#); [de Carvalho et al. 2019](#)). Los murciélagos presentan diversas estrategias reproductivas, tales como estro postparto, regresión testicular, retraso en la ovulación, implantación y desarrollo embrionario, por mencionar algunas, por lo que es poco probable que los efectos del cambio climático en su reproducción sean iguales para todas las especies ([Sherwin et al. 2013](#)). En este trabajo, se presenta una revisión y análisis de los efectos de la variabilidad en la temperatura y la precipitación causadas por el cambio climático sobre los eventos reproductivos en los murciélagos a nivel global.

Se realizó una búsqueda de artículos escritos en el idioma inglés y publicados del 2000 al 2023, relacionados al estudio del efecto de la variabilidad climática causada por el cambio climático en la reproducción de murciélagos, en los buscadores Google Scholar, Elsevier Science Direct, Researchgate, BioOneComplete, Redalyc, National Center for Biotechnology Information (NCBI), Wiley Online Library y SciELO-Scientific Electronic Library Online. Se combinaron tres elementos clave de búsqueda, el primero refirió a la variable de cambio climático con las palabras: "climate change", "climate variables", "global warming", "precipitation", "temperature"; el segundo al objeto de estudio: "bat", "Chiroptera"; y el tercero al efecto sobre los eventos repro-

ductivos: "reproduction", "timing reproduction", "reproductive patterns", "reproductive rates".

Para la selección de los artículos con los que se construyó esta revisión, se realizó un primer filtro mediante la revisión del título y resumen de cada uno de los artículos encontrados, excluyendo aquellos que no estudiaran efectos de variables climáticas y del cambio climático sobre los murciélagos. Posteriormente, se determinó cómo cada uno de los artículos que se seleccionaron abordaron de forma directa o indirecta (no es el objetivo primordial del estudio) los efectos del cambio climático y de las variables de temperatura y precipitación sobre los eventos reproductivos de los murciélagos. Se incluyeron artículos que involucraran a estudios locales, regionales y globales; artículos de revisión e investigación y estudios a nivel de especies, familia y orden. De cada uno de los artículos elegidos se extrajo información sobre las variables ambientales estudiadas, los eventos reproductivos de los murciélagos como preñez, época de nacimientos y lactancia, sobre los que influyen las variables ambientales y los efectos climáticos evaluados como sequías y aumento de temperatura.

Los artículos seleccionados abordaron diferentes temas, como proyecciones de escenarios futuros, evaluación de impactos climáticos y modificación en patrones de comportamiento de los murciélagos; todos ellos presentados bajo múltiples enfoques metodológicos, áreas geográficas y diferentes resultados, por lo que los estudios elegidos no fueron homogéneos y no se realizó una extracción de datos que permitieran realizar análisis cuantitativos, por lo que los hallazgos se reportan como una síntesis cualitativa ([Festa et al. 2023](#)).

Los hallazgos se vertieron en una base de datos de Excel, en la cual se dividió la información en dos grupos, uno que incluye los datos generales de las publicaciones tales como título, año, autores, país en el que se realizó el trabajo; y el otro que incluye información cualitativa referente al contenido, como el objetivo del estudio, variables ambientales, efectos climáticos y efectos reproductivos estudiados.

Se revisaron un total de 114 artículos y 3 capítulos de libros. De éstos, sólo 41 artículos y 3 capítulos de libros, provenientes de 15 países, abordaron el efecto de la variabilidad climática en la temperatura y precipitación causada por el cambio climático en la reproducción de murciélagos, por lo que fueron considerados en el estudio (Apéndice 1). La mayoría de estos estudios se realizaron en Estados Unidos ($n = 18$), el resto de los países tenían menos de 5 publicaciones. El número de estudios que abordan directamente los efectos de la variabilidad climática en la temperatura y precipitación causada por el cambio climático en la reproducción de murciélagos fue de 15.

Temperatura. Uno de los principales efectos del cambio climático es el incremento en la temperatura media anual, causado principalmente por las emisiones de gases de efecto invernadero de los sistemas naturales y por las actividades humanas, lo que ha provocado un incremento

de 1 °C por encima del nivel preindustrial y es probable que alcance los 1.5 °C entre 2030 y 2052 (IPCC 2021).

Los murciélagos de zonas templadas presentan una extrema dependencia de las temperaturas externas (Jones et al. 2009), por lo que pueden ser más sensibles al aumento de la temperatura causado por el cambio climático que otros grupos de mamíferos. Loeb y Winters (2013) sugieren que, cuando no logran mitigar los efectos de las altas temperaturas, es probable que ocurran cambios en su rango de distribución, desplazándose hacia nuevas áreas desocupadas (Mollhagen y Bogan 1997; La Val 2004; Parris y Hazell 2005; Sachanowicz et al. 2006; Lundy et al. 2010; Rebelo et al. 2010), afectando significativamente su patrón reproductivo (Jones et al. 2009).

Existe evidencia anterior al año 2000 en la que se ha documentado cambios en los patrones reproductivos de algunas especies de murciélagos cuando cambian de latitud. En áreas altamente estacionales de Sudáfrica, la mayoría de las especies presentan monoestría estacional restringida, mientras que se han registrado hasta 5 patrones reproductivos diferentes más cerca del ecuador (Happold y Happold 1990). Bernard y Cumming (1997) observaron que, con un gradiente de latitud creciente, se presenta un cambio gradual de la poliestría a la monoestría. Los cambios en los patrones reproductivos con la latitud han sido reportados para los murciélagos de la familia Molossidae, presentando patrones reproductivos poliéstricos no estacionales en *Tadarida pumila* y *Molossus ater* (0° S, 3° S), poliestría estacional multimodal en *T. pumila* (9° S, 25° S), poliestría bimodal estacional en *Molossus fortis* (18° N), y monoestría estacional restringida para *Tadarida aegyptiaca* y *Mormopterus planiceps* (33° S, 36° S), lo cual evidencia que incluso la misma especie (*T. pumila*) puede presentar variaciones en su ciclo reproductivo con la variación de la latitud (Happold y Happold 1990; Racey y Entwistle 2000). En el género *Myotis* también son evidentes estas variaciones en los patrones reproductivos con la latitud. En los trópicos, los miembros de este género son poliéstricos, en zonas de latitud y/o climas intermedios se presenta poliestría en asociación con almacenamiento espermático, mientras que en latitudes templadas se presenta monoestría con almacenamiento espermático durante la hibernación invernal (Bernard 1982). Así también, se ha demostrado que una misma especie (*Sturnira lilium*) pasa de la poliestría bimodal a una monoestría cuando se distribuye en zonas más australes (Autino y Barquez 1994).

Los cambios de temperatura pueden tener diferentes efectos en las especies de murciélagos debido a las diferencias en los requisitos de alimentación, hábitat y reproducción (Sherwin et al. 2013). Sin embargo, las especies pueden adaptarse a los patrones climáticos cambiantes, mediante modificaciones en su fenología migratoria y reproductiva (Festa et al. 2023).

En esta revisión se ha documentado que murciélagos nectarívoros de bosques templados de México realizan migraciones altitudinales en busca de temperaturas idea-

les para reproducirse y favorecer el desarrollo embrionario de sus crías, mejorando así el éxito reproductivo (Saldaña-Vázquez et al. 2019). El cambio climático puede influir en el momento del parto al alterar la disponibilidad de alimento (Sherwin et al. 2013). En murciélagos de zonas templadas, los climas más cálidos pueden inducir un parto más temprano y el destete de las crías, lo que les permite más tiempo para aparearse y almacenar reservas de grasa en preparación para la hibernación, además que la gestación y el parto más tempranos proporcionan a los juveniles un período de crecimiento más largo antes de la temporada de reproducción (Burles et al. 2009; Jones et al. 2009). Lundy et al. (2010) examinaron el efecto del cambio climático en el murciélago insectívoro *Pipistrellus nathusii* y observaron que el momento del parto ha cambiado en áreas donde la temperatura ambiental se ha incrementado, esto probablemente se deba al hecho de que, a medida que las temperaturas aumentan, los insectos emergen antes en el año, lo que significa que los murciélagos pueden encontrar comida antes y, por lo tanto, parir antes, ya que los murciélagos necesitan tener acceso a una fuente de alimento confiable para criar a sus crías con éxito. Sin embargo, estas acciones podrían resultar en un aumento del tamaño de la población y, por lo tanto, en una competencia intra e interespecífica intensificada por el alimento y los sitios de descanso (Sherwin et al. 2013).

Por otra parte, las olas de calor han afectado gravemente a la demografía de zorros voladores *Pteropus* spp. resultando en mayor mortalidad entre juveniles y hembras lactantes, siendo este último grupo uno de los más vulnerables ante las temperaturas extremas, ya que la lactancia provoca una elevación de la tasa metabólica basal y un aumento de las necesidades de termorregulación (Welbergen et al. 2008).

Precipitación. El calentamiento observado durante varias décadas, ha sido vinculado a cambios experimentados por el ciclo hidrológico en gran escala. Según las proyecciones, la intensidad y variabilidad crecientes de la precipitación agravarían el riesgo de inundaciones y sequías en numerosas áreas (Serdá y Quiroga 2020). La frecuencia de episodios de precipitación intensa aumentará muy probablemente en la mayoría de las áreas y al mismo tiempo, aumentará la proporción de superficie terrestre que padece sequía extrema y se manifestará una tendencia a la sequía en el interior de los continentes durante el verano, particularmente en las regiones subtropicales de latitudes bajas y medias (Bates et al. 2008).

En publicaciones anteriores al año 2000, se ha demostrado que la precipitación es una variable climática con gran influencia en los patrones reproductivos de los murciélagos. En algunas zonas tropicales, en las que la disponibilidad de alimento parece ser abundante todo el año y las variaciones estacionales de temperatura pueden no ser extremas, especies poliéstricas pueden experimentar un mayor o menor grado de estacionalidad reproductiva asociado a los patrones de lluvia, por lo que el parto generalmente tiene lugar al inicio de la temporada de lluvias,

y la lactancia durante el pico de esta temporada ([Racey y Entwistle 2000](#)). En el murciélago vampiro común *Desmodus rotundus*, una especie poliéstrica continua, con una fuente de alimento constante al alimentarse del ganado, se ha documentado un incremento de nacimientos y hembras lactantes durante la época de lluvias, por lo que, [Turner \(1975\)](#) y [Lord \(1992\)](#) consideran que la precipitación puede ser un factor climático que influye en el nacimiento de sus crías, que al verse alterado por el cambio climático puede impactar en su patrón reproductivo.

Para [Happold y Happold \(1990\)](#), los patrones de lluvia y la severidad de las estaciones secas en diferentes regiones geográficas son la base de los patrones reproductivos encontrados en los murciélagos. Se ha demostrado que existen claras relaciones entre lluvias bimodales y nacimientos bimodales (e.g., *Micropteropus pusillus*, [Thomas y Marshall 1984](#)), monoestría en lluvias unimodales cortas (e.g., *Pipistrellus nanus*; [Happold y Happold 1990](#)) y la poliesría bimodal o multimodal programada para que ambos periodos de lactancia ocurran durante la temporada de lluvias (e.g., *Epomops buettikoferi*; [Kofron y Chapman 1994](#)).

En esta revisión, se evidencian los efectos de la variabilidad de la precipitación en la reproducción de los murciélagos. [O'Shea et al. \(2011\)](#), estudiaron las diferencias en la reproducción de murciélagos entre un año con una primavera seca y el siguiente con una primavera húmeda en el Parque Nacional Mesa Verde, Colorado, USA, observando que los aumentos de precipitación dieron como resultado condiciones más favorables para la reproducción. En un estudio sobre los factores que influyen en las tasas reproductivas de los murciélagos frugívoros en el bosque Atlántico Brasileño, [de Carvalho et al. \(2019\)](#) observaron que las tasas de reproducción eran más altas en la estación de lluvias que en la estación de seca, sugiriendo que estos hallazgos probablemente se deban a la disponibilidad de alimentos y otros recursos.

Como parte de los efectos del cambio climático se esperan aumentos en la frecuencia y severidad de las sequías en diferentes regiones del mundo, teniendo un impacto negativo en los eventos reproductivos, provocando disminución de las poblaciones debido a fallas reproductivas recurrentes ([Amorim et al. 2015](#)); además, debido a que las hembras lactantes requieren altas tasas de consumo de agua ([Adams y Hayes 2008](#)), la reducción en su disponibilidad disminuye su éxito reproductivo ([Adams 2010](#)). [O'Shea et al. \(2010\)](#) observaron una menor supervivencia de crías durante el primer año en murciélagos nacidos durante un año de sequía. [Amorim et al. \(2015\)](#) evaluaron el impacto de un evento severo de sequía sobre el éxito reproductivo de *Tadarida teniotis*, observaron que las hembras gestantes o lactantes y la proporción de juveniles fueron significativamente menores bajo esas condiciones, sugiriendo que la sequía puede perjudicar la reproducción de *T. teniotis* al reducir los recursos alimentarios durante la pre-reproducción.

Temperatura y precipitación. A medida que cambia el clima, es probable que los murciélagos se vean afectados

por los cambios en la temperatura y precipitación. Estos cambios podrían conducir a una disminución en la cantidad de murciélagos que pueden reproducirse, lo que podría tener un impacto negativo en sus poblaciones ([O'Shea et al. 2011](#)). En murciélagos insectívoros, cuando las condiciones ambientales eran más cálidas y secas que el promedio de la región Occidental de Norteamérica, se observó reducción de la fertilidad, mayor mortalidad, reproducción retrasada y tasas de natalidad más bajas ([Adams 2010](#)). Por otra parte, en el murciélago insectívoro *Myotis daubentonii*, [Lucàn et al. \(2013\)](#) identificaron que el éxito reproductivo disminuyó en años con mayores precipitaciones y que el aumento de las temperaturas en primavera puede tener una influencia beneficiosa en la dinámica de sus poblaciones, ya que los partos más tempranos se relacionaron positivamente con la supervivencia de los murciélagos juveniles, aunque la mayor incidencia de los climas extremos, como lluvias excesivas en verano, puede disminuir en gran medida este efecto.

[Burles et al. \(2009\)](#) en el noroeste del Pacífico de Canadá, estudiaron los efectos del fenómeno meteorológico El Niño-La Niña, que dio lugar a climas contrastantes en dos años seguidos en los murciélagos *Myotis lucifugus* y *Myotis keenii*. Se observó que las bajas temperaturas y alta humedad dieron lugar a gestaciones prolongadas, retraso en el nacimiento de crías y disminución en los eventos reproductivos en *M. lucifugus*; por otra parte, *M. keenii* presentó gestaciones más cortas, nacimiento más temprano de las crías y sus eventos reproductivos no se vieron alterados.

Conclusiones. Es difícil generalizar los efectos de la variabilidad de temperatura y precipitación causadas por el cambio climático sobre la reproducción de los murciélagos, ya que éstos presentan una biología reproductiva muy diversa, sus ciclos reproductivos están influenciados por diferentes factores ambientales, de tal forma que la presentación de un ciclo reproductivo en una determinada especie puede variar según las condiciones ambientales ([Zortéa 2003](#); [Reusch et al. 2019](#); [Linton y Macdonald 2020](#)). Además, son capaces de detener, retrasar o acelerar eventos reproductivos en respuesta a la disponibilidad de alimento y variables climáticas.

En esta revisión, se evidencia la capacidad de algunas especies de murciélagos para modificar su patrón reproductivo en respuesta a diferentes condiciones climáticas, por lo que pudieran ser considerados como indicadores de los efectos del cambio climático ([Russo et al. 2021](#)); sin embargo, no se pueden hacer generalizaciones, ya que se han demostrado diferencias intra e interespecíficas en la capacidad para maximizar su éxito reproductivo. Se requiere de mayor investigación que aborde de manera directa los efectos de las variables climáticas sobre los eventos reproductivos en las especies tanto de zonas tropicales como templadas, debido a la gran diversidad de especies del orden Chiroptera, así como la diversidad en su biología reproductiva y la capacidad que tienen para adaptarse a diferentes condiciones ambientales.

Literatura citada

- ADAMS, R. A. 2010. Bat reproduction declines when conditions mimic climate change projections for western North America. *Ecology* 91:2437-2445.
- ADAMS, R. A., Y M. HAYES. 2008. Water availability and successful lactation by bats as related to climate change in arid regions of western North America. *Journal of Animal Ecology* 77:1115-1121.
- AMORIM, F., ET AL. 2015. Effects of a drought episode on the reproductive success of European free-tailed bats (*Tadarida teniotis*). *Mammalian Biology* 80:228-236.
- ARANDAS, M. J., ET AL. 2019. Seasonal influence on testicular morphophysiological parameters of bat *Carollia perspicillata* in fragments of the Atlantic Forest, northeastern Brazil. *Pesquisa Veterinária Brasileira* 39:429-433.
- ARLETTAZ, R., ET AL. 2001. Food availability dictates the timing of parturition in insectivorous mouse-eared bats. *Oikos* 95:105-111.
- AUTINO, A. A., Y R. BARQUEZ. 1994. Patrones de alimentación y reproducción de *Sturnira lilium* y *Sturnira erythromos* (Mammalia, Chiroptera). *Mastozoología Neotropical* 1:73-80.
- BATES, B. C., ET AL. (EDS.). 2008. El Cambio Climático y el Agua. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Secretaría del IPCC. Ginebra, Suiza.
- BERNARD, R. T. F. 1982. Monthly changes in the female reproductive organs and the reproductive cycle of *Myotis tricolor* (Vespertilionidae: Chiroptera). *South African Journal of Zoology* 17:79-84.
- BERNARD, R. T. F., Y G. CUMMING. 1997. African bats: Evolution of reproductive patterns and delays. *The Quarterly Review of Biology* 72:253-274.
- BURLES, D. W., ET AL. 2009. Influence of weather on two insectivorous bats in a temperate Pacific Northwest rainforest. *Canadian Journal of Zoology* 87:132-138.
- DE CARVALHO, W. D., ET AL. 2019. Reproductive constraints in frugivorous phyllostomid bats: seasonal and elevational variation in reproductive rates in the Brazilian Atlantic Forest. *Journal of Mammalogy* 100:487-499.
- FESTA, F., ET AL. 2023. Bat responses to climate change: a systematic review. *Biological Reviews* 98:19-33.
- FRICK, W. F., ET AL. 2020. A review of the major threats and challenges to global bat conservation. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1469:5-25.
- HAPPOLD, D. C. D., Y M. HAPPOLD. 1990. Reproductive strategies of bats in Africa. *Journal of Zoology* 222:557-583.
- HEIDEMAN, P. D. 2000. Environmental regulation of reproduction. Pp. 469-499 in *Reproductive Biology of Bats* (Crichton, E. G., y P. H. Krutzsch, eds.). Academic Press. London, United Kingdom.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2021. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Masson-Delmotte, V. P., et al., eds.). Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, EE.UU.
- JONES, G., ET AL. 2009. Carpe noctem: the importance of bats as bioindicators. *Endangered Species Research* 8:93-115.
- KOFRON, C. P., Y A. CHAPMAN. 1994. Reproduction and sexual dimorphism of the West African fruit bat, *Epomops buettikoferi*, in Liberia. *African Journal of Ecology* 32:308-316.
- KRUTZSCH, P. H. 2000. Anatomy, physiology and cyclicity of the male reproductive tract. Pp. 91-156 in *Reproductive Biology of Bats* (Crichton, E. G., y P. H. Krutzsch, eds.). Academic Press. London, United Kingdom.
- LAVAL, R. K. 2004. Impact of global warming and locally changing climate on tropical cloud forest bats. *Journal of Mammalogy* 85:237-244.
- LINTON, D. M., Y D. W. MACDONALD. 2020. Phenology of reproductive condition varies with age and spring weather conditions in male *Myotis daubentonii* and *M. nattereri* (Chiroptera: Vespertilionidae). *Scientific Reports* 10:6664.
- LOEB, S. C., Y E. A. WINTERS. 2013. Indiana bat summer maternity distribution: effects of current and future climates. *Ecology and Evolution* 3:103-114.
- LORD, R. D. 1992. Seasonal reproduction of vampire bats and its relation to seasonality of bovine rabies. *Journal of Wildlife Diseases* 28:292-294.
- LUCAN, R. K., ET AL. 2013. Contrasting effects of climate change on the timing of reproduction and reproductive success of a temperate insectivorous bat. *Journal of Zoology* 290:151-159.
- LUNDY, M. G., ET AL. 2010. Climate change-linked range expansion of Nathusius' pipistrelle bat, *Pipistrellus nathusii* (Keyserling & Blasius, 1839). *Journal of Biogeography* 37:2232-2242.
- MELLO, M. A. R., ET AL. 2004. A test of the effects of climate and fruiting of *Piper* species (Piperaceae) on reproductive patterns of the bat *Carollia perspicillata* (Phyllostomidae). *Acta Chiropterologica* 6:309-318.
- MELLO, M. A. R., ET AL. 2009. Ambient temperature is more important than food availability in explaining reproductive timing of the bat *Sturnira lilium* (Mammalia: Chiroptera) in a montane Atlantic Forest. *Canadian Journal of Zoology* 87:239-245.
- MISTRY, S., Y A. MORENO-VALDEZ. 2008. Climate change and bats. Vampire bats offer clues to the future. *BATS. Bat Conservation International* 26:8-13.
- MOLLHAGEN, T., Y M. BOGAN. 1997. Bats of the Henry Mountains region of southeastern Utah. *Occasional Papers Museum of Texas Tech University* 170:1-13.
- O'SHEA, T. J., ET AL. 2010. Recruitment in a Colorado population of big brown bats: breeding probabilities, litter size, and first-year survival. *Journal of Mammalogy* 91:418-428.
- O'SHEA, T. J., ET AL. 2011. Adult survival and population growth rate in Colorado big brown bats (*Eptesicus fuscus*). *Journal of Mammalogy* 92:433-443.
- PARRIS, K. M., Y D. HAZELL. 2005. Biotic effects of climate change in urban environments: The case of the grey-headed flying-fox (*Pteropus poliocephalus*) in Melbourne, Australia. *Biological Conservation* 124:267-276.
- RACEY, P. A., Y A. ENTWISTLE. 2000. Life history and reproductive strategies of bats. Pp. 363-414 in *Reproductive Biology of Bats* (Crichton, E. G., y P. H. Krutzsch, eds.). Academic Press. London, United Kingdom.
- REBELO, H., ET AL. 2010. Predicted impact of climate change on European bats in relation to their biogeographic patterns. *Global Change Biology* 16:561-576.
- REUSCH, C., ET AL. 2019. Differences in seasonal survival suggest species-specific reactions to climate change in two sympatric bat species. *Ecology and Evolution* 9:7957-7965.

- RUSSO, D., ET AL. 2021. Do We Need to Use Bats as Bioindicators? *Biology* 10:693.
- SACHANOWICZ, K., ET AL. 2006. Further range extension of *Pipistrellus kuhlii* (Kuhl, 1817) in central and eastern Europe. *Acta Chiropterologica* 8:543-548.
- SALDAÑA-VÁZQUEZ, R., ET AL. 2019. Ambient temperature drives sex ratio and presence of pregnant females of *Anoura geoffroyi* (Phyllostomidae) bats living in temperate forests. *Journal of Mammalogy* 101:234-240.
- SERDÁ, E., Y S. QUIROGA. 2020. Cambio climático y recursos hídricos ¿Qué dicen los organismos internacionales? *Documento de Trabajo* 16:1-46.
- SHERWIN, H. A., ET AL. 2013. The impact and implications of climate change for bats. *Mammal Review* 43:171-182.
- THOMAS, D. W., Y A. MARSHALL. 1984. Reproduction and growth in three species of West African fruit bats. *Journal of Zoology* 202:265-281.
- TURNER, D. C. 1975. The vampire bat: A field study in behavior and ecology. The Johns Hopkins University Press. Baltimore, EE.UU.
- WELBERGEN, J. A., ET AL. 2008. Climate change and the effects of temperature extremes on Australian flying-foxes. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 275:419-425.
- ZORTEÁ, M. 2003. Reproductive patterns and feeding habits of three nectarivorous bats (Phyllostomidae: Glossophaginae) from the Brazilian Cerrado. *Brazilian Journal of Biology* 63:159-168.

Editora asociada: Gloria Tapia Ramírez.

Sometido: Marzo 27, 2023; Revisado: Junio 15, 2023.

Aceptado: Junio 27, 2023; Publicado en línea: Septiembre 13, 2023.

Apéndice 1

Literatura adicional que aborda el efecto de la variabilidad climática en la temperatura y precipitación causada por el cambio climático en la reproducción de murciélagos y que fue considerada en el estudio.

- AGUIAR, L. M. ET AL. 2016. Should I stay or should I go? Climate change effects on the future of Neotropical savannah bats. *Global Ecology and Conservation* 5:22-33.
- BERGESON, S. M., ET AL. 2021. Free-ranging bats alter thermoregulatory behavior in response to reproductive stage, roost type, and weather. *Journal of Mammalogy* 102:705-717.
- BESLER, N. K., Y H. G. BRODERS. 2019. Combinations of reproductive, individual, and weather effects best explain torpor patterns among female little brown bats (*Myotis lucifugus*). *Ecology and Evolution* 9:5158-5171.
- BRONSON, F. H. 2009. Climate change and seasonal reproduction in mammals. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364:3331-3340.
- ERICKSON, J. L., Y S. D. WEST. 2002. The influence of regional climate and nightly weather conditions on activity patterns of insectivorous bats. *Acta Chiropterologica* 4:17-24.
- FRICK, W. F., ET AL. 2010. Influence of climate and reproductive timing on demography of little brown myotis *Myotis lucifugus*. *Journal of Animal Ecology* 79:128-136.
- FRICK, W. F., ET AL. 2012. Climate and weather impact timing of emergence of bats. *PLoS ONE* 7:e42737.
- HAYES, M. A., Y R. A. ADAMS. 2017. Simulated bat populations erode when exposed to climate change projections for western North America. *PLoS ONE* 12:e0180693.
- NEWSON, S. E., ET AL. 2009. Indicators of the impact of climate change on migratory species. *Endangered Species Research* 7:101-113.
- RINTOUL, J. L., Y R. M. BRIGHAM. 2014. The influence of reproductive condition and concurrent environmental factors on torpor and foraging patterns in female big brown bats (*Eptesicus fuscus*). *Journal of Comparative Physiology B* 184:777-787.
- SYME, D. M., ET AL. 2001. Roosts and food supplies ameliorate the impact of a bad summer on reproduction by the bat, *Myotis lucifugus* LeConte (Chiroptera: Vespertilionidae). *Ecology* 82:18-25.
- WILLIS, C. K., Y R. M. BRIGHAM. 2005. Physiological and ecological aspects of roost selection by reproductive female hoary bats (*Lasiurus cinereus*). *Journal of Mammalogy* 86:85-94.