



Imágenes de: José Ignacio Olave Leyva,
Nidia Aréchiga Ceballos

La rabia paralítica bovina en el estado de Tamaulipas desde la perspectiva de la distribución de su principal reservorio, el vampiro común (*Desmodus rotundus*)

Bovine paralytic rabies in the state of Tamaulipas from the perspective of the distribution of its main reservoir, the common vampire bat (*Desmodus rotundus*)

José Ignacio Olave-Leyva^{1,2}, Julio Martínez-Burnes¹, Leroy Soria-Díaz^{1,3}, Álvaro Aguilar-Setién⁴, Nidia Aréchiga-Ceballos⁵

RESUMEN

La rabia es la zoonosis con mayor impacto sobre herbívoros domésticos, provocando en América Latina pérdidas económicas de aproximadamente 97 millones de dólares anuales. En esta región, el vampiro común (*Desmodus rotundus*) es un reservorio del virus de la rabia y se considera su principal transmisor al ganado. El objetivo de este estudio fue analizar la progresión de la rabia paralítica bovina (RPB) y su asociación con la presencia y distribución de *D. rotundus* en Tamaulipas, México, en función de factores ambientales (características ecológicas y geográficas) que lo favorecen. Se analizó la distribución anual de casos detectados de RPB en Tamaulipas por municipio durante 1999 a 2020. La distribución espacial del murciélago *D. rotundus* se estudió considerando las características biológicas de la especie, así como las de Tamaulipas. La RPB, asociada a *D. rotundus* mediante tipificación de la variante antigénica del virus, se presentó en 28 de los 43 municipios que comprende el estado, con marcada tendencia a expandirse desde el sur hacia el norte de la entidad. La ecorregión bosque húmedo veracruzano concentró el mayor número de casos de RPB y presencia del vampiro, ambos factores se vieron influenciados por diferentes tipos de vegetación como áreas agrícolas, pastizales y selvas. La tendencia observada en los últimos 10 años, de avanzar hacia el norte del estado de parte de *D. rotundus* y los brotes de casos de RPB en esas zonas, sugieren la posibilidad de que la especie expanda su distribución hacia los Estados Unidos de América, país actualmente considerado libre de la presencia del organismo, principalmente hacia el estado vecino de Texas, debido a que sus características geográficas y ecológicas son similares a las de la entidad analizada.

PALABRAS CLAVE: cambio climático, *Desmodus rotundus*, rabia, Tamaulipas, zoonosis.

ABSTRACT

Rabies is the zoonosis with the most significant impact on domestic herbivores, causing economic losses of approximately 97 million dollars annually in Latin America. In this region, the common vampire (*Desmodus rotundus*) is a reservoir of the rabies virus and is considered its main transmitter to livestock. The objective of this study was to analyze the progression of bovine paralytic rabies (BPR) and its association with the presence and distribution of *D. rotundus* in Tamaulipas, Mexico, focusing on the environmental factors (ecological and geographical characteristics) that favor it. Municipalities' annual distribution of detected cases of BPR in Tamaulipas from 1999 to 2020 was analyzed. The spatial distribution of the bat *D. rotundus* was studied considering the biological characteristics of the species, as well as those of Tamaulipas. BPR, associated with *D. rotundus* through typification of the antigenic variant of the virus, occurred in 28 of the 43 municipalities comprising the state, with a marked tendency to expand itself from the south to the north. The Veracruz humid forest ecoregion concentrated the highest number of cases of BPR and the presence of the vampire. Both factors were influenced by different types of vegetation, such as agricultural areas, pastures, and jungles. The trend observed in the last 10 years of advancing towards the north of the state on the part of *D. rotundus* and the outbreaks of RPB cases in those areas suggests that the species is likely to expand its distribution to the United States of America, a country currently considered free of the presence of the organism, mainly to the neighboring state of Texas, because its geographical and ecological characteristics are similar to those of the state analyzed.

KEYWORDS: climate change, *Desmodus rotundus*, rabies, Tamaulipas, zoonoses.

*Correspondencia: nidia.arechiga@salud.gob.mx/Fecha de recepción: 21 de mayo de 2024/Fecha de aceptación: 15 de noviembre de 2024/Fecha de publicación: 24 de enero de 2025.

¹Universidad Autónoma de Tamaulipas, Instituto de Ecología Aplicada, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, C. P. 87019. ²Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Agropecuarias, área Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Hidalgo, México, C. P. 43775. ³Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, C. P. 8727. ⁴Universidad Nacional Autónoma de México, Unidad de Posgrado, Coyoacán, Ciudad de México, México, C. P. 04510. ⁵Secretaría de Salud, Dirección General de Epidemiología, Instituto de Diagnóstico y Referencia Epidemiológicos, Francisco de P. Miranda, núm. 157, col. Unidad Lomas de Plateros, Alcaldía Álvaro Obregón, Ciudad de México, México, C. P. 01480.

INTRODUCCIÓN

La mayoría de las enfermedades infecciosas emergentes y reemergentes que afectan al ser humano son zoonóticas y están causadas por virus originarios de mamíferos silvestres (Olivall y col., 2017). Las zoonosis víricas son una grave amenaza para la salud pública y la seguridad mundial, y han causado la mayoría de las pandemias recientes, como lo fue la de COVID-19 (Jori y col., 2021).

La rabia paralítica bovina (RPB) es una de las enfermedades zoonóticas con mayor impacto sobre los herbívoros domésticos, con una mortalidad de alrededor de 100 000 individuos por año y que provoca pérdidas económicas anuales de 97 millones de dólares en América Latina (Benavides y col., 2020). Es causada por el virus de la rabia, y fue descrita por primera vez en el continente americano a mediados del siglo XX. Los murciélagos conocidos como vampiros comunes (*Desmodus rotundus*) son de gran importancia en la transmisión a otras especies (Acha y col., 1968; Battalla-Campero y Flores-Crespo, 1998).

Actualmente, están descritas más de 1 400 especies de murciélagos en el mundo, de las cuales únicamente tres tienen hábitos hematofagos (Burgin y col., 2018; Simmons y Cirraneillo, 2022). En México, existen cerca de 140 especies de este grupo de mamíferos, incluyendo las tres especies hematofagas (Sil-Berra y col., 2022): *Diaemus youngi* (murciélago vampiro de alas blancas) y *Diphylla ecaudata* (murciélago de patas peludas) presentan hábitos alimenticios especializados, consumiendo preferencialmente sangre fresca de aves (Scheffer y col., 2015), y el vampiro común *D. rotundus*, la única con una participación importante en la epidemiología del virus de la rabia, ya que su fuente primaria de alimento es la sangre de mamíferos.

En Latinoamérica, *D. rotundus* es el principal reservorio y transmisor del virus rábico que afecta al ganado y al ser humano (Brown y Escobar, 2023). Habita en zonas tropicales y subtropicales del continente, por la vertiente

del Pacífico desde el sur de Sonora; y por el lado del Golfo de México, desde el noreste de Tamaulipas y Nuevo León; hacia el sur, llega hasta el sur de Chile, norte de Argentina y Uruguay. También se puede encontrar en las islas Margarita y Trinidad y Tobago. Dentro de los factores ambientales que influyen en la distribución de *D. rotundus* y el riesgo de rabia a gran escala espacial se incluyen la temperatura, la altitud y la precipitación (Botto-Nuñez y col., 2020). Actualmente, existe la preocupación de que el cambio climático facilite la llegada de esta especie al sur de Estados Unidos de América (EUA) (Bodenchuk y Bergman, 2020).

La presencia de *D. rotundus*, su capacidad como reservorio del virus rábico (RVR), así como sus hábitos alimenticios, son los principales factores de riesgo para que la rabia sea transmitida en las especies ganaderas y el ser humano (Meza y col., 2022; Viana y col., 2023). En México, del 2000 al 2022 se han reportado 50 casos de rabia humana, de los cuales 44 (88 %) fueron transmitidos por animales silvestres (quirópteros y zorrillos principalmente) y solo cuatro (8 %) por perro y dos por gato (4 %) (Aréchiga-Ceballos y col., 2022).

En el estado de Tamaulipas se distribuyen, de manera natural, 57 especies de murciélagos (Arriaga-Flores, 2010), entre las cuales están presentes las tres especies hematofagas *D. youngi*, *D. ecaudata* y *D. rotundus*, este último, considerado el principal RVR que afecta a las especies ganaderas. La ganadería es una de las actividades económicas más importantes en el estado y se caracteriza por la crianza de ganado bovino, de acuerdo con el Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP-SIACON, 2023).

En Tamaulipas, la actividad ganadera enfocada a la crianza de ganado bovino se desarrolla en 28 municipios principalmente y, en el año 2021, contaba con una población total de 1 210 055 cabezas de ganado bovino provenientes de 17 924 unidades de producción (SIAP-SIACON, 2023). Los municipios

que destacan por su producción de carne de bovino son: Jiménez, Soto La Marina, Aldama, González, Ciudad Victoria y Altamira. El ganado ovino también representa una fuente de ingresos en Tamaulipas, con San Fernando, Méndez, Reynosa, Hidalgo, Ciudad Victoria, Villagrán y Burgos, como los principales municipios productores. Además, existe un gran potencial para la crianza de especies zootécnicas en la zona semiárida y árida del estado, especialmente el ganado caprino, que se adapta bien a las condiciones de vegetación y clima en la región del altiplano y el valle de San Fernando. En el 2022, Tamaulipas obtuvo una producción de 46 166 T de carne de bovino, 1 464 T de carne de ovino y 1 525 T carne de caprino (Gobierno del Estado de Tamaulipas, 2023).

El primer registro de rabia en bovinos en Tamaulipas confirmado por laboratorio fue en 1994, como consecuencia de un brote que se produjo en un rancho ganadero cercano a la localidad de Aldama, situada a unos 340 km al sur de la frontera de Texas, EUA., y a 10 km del Golfo de México. Los signos clínicos en el ganado afectado consistían en fiebre, fotofobia, ptialismo, incoordinación, seguida de postración, parálisis y pérdida de sensibilidad cutánea. El diagnóstico se realizó por histopatología e inmunofluorescencia directa (IFD) (la prueba estándar de oro). Los resultados del estudio de laboratorio confirmaron que la especie transmisora fue el murciélago vampiro, mediante la caracterización a través de un panel de anticuerpos monoclonales, identificando una variante del virus rábico, por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y Texas Department of Health en Austin, Texas, EUA (Martínez-Burnes y col., 1997).

Dado que la rabia no se había presentado en la zona en los últimos 25 años (desde 1994), no se practicaba la vacunación, a pesar de que los murciélagos vampiro eran comunes en la región (Batalla-Campero y Flores Crespo, 1998). A partir del primer brote de rabia

bovina se declaró la circulación del virus rábico en las poblaciones de murciélagos hematófagos en Tamaulipas, la cual se ha registrado desde el sur del estado hacia la parte centro, norte y noreste de Tamaulipas (Martínez-Burnes y col., 1997).

Al ser la RPB una enfermedad de reporte obligatorio en el estado de Tamaulipas, le corresponde tomar acciones al Comité Para el Fomento y Protección Pecuaria de Tamaulipas A. C. (CFPPT), organismo auxiliar de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) y del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). El CFPPT, opera la “Campana Nacional para la Prevención y control de la rabia en bovinos y especies ganaderas”, de acuerdo a la NOM-067-ZOO-2007 (2007), realizando dos actividades sustantivas; la vacunación del ganado y atención de casos, así como los operativos para el control del tamaño de población de *D. rotundus*, mediante las capturas realizadas por personal capacitado. Las capturas pueden ser programadas o asociadas a un caso sospechoso de rabia; se realizan en refugio y en corral, utilizando redes de niebla. Los murciélagos hematófagos capturados son identificados e impregnados con un ungüento vampiricida, para después ser liberados, con el objetivo de controlar el tamaño de la población; lo cual sucede cuando el organismo liberado contamina con el ungüento a otros especímenes por contacto, quienes a su vez lo ingerirán mediante acciones de limpieza de su cuerpo, lo que causa la muerte en un lapso de 3 a 5 días debido al efecto anticoagulante. Esta técnica se realiza desde la década de los años 70 en México (Flores-Crespo, 1998).

De acuerdo con la base de datos generada por el sistema de información sobre biodiversidad GBIF.org (2021) (GBIF, por sus siglas en inglés: Global Biodiversity Information Facility), en Tamaulipas, los registros de *D. rotundus* en el periodo de 1949 a 2007 fueron de 445 individuos, distribuidos en los municipios de Gómez Farías, Antiguo Morelos, Ciudad Victoria, Jaumave, Llera de Canales,

Mante, Soto la Marina, González, Padilla, Matamoros, San Nicolás y San Carlos. Sus informes indican la presencia de *D. rotundus* en el estado antes de que se originaran los primeros brotes de rabia en el ganado transmitidos por esta especie.

En el año 2016, en el municipio de Soto La Marina (Ejido 8 de mayo), Tamaulipas, México, se registró el único caso de rabia humana transmitido por vampiro. La agresión la sufrió un hombre de 39 años, en la rodilla derecha, el día 5 de septiembre, y tras padecer un cuadro clínico complicado y recibir tratamiento antirrábico (vacuna e inmunoglobulina antirrábica humana) cuando ya había comenzado el cuadro clínico, el paciente falleció el día 19 de octubre. El Laboratorio Estatal de Salud Pública del Estado de Tamaulipas (LESP) reportó resultado positivo de muestra encefálica el 21 de octubre por IFD, y el Laboratorio de Rabia del Instituto de Diagnóstico y Referencia Epidemiológica (InDRE) caracterizó el caso con la variante antigénica 11 (AgV11, por sus siglas en inglés: antigenic variants), cuyo reservorio es el murciélago vampiro *D. rotundus* (SSA, 2020; SIRVERA, 2024).

El objetivo del presente estudio fue describir y analizar la historia de la progresión de la rabia paralítica bovina, la distribución de su principal reservorio (*D. rotundus*) en el estado de Tamaulipas, así como de algunos factores ambientales que favorecen la presencia de esta especie y la transmisión de la enfermedad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 2023), Tamaulipas tiene un territorio de 80 175 km². Se divide en 43 municipios, con una población de 3 527 735 habitantes. Está situado en la región noreste de México; al norte de la llanura costera del golfo y en la Sierra Madre Oriental, entre las coordenadas 24°17'14" N y 98°33'48" W; colinda por el norte con el Río Bravo que lo separa de los EUA.; por el este con el Golfo de México (océano Atlántico);

por el oeste con Nuevo León; al sur con Veracruz; y suroeste con San Luis Potosí.

El 58 % del estado presenta clima cálido subhúmedo, el 38 % clima seco y semi-seco en el centro, el norte y hacia el suroeste del estado; el 2 % es templado subhúmedo en la región suroeste, y el 2 % presenta clima cálido húmedo localizado hacia el suroeste. La temperatura media anual es alrededor de 23.5 °C, la temperatura máxima promedio de 22 °C y se registra en los meses de junio a agosto. La temperatura mínima promedio es de 10 °C y se presenta en el mes de enero. La precipitación media estatal es de 780 mm anuales, las lluvias se registran en verano en los meses de junio a septiembre (INEGI, 2023).

Análisis eco-epidemiológicos

Los registros de presencia de *D. rotundus* se obtuvieron a través del GBIF, SENASICA y de registros generados en los operativos realizados por el CFPPT para la prevención y control de la rabia, y el murciélago hematófago, de acuerdo a la NOM-067-ZOO-2007 (2007), "Campaña Nacional para la Prevención y control de la rabia en bovinos y especies ganaderas". Posteriormente, los reportes de avistamientos georreferenciados fueron filtrados siguiendo a Cobos y col. (2019), eliminando duplicados, posibles errores de identificación o incertidumbre en las coordenadas, implementando un umbral espacial (*spatial thin*) de 5 km.

Con la base de datos del Laboratorio de Rabia del InDRE y la generada en este estudio, se relacionaron los casos positivos a rabia en bovinos que fueron agredidos por *D. rotundus*, y se seleccionaron aquellos que contaran con datos de la localidad, y que se les haya determinado la AgV. La caracterización antigénica es una técnica de inmunofluorescencia indirecta que emplea un panel de anticuerpos monoclonales y se aplica en muestras de interés epidemiológico, para determinar la especie reservorio más probable en cada brote (Smith, 1989; Smith y col., 1992).

Análisis de datos

Mediante estadística descriptiva, generando gráficas, se analizó la distribución de los casos de rabia en bovinos en Tamaulipas en dos periodos, de 1999 a 2010 y 2011 a 2020; y de la distribución de los registros de presencia de *D. rotundus* en el estado de 1987 a 2019.

En Tamaulipas se han descrito siete ecorregiones, que son unidades geográficas con flora, fauna y ecosistemas característicos (Olson y col., 2001): matorral de la meseta central, manglares mesoamericanos del golfo y el Caribe, bosque de pino y encino de la Sierra Madre Oriental, matorral tamaulipeco, mezquital tamaulipeco, bosque húmedo Veracruzano y pastizales costeros del golfo occidental; pero debe considerarse que, en todas ellas es probable que exista un cambio en el uso de suelo para desarrollo de actividades antropogénicas. En el presente estudio, se realizó una descripción de sus características ecológicas y geográficas relacionadas con la presencia de *D. rotundus* y los casos de RPB en Tamaulipas.

Se utilizó, además, un Sistema de Información Geográfica (SIG) y se realizó una unión espacial de la base de datos de los registros de *D. rotundus* y los casos de RPB generados en este estudio, con los de la capa de la VI carta del uso de suelo y vegetación de Tamaulipas (INEGI, 2016) y las ecorregiones terrestres de Olson y col. (2001). Esto permitió observar la ubicación geográfica de los registros de *D. rotundus* y los casos de RPB, asociada a las características ambientales (ecorregiones y tipo de vegetación), a partir del método divisible de K medias generalizado para estimar el número de categorías y las observaciones que lo conforman.

Mediante el análisis de correlación índice de marginalidad media (OMI, por sus siglas en inglés: Outlying Mean Indexes), se compararon las condiciones ambientales promedio utilizadas para cada variable, con respecto a las condiciones promedio de cada sitio de evaluación (Dolédec y col., 2000). El OMI generó un nue-

vo sistema de referencia (eje), el cual refleja las condiciones ambientales de las observaciones que permite analizar las K medias y establecer su correlación. Finalmente, se asociaron la abundancia de los casos de RPB y la presencia de *D. rotundus* en cada uno de los sitios de observación, con las características ambientales mediante un análisis de correspondencia simple (AC) (Picard y col. 2012; Vargas-Vázquez y col., 2019). Se realizó una prueba de significancia estadística X^2 independiente para cada variable ambiental.

RESULTADOS

Distribución y evolución de la RPB en Tamaulipas

En el periodo 1999 a 2020, de acuerdo con los datos reportados por el CFPPT y SENASICA, se presentaron 579 casos de RPB en el estado (Figura 1), lo que representa una tasa de infección del 0.05 % para el periodo estudiado, más alta que la tasa de infección a nivel nacional, la cual, se considera del orden del 0.04 % (Thrusfield, 2005).

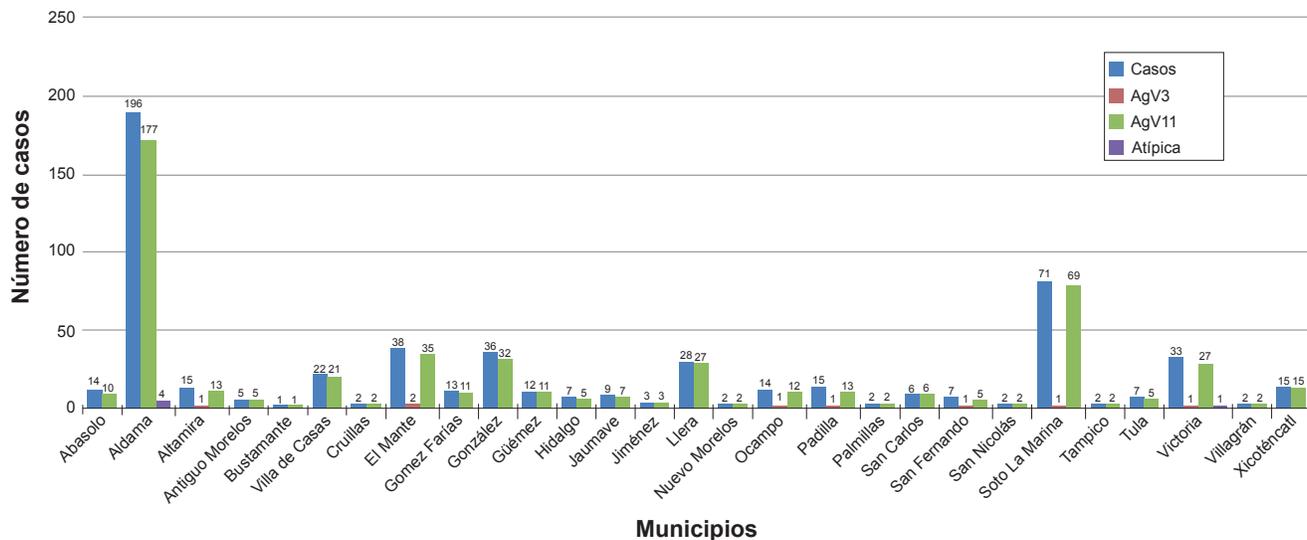
El InDRE logró tipificar las variantes antigénicas de 535 muestras de bovinos positivos a rabia, enviadas para su análisis en el periodo de 1999 a 2020 (44 muestras no tuvieron las condiciones para realizar la caracterización). Se establecieron 8 casos de infección con la variante AgV3 y 522 AgV11, ambas asociadas con *D. rotundus* como el reservorio natural (Figura 1). En el mismo periodo, el CFPPT reportó la existencia de 45 casos de rabia en otras especies ganaderas (sin reporte de la variante antigénica): 38 casos en equinos (6 %), 4 casos en ovinos (0.6 %) y 3 en caprinos (0.4 %), representando tasas de contagio muy bajas, en comparación con los casos que se presentaron en ganado bovino (93 %).

Los casos de RPB se distribuyeron en 28 municipios, con una variación en su incidencia, ya que durante el periodo 1999 a 2010 se registraron 375 casos, en tanto que, de 2011 a 2020 se presentaron solo 204 casos, indicando una disminución del 64.7 %, con un efecto de decremento de casos en 7 municipios (Figura 2).

La distribución de los casos también mostró afectación, con una marcada tendencia a expandirse, durante el segundo periodo, hacia municipios del norte del estado como Hidalgo, Cruillas y San Fernando, sugiriendo con ello, una migración del reservorio de la infección; también hubo un caso en el municipio de Bustamante, ubicado en el sur y que estuvo libre de casos en el primer periodo (Figuras 2 y 3).

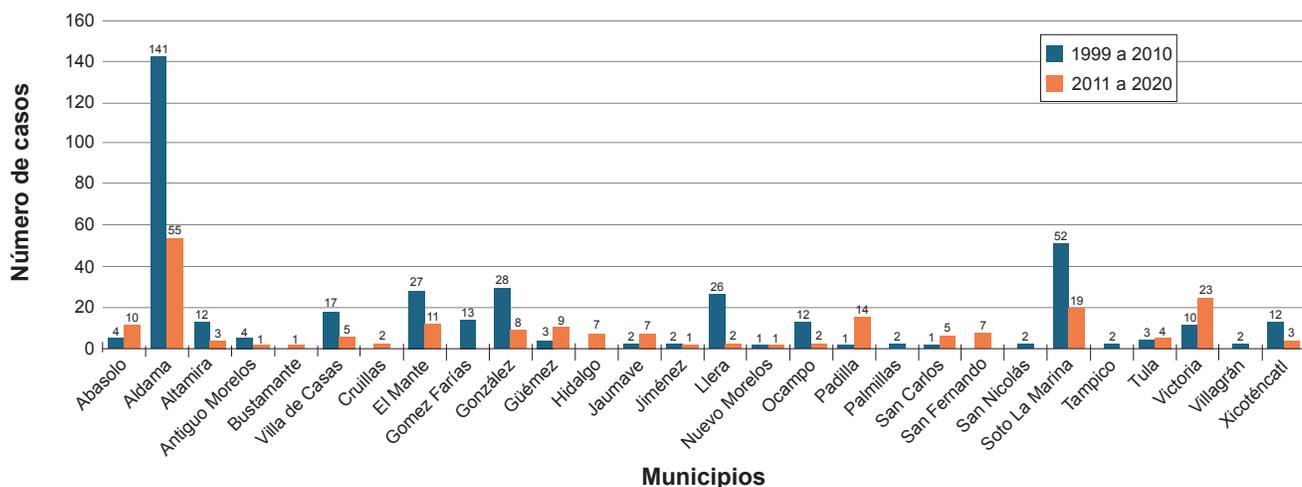
Asociación de la distribución de *D. rotundus* con los casos de RPB

Se cuenta con 409 registros confirmados y georreferenciados adecuadamente de la presencia de *D. rotundus*, distribuidos en 32 municipios, para el periodo de 1987 a 2019 (GBIF: 7; CFPPT: 183; y SENASICA: 219) (Figura 4) y 579 casos de RPB en el periodo 1999 a 2020, distribuidos en 28 municipios (CFPPT y SENASICA).



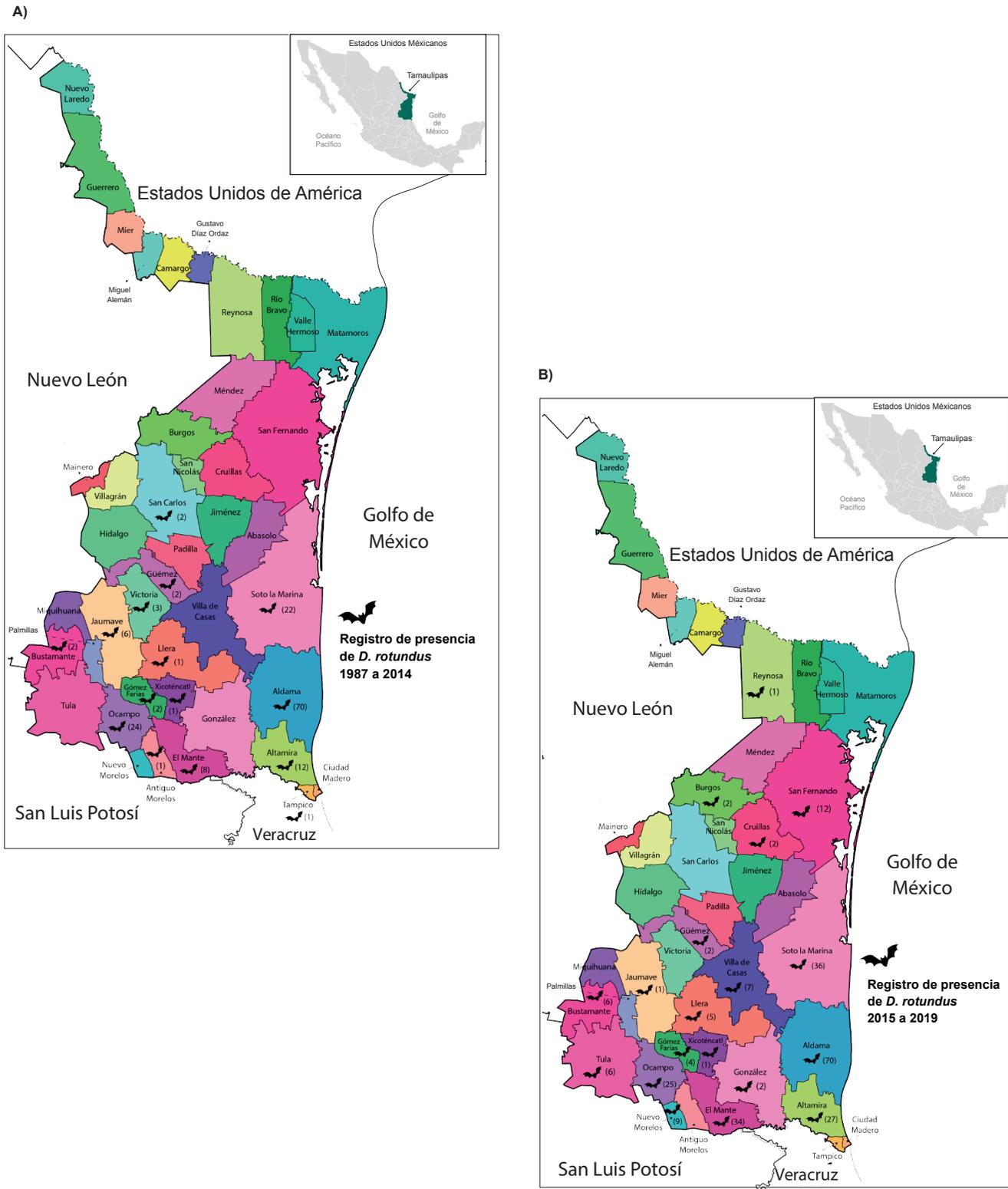
■ Figura 1. Casos de rabia paralítica bovina notificados en el estado de Tamaulipas por municipios tipificados con variante antigénica para el periodo 1999 a 2020 (CFPPT, SENASICA e InDRE).

Figure 1. Cases of bovine paralytic rabies reported by municipalities in the state of Tamaulipas classified with antigenic variation during the 1999 to 2020 period (CFPPT, SENASICA and INDR).



■ Figura 2. Casos de rabia paralítica bovina en los periodos de 1999 a 2010 y 2011 a 2020 y por municipio.

Figure 2. Cases of bovine paralytic rabies by municipality during the 1999 to 2010 and 2011 to 2020 periods.



■ Figura 4. Distribución de los registros georreferenciados que confirman la presencia de *D. rotundus* en Tamaulipas en los periodos: A) 1987 a 2014 y B) 2015 a 2019, donde se muestra que en el segundo periodo se notifican registros en los municipios de Burgos, San Fernando, Cruillas y Reynosa.

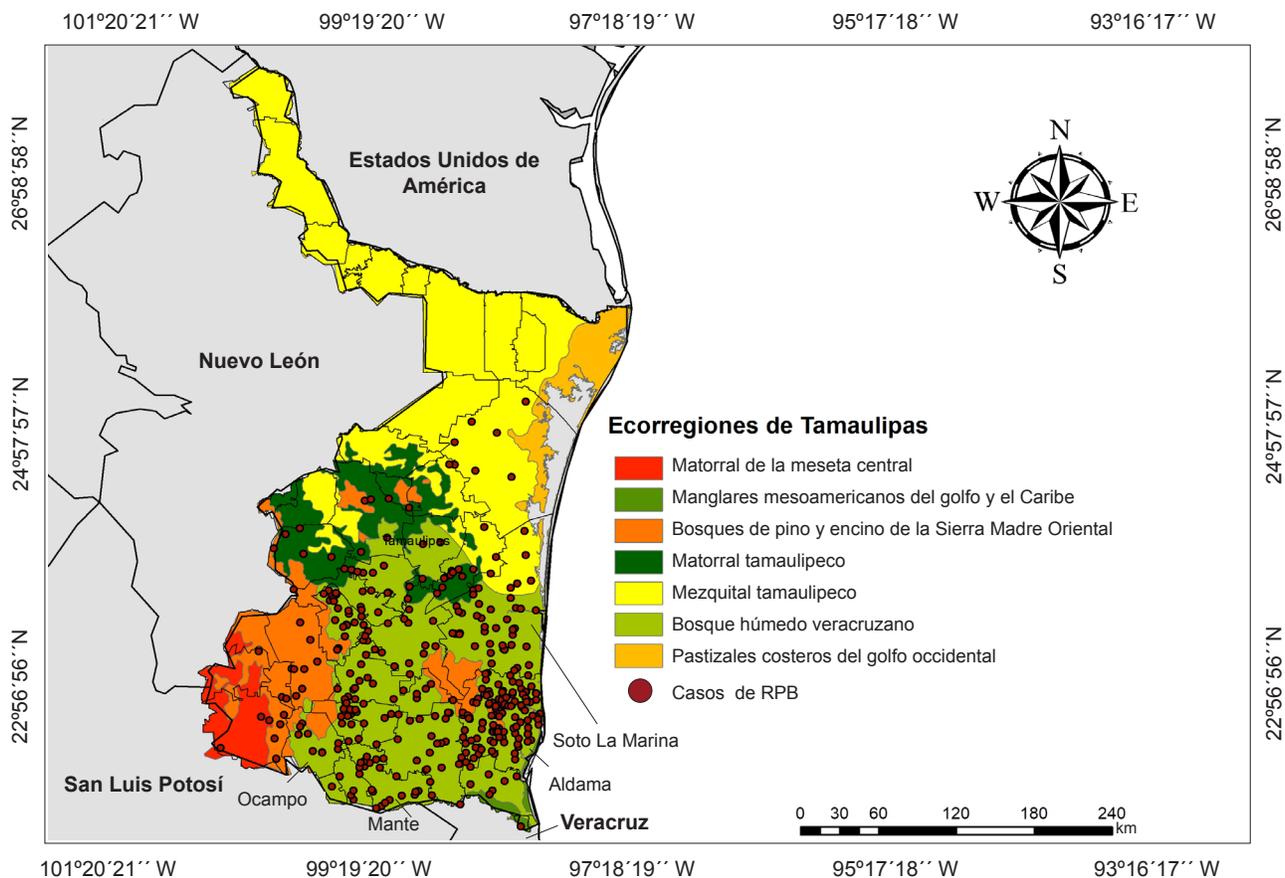
Figure 4. Distribution georeferenced records confirming presence of *D. rotundus* in Tamaulipas in the periods: A) 1987 to 2014 and B) 2015 to 2019, where it is shown that in the second period records are reported in the municipalities of Burgos, San Fernando, Cruillas and Reynosa.

En el mismo periodo, los operativos realizados por el CFPPT, como parte de las acciones de la Campaña para el control de las poblaciones de *D. rotundus*, permitieron registrar la presencia de *D. rotundus* en los municipios de Ciudad Madero, Méndez y Valle Hermoso, pero no fueron georreferenciados por lo que no se incluyeron en este trabajo. Es importante destacar que no existen reportes de RPB en esas 3 localidades.

Durante el periodo estudiado (1987 a 2019), el 73.23 % (424) del total de los casos de RPB, se registró en los municipios de Aldama (196), Soto La Marina (71), Mante (38), González (36), Victoria (33), Llera (28) y Villa de Casas (22) (Figuras 1 y 3). Localidades asociadas con una alta presencia del murciélago vampiro (Figura 4).

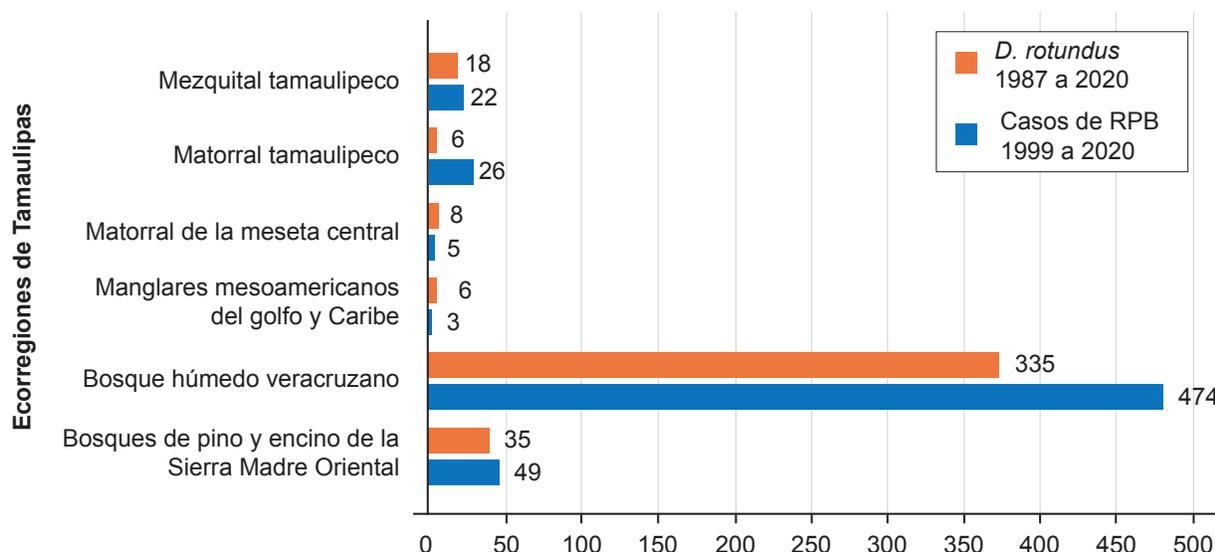
Incidencia de RPB y *D. rotundus* en función de ecorregiones

En la ecorregión del bosque húmedo veracruzano, ubicada hacia el sur del estado, se concentran los municipios con el mayor número de casos de RPB y presencia de *D. rotundus* (Aldama, Soto La Marina y Mante) (Figuras 5 y 6). Esta ecorregión se caracteriza por contar con selva baja caducifolia, bosque de encino, zonas agrícolas y pastizales cultivados. En ella se localizan también tres de los 4 municipios que forman parte de la reserva de la Biosfera “El Cielo”, Ocampo, Llera y Gómez Farías. En este último, en el ejido San José, se ha reportado por foto trampeo a *D. rotundus* alimentándose principalmente de bovinos y otros animales domésticos, como equinos, que han sido introducidos por los



■ Figura 5. Distribución de los casos de rabia paralítica bovina (RPB) registrados en el periodo 2009 a 2020, utilizando las ecorregiones para la conservación natural de los ecosistemas terrestres en Tamaulipas, México.

Figure 5. Distribution of bovine paralytic rabies (BPR) cases registered in the period 2009 a 2020, using the ecoregions for natural conservation of terrestrial ecosystems in Tamaulipas, Mexico.



■ **Figura 6.** Comparación entre casos de RPB y la presencia de *D. rotundus* por ecorregión en Tamaulipas.

Figure 6. Comparison between the cases of bovine paralytic rabies (BPR) and the presence of *D. rotundus* by ecoregion in the state of Tamaulipas.

humanos que habitan dentro de la reserva, arriesgando su salud; pero también se ha observado que se alimentan de algunas especies silvestres, por ejemplo el temazate o venado cabrito (*Mazama temama*) (Figura 7), lo que sucede frecuentemente cuando la cantidad de ganado es menor o inexistente en su área de forrajeo (Benavides y col., 2020; Scheffer y col., 2022; Brown y Escobar, 2023).

La segunda ecorregión con mayor incidencia de casos de RPB y presencia del vampiro común fue la de los bosques de pino y encino de la Sierra Madre Oriental (Figura 6), caracterizados por vegetación de sierras templadas con elevaciones aisladas.

La tercera ecorregión de mayor incidencia en la presencia del RVR fue el mezquital tamaulipeco, pero fue la cuarta en cuanto a casos de RPB, los cuales comenzaron a presentarse a partir del segundo periodo (2011 a 2020). En el caso del municipio de San Fernando, los casos de RPB iniciaron en 2011, pero los registros georreferenciados de *D. rotundus*, en esta ecorregión, de acuerdo con los datos ana-

lizados, comenzaron a partir de 2015. Al respecto, es importante considerar que, algunos de los casos podrían deberse a la movilidad del ganado, previamente infectado, por la comercialización de los animales.

La cuarta ecorregión que tuvo más casos de RPB fue el matorral tamaulipeco, que abarca



■ **Figura 7.** *Desmodus rotundus* acechando a un temazate o venado cabrito (*Mazama temama*).
Figure 7. *Desmodus rotundus* stalking a temazate or red brocket deer (*Mazama temama*).

los municipios de Cruillas, Hidalgo, San Carlos, San Nicolás y Villagrán, por mencionar algunos; pero en ella se registró baja presencia del vampiro común.

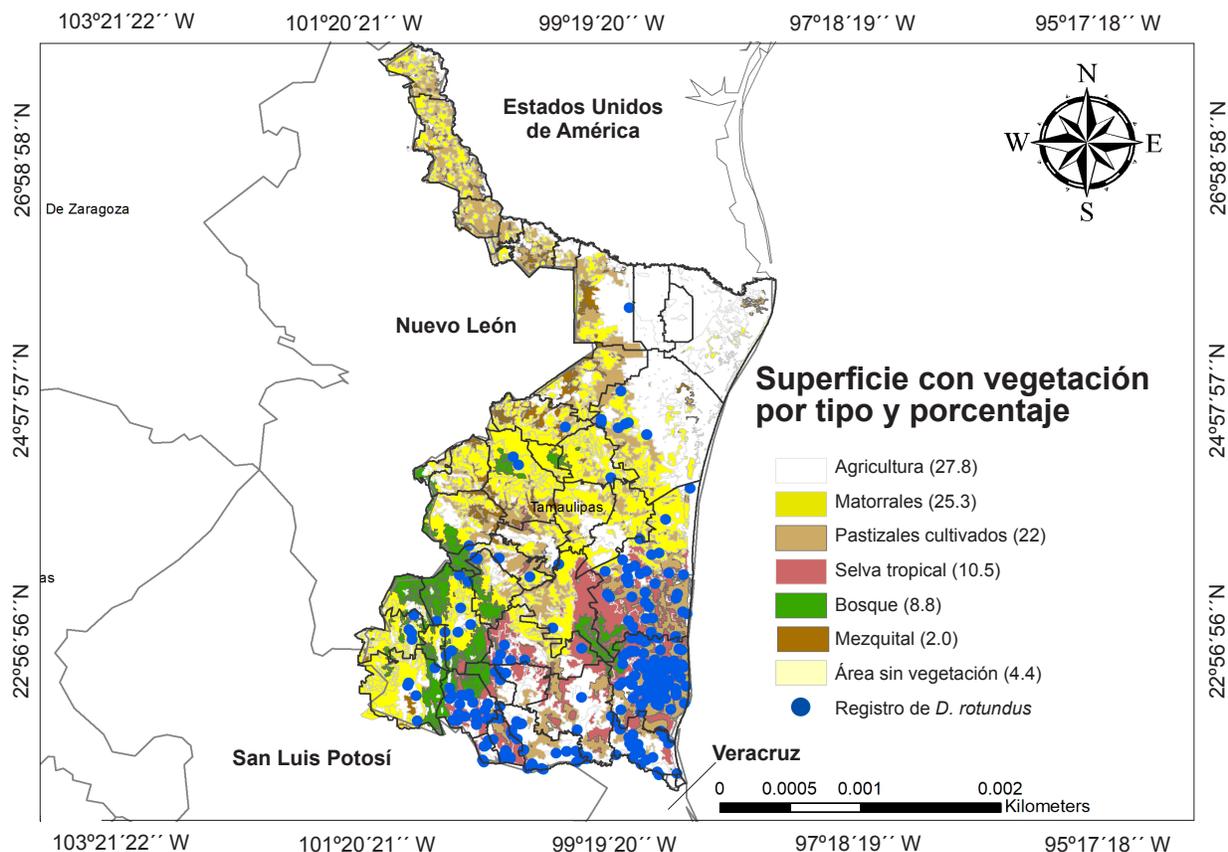
Algunas ecorregiones parecieran tener características que las hacen menos probables a la presencia del RVR o de la enfermedad (Figura 5). La ecorregión de pastizales costeros del golfo occidental fue la única que no presentó registros de RPB, ni tampoco avistamientos o capturas de *D. rotundus*. En tanto que, la ecorregión del mezquital tamaulipeco no presentó incidencia de RPB en su parte norte. En este ecosistema, la vegetación nativa corresponde a selva baja caducifolia y selva baja espinosa, bosques de encino mixtos, así como grandes planicies hacia el noreste y norte del estado con vegetación xerófila. Sin embargo, parte de esta vege-

tación ha sido gradualmente desplazada por efecto de actividades antropogénicas, como la agricultura y la ganadería, transformándose en suelos agrícolas y pastizales cultivados, que constituyen gran parte del territorio (INEGI, 2023), actividades que suelen asociarse a la presencia del reservorio, pero que en estas latitudes aún no ha sido el caso.

Asociación del tipo de vegetación y ecorregión con la presencia de RPB y *D. rotundus*

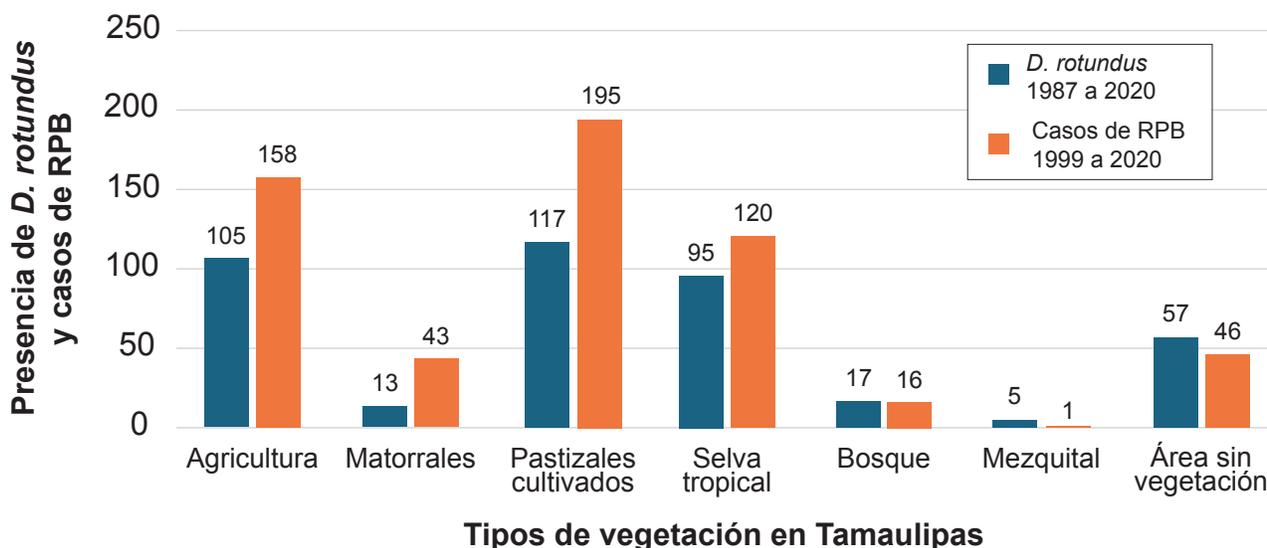
Los 32 municipios en los que se registró la presencia de *D. rotundus* se caracterizaron por contar con vegetación tipo pastizales cultivados (117), áreas agrícolas (105) y selva tropical (95) (Figuras 8 y 9). El mayor número de registros de esta especie se observó en el sur del estado.

En cuanto al tipo de vegetación fueron las áreas de pastizales cultivados (195), agricultu-



■ Figura 8. Tipo de vegetación y registros de *Desmodus rotundus* de 1987 al 2019, en el estado de Tamaulipas.

Figure 8. Vegetation type and records of *Desmodus rotundus* cases from 1987 to 2019, in Tamaulipas.



■ Figura 9. Comparación entre casos de RPB y la presencia de *Desmodus rotundus* por tipo de vegetación en Tamaulipas a lo largo del tiempo.

Figure 9. Comparison between cases of bovine paralytic rabies (BPR) and the presence of *Desmodus rotundus* based on vegetation type over time in Tamaulipas.

ra (158) y selva tropical (120) en las que ocurrieron la mayoría de los casos de RPB (Figura 9).

El índice de marginalidad media y análisis de correspondencia simple (Tabla 1) indicó que la presencia de casos de RPB estuvo significativamente asociada (Prueba de X^2 ; $P < 0.01$) con las ecorregiones terrestres, categorizadas por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (INEGI, 2016) como selvas cálido-secas. Estas se caracterizan por contar con selva baja caducifolia (bosque húmedo veracruzano), lo-

calizadas en el sur del estado, sierras templadas con elevaciones aisladas (bosques de pino y encino de la Sierra Madre Oriental); mientras que en los plegamientos del Altiplano Zacatecano-Potosino con vegetación xerófila (matorral de la meseta central) y bosques de encino mixtos, así como grandes planicies hacia el noreste y norte del estado con vegetación xerófila (mezquital tamaulipeco), se reportó una reducida o nula presencia de casos. El eje X (número de casos de RPB y presencia del RVR) explica el 58.39 % de los cambios y el eje Y valor de tipo de vegetación por ecorregión) explica el 41.61 %.

■ Tabla 1. Análisis de correspondencia simple (AC) de incidencia de casos de RPB y presencia de *Desmodus rotundus* por ecorregión ($X^2 = 98.33$, Grados de libertad = 20, $P < 0.01$).

Table 1. Simple correspondence analysis (CA) of the incidence of RPB cases and *Desmodus rotundus* presence by ecoregion ($X^2 = 98.33$, Degrees of freedom = 20, $P < 0.01$).

Estadístico	Eje X	Eje Y
Valor singular	0.27	0.23
Autovalor	0.07	0.05
% de varianza explicada (Inercia)	58.39	41.61
Varianza acumulada (Inercia)	58.39	100
X^2	57.42	40.91

El índice de marginalidad media y análisis de correspondencia simple (Tabla 2) indicó que la presencia de casos de rabia estuvo significativamente asociada (Prueba de X^2 ; $P < 0.01$) con el tipo de vegetación categorizada por la CONABIO (INEGI, 2016) y la presencia del reservorio. El eje X (Dimensión 1: número de casos de RPB y presencia del RVR) explica el 68.83 % de los cambios y el eje Y (Dimensión 2: tipo de vegetación) explica el 31.17 %. En los desiertos micrófilos existe escasa o nula presencia del reservorio y en consecuencia ausencia de casos de RPB. Las selvas, matorrales y bosques están asociados con los casos positivos de RPB, pero no tan fuerte como los ambientes que están más cerca de *D. rotundus* como las zonas agrícolas y los pastizales cultivados.

El análisis gráfico de correspondencia simple (Figura 10) indica que los desiertos micrófilos (matorral desértico rosetófilo y micrófilo), selva media subcaducifolia y mezquital xerófilo se asocian con la ausencia de casos de RPB y se diferencian claramente del resto de las categorías. Esto sugiere que, en los desiertos hay una menor presencia del *D. rotundus*, por lo tanto, menos casos positivos.

Los casos positivos de RPB estuvieron muy cerca de la presencia del RVR, indicando una fuerte relación entre la presencia del reservorio y la ocurrencia de la enfermedad. Esto es coherente con el conocimiento de que *D. rotundus* es el principal RVR (Brown y Escobar, 2023).

Los bosques tropicales, selvas mediana subcaducifolia, matorrales secundarios, matorral espinoso tamaulipeco y el mezquital tropical están asociados con la presencia de *D. rotundus* y con los casos positivos a rabia. Esto podría deberse a que estos ambientes proporcionan un hábitat favorable para el RVR (Benavides y col., 2020).

Los ambientes antropizados se sitúan entre la presencia del RVR y los casos positivos de RPB como las zonas agrícolas de temporal y riego, pastizales cultivados y palmar inducido, sugiriendo que la actividad humana puede estar mediando la relación entre el RVR y RPB, debido a la ganadería y la posible movilización del ganado.

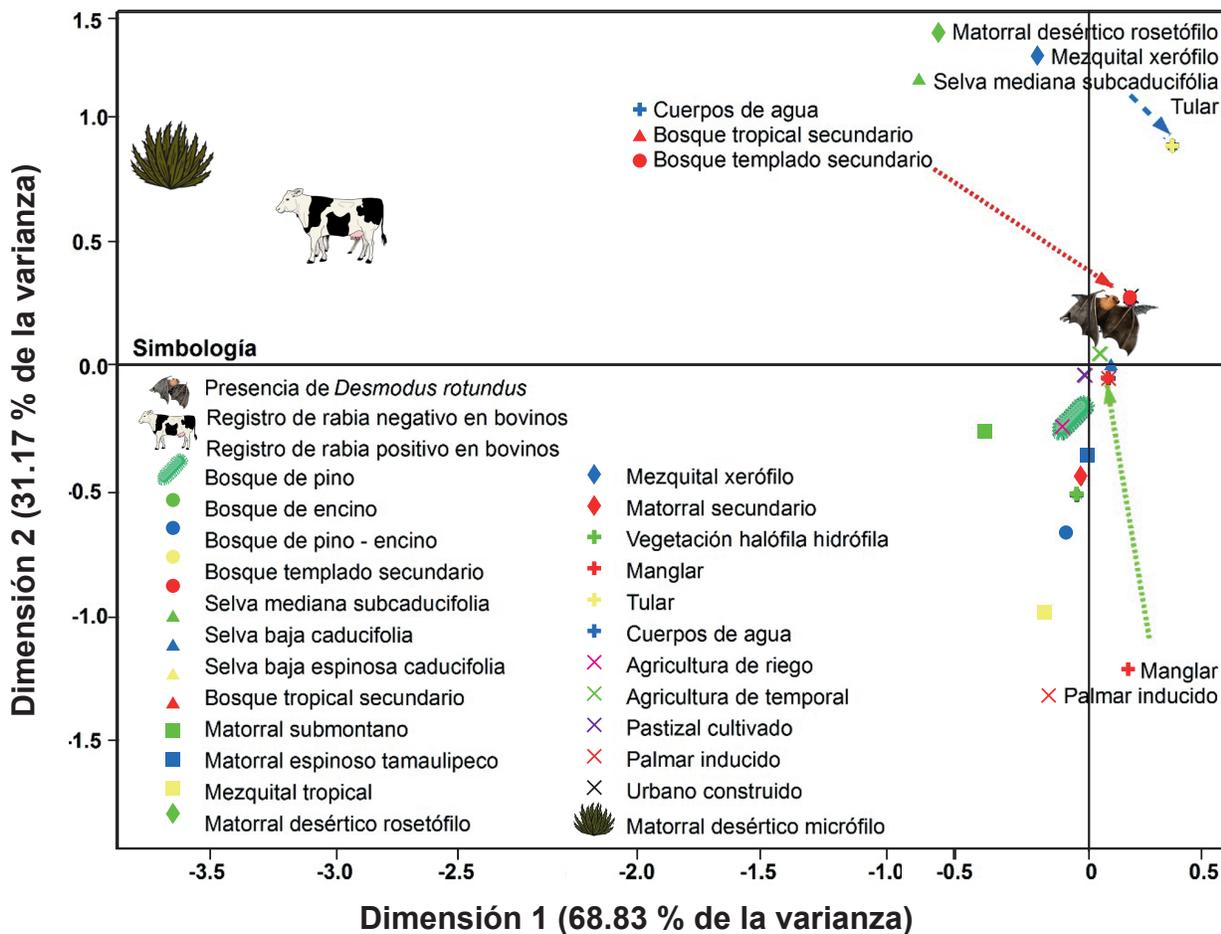
DISCUSIÓN

En el periodo 1999 a 2020 se presentaron 579 casos de RPB en Tamaulipas, distribuidos en 28 de los 43 municipios del estado. Burgos, ubicado al norte, en la ecorregión del mezquital tamaulipeco, fue el único de los 28 municipios considerados productores de ganado en el estado (SIAP-SIACON, 2023) que no registró casos de RPB (Figuras 2 y 3), aunque sí la existencia del vampiro común (Figura 4). En contraste, Tampico, en la parte sur, sin actividad económica relevante en la producción de ganado (SIAP-SIACON, 2023), presentó 2 casos de RPB (Figuras 2 y 3) y la presencia del vampiro común (Figura 4). Los casos de rabia en ovinos y caprinos se reportaron en menor proporción que los casos en bovinos, lo que puede deberse a las preferencias de alimentación del murciélago vampiro por el ganado de mayor tamaño como son

■ Tabla 2. Análisis de correspondencia simple (AC) de incidencia de casos de RPB y *D. rotundus* por tipo de vegetación ($X^2 = 124.06$, Grados de libertad = 46, $P < 0.01$).

Table 2. Simple Correspondence Analysis (CA) of the incidence of RPB and *D. rotundus* by vegetation type ($X^2 = 124.06$, Degrees of freedom = 46, $P < 0.01$).

Estadístico	Eje X	Eje Y
Valor singular	0.32	0.21
Autovalor	0.10	0.04
% de varianza explicada (Inercia)	68.83	31.17
Varianza acumulada (Inercia)	68.83	100
X^2	85.38	38.67



■ Figura 10. Diagrama del análisis de dispersión con los análisis de correspondencia de incidencia de RPB y *D. rotundus* por tipo de vegetación: Dimensión 1 (68.83 % de la varianza) y Dimensión 2 (31.17 % de la varianza).

Figure 10. Scatter plot of correspondence analysis of the incidence of RPB and *D. rotundus* by vegetation type: Dimension 1 (68.83 % of the variance) and Dimension 2 (31.17 % of the variance).

los bovinos (Mialhe, 2014; Benavides y col., 2020; Scheffer y col., 2022).

Desde el primer reporte de casos de rabia en especies ganaderas, en 1994, en la zona sur de Tamaulipas, se implementaron medidas epizootiológicas con el objetivo de evitar los casos de RPB, como la vacunación y el control de las poblaciones del RVR en las áreas donde se hubiese documentado la presencia del vampiro *D. rotundus*, por la CFPPT (NOM-067-ZOO-2007). Los resultados de este estudio muestran que a pesar de las acciones realizadas, no se ha generado alguna evidencia de que éstas reduzcan los casos de rabia en el ganado (Figuras 2 y 3). Aspecto que sugiere la necesidad de un abor-

daje más profundo respecto a las estrategias y medidas de prevención y control de la RPB, ya que históricamente los esfuerzos prolongados para controlar las poblaciones de *D. rotundus* no han demostrado ser efectivos para erradicar la RPB.

La eliminación selectiva de individuos adultos podría facilitar la propagación de la rabia al aumentar la dispersión de murciélagos para ocupar nichos vacíos (Blackwood y col., 2013), propiciando la dispersión, no solo de las poblaciones de *D. rotundus*, sino también del virus rábico. En un estudio realizado en Perú, en el que se compararon las seroprevalencias entre colonias de *D. rotundus* con diferentes estrategias de control, los autores

demonstraron que los programas de capturas y eliminación no tuvieron un efecto positivo sobre la disminución de los casos de rabia, debido a que las seroprevalencias del virus rábico se mantuvieron entre 3 % y 28 % en las poblaciones, siendo mayores en murciélagos juveniles y subadultos (Streicker y col., 2012).

En el presente estudio, el número de casos disminuyó en el segundo periodo analizado en Tamaulipas (2011 a 2020), pero es evidente que se registraron casos positivos en municipios como Cruillas y San Fernando, donde se reportó también la presencia de *D. rotundus* en el segundo periodo estudiado (2015 a 2019). Esto indica la importancia de realizar más estudios para poder explicar la variabilidad de los casos de rabia en el estado de Tamaulipas, considerando otras variables como la seroprevalencia del virus en el RVR y el esfuerzo de las medidas epizooticas para la prevención y control de la rabia.

La vacunación del ganado en las zonas de riesgo representa una estrategia a considerar para disminuir la prevalencia de rabia en las especies ganaderas. Esta medida reduciría el costo que ocasiona la enfermedad por la alta tasa de mortalidad (100 %) de los animales enfermos (Rocha y Dias, 2020). No obstante, su implementación requiere de la concientización y el esfuerzo coordinado de las organizaciones y agencias gubernamentales encargadas en el estado de la prevención y control de la rabia, así como de los ganaderos para seguir incrementando la cobertura de vacunación en las áreas endémicas a RPB (Johnson y col., 2018; Rojas-Sereno y col., 2022).

La investigación socioeconómica que aborde el costo/beneficio y las barreras que están asociadas a la vacunación, deben ser una prioridad para la salud humana y animal. Abordar el problema de la rabia en las especies ganaderas y en la fauna silvestre desde el concepto de “Una Salud” significaría un cambio para proponer nuevas alternativas en

las estrategias de vacunación de reactivas a preventivas (Maldonado-Arias y col., 2024). El abordaje de la rabia desde “Una Salud” requiere retomar las consideraciones que Louis Pasteur desde 1885 hacía sobre esta enfermedad, señalando que la única manera de evitar que los humanos se contagiaran era controlando la enfermedad en el reservorio a través de la vacunación. En ese tiempo, únicamente los cánidos eran reconocidos como la principal fuente de transmisión a los humanos (SSA, 2023). En la actualidad, México ha logrado de manera exitosa controlar la rabia humana transmitida por perros (que tienen al vampiro común como uno de sus principales vectores de contagio), mediante la vacunación de estas mascotas (Calderón y col., 2014).

En el caso de los vampiros comunes, considerados los principales transmisores de la rabia al ganado, y desde el enfoque de “Una Salud”, las intervenciones que se hagan deben encaminarse al control de la rabia en esta especie reservorio, más que a la eliminación de sus poblaciones, generando estrategias que permitan su vacunación (Natesan y col., 2023). Diversos estudios han abordado este enfoque (Aguilar-Setién y col., 1998; 2002; Almeida y col., 2005; 2008; Cárdenas-Canales y col., 2022) con resultados prometedores, de manera que se protege a las especies silvestres y también se evita que éstas infecten a los humanos y a los animales domésticos. Un pequeño cambio en las estrategias de control podría representar una transformación en el panorama epidemiológico en los países que cuentan con distribución natural del murciélago *D. rotundus*.

Los casos positivos de RPB y la presencia de *D. rotundus* parecieron asociarse con ecorregiones que ofrecen condiciones favorables para la presencia del RVR y la enfermedad, y que son aquellas con vegetación más rica y diversa, como es el bosque húmedo veracruzano, selva mediana caducifolia y lomeríos y sierras con matorral xerófilo y bosques de encino, como es el caso de la Sierra de Maratines (en Aldama). También están presentes lo-

meríos y planicies con selva baja caducifolia (Sierra de Cucharas en los límites de Gómez Farías, Ciudad Mante y Ocampo) y elevaciones aisladas y plegamientos del Altiplano Zacatecano-Potosino (Mante, Antiguo Morelos y Ocampo) con vegetación xerófila, bosques de coníferas, de encino y mixtos (CONABIO, 2021).

Los casos positivos a rabia y la presencia del RVR tendieron a ocurrir en regiones con ambientes antropizados, que han sufrido cambios considerables en el uso de suelo y la vegetación por la agricultura y la ganadería, como en los municipios de Aldama, Altamira y Soto la Marina (INEGI, 2023) (Figuras 5 y 8). Estos entornos parecen jugar un papel importante en la dinámica del mantenimiento de la enfermedad, lo que sugiere que los esfuerzos de control deben centrarse en ellas y en las áreas cercanas para prevenir su propagación.

Los casos negativos de RPB estuvieron asociados con Planicies del Altiplano Zacatecano-Potosino, lo que sugiere que estas áreas tienen características que las hacen menos propensas para que ocurran casos de RPB (por ejemplo, la presencia de matorrales desérticos micrófilos), lo que podría deberse al tipo de vegetación y la escasa actividad ganadera (Figura 8). En estas áreas hay una menor necesidad de enfocar esfuerzos de control del RVR, pero se debe mantener un programa de vigilancia epidemiológica pasiva para la enfermedad.

La probabilidad de que *D. rotundus* ocupe nuevos nichos en Tamaulipas dependerá de diversos factores asociados entre sí, como pueden ser, ecogeográficos, ecológicos, comportamiento de la especie, genéticos, los asociados a las actividades humanas como es la agricultura y la ganadería, y los efectos de cambio climático (Ortega-Sánchez y col., 2022; Van-de-Vuurst y col., 2023). Esto puede observarse en la forma en cómo la distribución de *D. rotundus* se ha incrementado hacia el norte y noreste del estado, en la ecorregión denominada mezquital tamaulipeco, asociado

a los registros de casos positivos a RPB (Figuras 3 y 5), lo que coincide con la investigación de Viana y col. (2023). En el municipio de San Fernando, en el año 2015, los operativos realizados por el CFPPPT permitieron detectar la presencia de *D. rotundus*, asociados a casos de RPB. En Reynosa se localizó su presencia en 2016, aunque aún no hay reportes oficiales de RPB en el municipio.

Existe un temor de que el cambio climático y el cambio de uso de suelo en esta ecorregión, para desarrollar actividades de agricultura y ganadería, favorezcan que el murciélago vampiro pueda extender su distribución hacia EUA, particularmente al estado de fronterizo de Texas, ya que las ecorregiones del noreste de México denominadas pastizales costeros del golfo occidental (en donde no existen aún reportes de RPB ni de *D. rotundus*) y mezquital tamaulipeco (en la que ya hay reportes de ambos), se extienden hacia el sur de Texas, por lo que ofrecen un hábitat contiguo con una geología y una estructura de vegetación similares (Piaggio y col., 2017), lo que introduciría en ese país un nuevo vector de casos de rabia (Van-de-Vuurst y col., 2023), de acuerdo con el modelo de distribución para esta especie de Hayes y Piaggio (2018).

Van-de-Vuurst y col. (2023) consideran que *D. rotundus* se ha expandido hacia el norte de México a un ritmo promedio de 9.76 km por año y su desplazamiento podría obedecer a una modificación en la estacionalidad histórica de la temperatura (es decir, la desviación estándar), variable estrechamente relacionada con los cambios en el clima y el calentamiento global. En el presente estudio, fue posible establecer que, en Tamaulipas, *D. rotundus* muestra estar cambiando su distribución hacia el norte, infectando de rabia al ganado bovino en regiones donde no había presencia de la enfermedad (Figuras 3 y 5). Por lo tanto, es importante mantener acciones de vigilancia epidemiológica para detectar si circula el virus en las poblaciones ubicadas en los municipios del norte y noreste del estado, donde actualmente se ha registra-

do la presencia de *D. rotundus*, pero no se han registrado casos de rabia.

La posibilidad de una migración hacia al norte ha sido sugerida por la evidencia en el registro fósil (alrededor de 5 000 a 35 000 años antes del presente), que sugiere que especies extintas del género *Desmodus* ocupaban algunas áreas de lo que ahora es EUA, desde el norte de California (Pleistoceno tardío, y son conocidos del área de Big Bend en el oeste de Texas), de la actual región del archipiélago de Mandrean de Nuevo México (estimada entre 29 000 y 36 000 años antes del presente); de Cuba (< 10 000 años antes del presente) y de varios sitios en Florida (Greenhall y col., 1983; Ray y col., 1998). Sin embargo, no se tiene información si las condiciones climáticas eran similares o si esas especies contaban con una fisiología semejante para adaptarse a los mismos climas.

En los últimos 5 años, posteriores al periodo abarcado en este estudio, se han registrado 28 nuevos casos de rabia en bovinos, 5 en equinos y 2 en murciélago hematófago en los municipios de Güemes y Abasolo (SIRVERA, 2024), indicando que la rabia en especies ganaderas es un problema que persiste en Tamaulipas. Esto vuelve necesario mantener estudios de la tendencia de distribución tanto de *D. rotundus* como de la RPB, con interés particular en las densidades poblacionales de la especie en las localidades donde se realizan las capturas y su asociación con los censos de la población de bovinos. Lo último no fue posible realizarlo en el presente estudio, debido a que no se cuenta con una capa en la escala espacial que permitiera desarrollarlo.

CONCLUSIONES

La RPB se encontró presente en 28 de los 43 municipios de Tamaulipas, mientras que el principal transmisor de rabia en el estado, *D. rotundus*, se distribuyó en 32. La tendencia de *D. rotundus* de avanzar hacia el norte del estado, reflejada en el segundo periodo de estudio, y los brotes de casos de RPB en esa latitud, abren la posibilidad de que la es-

pecie extienda su distribución hacia Texas, Estados Unidos de América, país actualmente considerado libre de la presencia de la especie, debido a que sus características geográficas y ecológicas son similares a las de Tamaulipas. Entre las variables analizadas, las características de las ecorregiones, el cambio de uso de suelo y la vegetación, influyeron en la distribución de *D. rotundus*. A su vez, esas mismas variables, más la presencia de *D. rotundus* permitieron explicar, al menos parcialmente, la variabilidad de la distribución de los casos de casos de RPB. El cambio en la distribución del vector y de los casos de RPB indican la necesidad de seguir estudiando este fenómeno, pero se debe considerar también como variable la densidad ganadera, ya que las regiones centro y sur se caracterizan por contar con mayor actividad ganadera en Tamaulipas, mayor incidencia de *D. rotundus* y alta prevalencia de rabia en ganado; por lo que, los análisis posteriores que incluyan estas variables contribuirán a mejorar los modelos predictivos de distribución de la especie reservorio y los brotes de RPB.

AGRADECIMIENTOS

Programa de mejoramiento del Profesorado (PRODEP) de la Secretaría de Educación Pública del Gobierno Federal, por la Beca otorgada para la realización del doctorado en Ecología y Manejo de Recursos Naturales del M. en C. José Ignacio Olave Leyva. A la M. en C. Araceli Casar Solares, del Laboratorio Estatal de Salud Pública (LESP) de Tamaulipas; y a la directora del Instituto de Diagnóstico y Referencia Epidemiológica (InDRE), la Biól. Irma López Martínez, así como al personal adscrito al Laboratorio de Rabia. Al M. V. Z. Alejandro Jiménez Ramírez, excoordinador de rabia bovina en México, por los datos aportados para el presente estudio; al Dr. Víctor Abraham Vargas Vázquez, por sus aportaciones en la revisión del artículo. Al Comité Para el Fomento y Protección Pecuaría de Tamaulipas, A. C. (CFPPT) y al M. V. Z. Pedro Zúñiga Pansine, por su colaboración y acceso a la información.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declararon no tener conflictos de in-

tereses de ningún tipo.

REFERENCIAS

- Acha, P., Acevedo-Whitehouse, K., de-la-Cueva, H., Gulland, F. M. D., Auriolles-Gamboa, D., Arellano-Carbajal, F. y Suarez-Güemes, F. (1968). Epidemiología de la rabia bovina paralítica transmitida por los quirópteros. *Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana*, 64, 411-430.
- Aguilar-Setién, A., Brochier, B., Tordo, N., De-Paz, O., Desmettre, P., Péharpré, D. y Pastoret, P. P. (1998). Experimental rabies infection and oral vaccination in vampire bats (*Desmodus rotundus*). *Vaccine*, 16(11-12), 1122-1126. [https://doi.org/10.1016/s0264-410x\(98\)80108-4](https://doi.org/10.1016/s0264-410x(98)80108-4)
- Aguilar-Setién A., Campos, Y. L., Cruz, E. T., Kretschmer, R., Brochier, B., & Pastoret, P. P. (2002). Vaccination of vampire bats using recombinant vaccinia-rabies virus. *Journal of Wildlife Diseases*, 38(3), 539-44.
- Almeida, M. F., Martorelli, L. F. A., Aires, C. C., Sallum, P. C., & Massad, E. (2005). Indirect oral immunization of captive vampires, *Desmodus rotundus*. *Virus Res*, 111(1), 77-82. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2005.03.013>
- Almeida, M. F., Martorelli, L. F. A., Aires, C. C., Barros, R. F., & Massad, E. (2008). Vaccinating the vampire bat *Desmodus rotundus* against rabies. *Virus Research*, 137(2), 275-277. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2008.07.024>
- Aréchiga-Ceballos, N., Puebla-Rodríguez P., & Aguilar-Setién, Á. (2022). The New Face of Human Rabies in Mexico, What's Next After Eradicating Rabies in Dogs. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 22, 69-75. <https://doi.org/10.1089/vbz.2021.0051>
- Arriaga-Flores, J. C. (2010). Estudio preliminar sobre la quiroptero fauna del cañón de "La Peregrina", municipio de Victoria, Tamaulipas, México. *TecnoIntelecto*, 1-8.
- Batalla-Campero, D. y Flores-Crespo, R. (1998). La rabia en las diferentes especies, sus transmisores y su control. Rabia Paralítica Bovina (pp. 41-49) INIFAP-SAGAR. Secretaría de Educación Pública. ISBN 970-92109-0-4.
- Benavides, J. A., Valderrama, W., Recuenco, S., Uieda, W., Suzán, G., Ávila-Flores, R., Velasco-Villa, A., Almeida, M., Andrade-Fag, D., Molina-Flores, B., Vigilato, M., Pompei, J. C. A., Tizzani, P., Carreira, J. E., Ibanez, D., & Streicker, D. G. (2020). Defining New Pathways to Manage the Ongoing Emergence of Bat Rabies in Latin America. *Viruses*, 12, 1002. <https://doi.org/10.3390/v12091002>
- Blackwood, J. C., Streicker, D. G., Altizer, S., & Rohani, P. (2013). Resolving the roles of immunity, pathogenesis, and immigration for rabies persistence in vampire bats. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110, 20837-20842. <https://doi.org/10.1073/pnas.1308817110>
- Bodenchuk, M. J. & Bergman, D. L. (2020). Vampire Bats: Preparing for range expansion into the U.S. *Proceedings of the Vertebrate Pest Conference*, 29, 1-9
- Botto-Nuñez, G., Becker, D. J., Lawrence, R. L., & Plowright, R. K. (2020). Synergistic Effects of Grassland Fragmentation and Temperature on Bovine Rabies Emergence. *Eco Health*, 17(2), 203-216. <https://doi.org/10.1007/s10393-020-01486-9>
- Brown, N. & Escobar, L. E. (2023). A review of the diet of the common vampire bat (*Desmodus rotundus*) in the context of anthropogenic change. *Mammalian Biology*, 103(4), 433-453. <https://doi.org/10.1007/s42991-023-00358-3>
- Burgin, C. J., Colella, J. P., Kahn, P. L., & Upham, N. S. (2018). How many species of mammals are there? *Journal of Mammalogy* 99, 1-14. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyx147>
- Calderón-Rangel, A., Rodríguez-Rodríguez, V. C., & Guzmán-Teran, C. A. (2014). Análisis filogenético del virus de la rabia en mamíferos reportados en Colombia entre 1994 y 2008. *Ciencia y Agricultura*, 11(2), 69-75.
- Cárdenas-Canales, E. M., Velasco-Villa, A., Ellison, J. A., Satheshkumar, P. S., Osorio J. E., & Roczke, T. E. (2022). A recombinant rabies vaccine that prevents viral shedding in rabid common vampire bats (*Desmodus rotundus*). *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 16(8), e0010699.
- Cobos, M. E., Peterson, A. T., Barve, N., & Osorio-Olvera, L. (2019). kuenm: an R package for detailed development of ecological niche models using Maxent. *PeerJ*, 7, e6281.
- Dolédéc, S., Chessel, D., & Gimaret-Carpentier, C. (2000). Niche separation in community analysis: A new method. *Ecology*, 81, 2914-2927.
- FloreFlores-Crespo, R. (1998). Biología y control de murciélagos vampiros. En R. Flores-Crespo (Ed.),

La rabia en las diferentes especies, sus transmisores y su control (1a ed., 80-99 pp.). INIFAP-SAGAR.

Gobierno del Estado de Tamaulipas (2023). Secretaría de Desarrollo Rural Pesca y Acuicultura, en *Temas del sector Ganadería*. [En línea]. Disponible en: <https://www.tamaulipas.gob.mx/desarrollo-rural/temas-del-sector/ganaderia/>. Fecha de consulta: 11 de septiembre de 2023.

GBIF.org (2021). Base de datos de observaciones de *Desmodus rotundus* en su área natural de Distribución. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.15468/dl.sb3eg6>. Fecha de consulta: 28 de octubre de 2021.

Greenhall, B. A. M., Joermann, G., & Schmidt, U. (1983). *Desmodus Rotundus*. *The American Society of Mammalogists*, (202), 1-6.

Hayes, M. A. & Piaggio, A. J. (2018). Assessing the potential impacts of a changing climate on the distribution of a rabies virus vector. *Plos One* 13, e0192887.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2016). Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, (2017) serie VI (continuo nacional). [En línea]. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/usv/inegi/usv250s6gw. Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2021.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2023). Información por entidad: Tamaulipas. [En línea]. Disponible en: <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/tam/default.aspx?tema=me&e=28> Fecha de consulta: 11 de noviembre de 2023.

Johnson, N. & Montaña-Hirose, J. A. (2018). The impact of paralytic bovine rabies transmitted by vampire bats in Latin America and the Caribbean. *Revue Scientifique et Technique (International Office of Epizootics)*, 37(2), 451-459.

Jori, F., Hernandez-Jover, M., Magouras, I., Dürr, S., & Brookes, V. J. (2021) Wildlife–livestock interactions in animal production systems: what are the biosecurity and health implications? *Animal Frontiers*, 11, 8–19. <https://doi.org/10.1093/af/vfab045>

Maldonado-Arias, D. F., Guamán-Rivera, S. A., Mira-Naranjo, J. M., & Ortiz-Naveda, N. R. (2024). Bovine rabies cases in Ecuador: a retrospective cross-sectional observational study (2007 to 2020). *Brazilian Journal of Biology*, 84, 1–10. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.279112>

Martínez-Burnes, J., Lopez, A., Medellín, J., Haines, D., Loza, E., & Martínez, M. (1997). An outbreak of

vampire bat-transmitted rabies in cattle in northeastern Mexico. *Canadian Veterinary Journal*, 38, 175-177.

Meza, D. K., Mollentze, N., Broos, A., Tello, C., Valderrama, W., Recuenco, S., Carrera, J. E., Shiva, C., Falcon, N., Viana, M., & Streicker, D. G. (2022). Ecological determinants of rabies virus dynamics in vampire bats and spillover to livestock. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 289, 20220860. <https://doi.org/10.1098/rspb.2022.0860>

Mialhe, P. J. (2014). Preferential prey selection by *Desmodus rotundus* (E. Geoffroy, 1810, Chiroptera, Phyllostomidae) feeding on domestic herbivores in the municipality of São Pedro – SP. *Brazilian Journal of Biology*, 74(3), 579-584. <https://doi.org/10.1590/bjb.2014.0086>

Natesan, K., Isloor, S., Vinayagamurthy, B., Ramakrishnaiah, S., Doddamane, R., & Fooks, A. R. (2023). Developments in Rabies Vaccines: The Path Traversed from Pasteur to the Modern Era of Immunization. *Vaccines*. 11(4), 756. <https://doi.org/10.3390/vaccines11040756>

NOM-067-ZOO-2007 (2007). Campaña nacional para la prevención y control de la rabia en bovinos y especies ganaderas, en *Norma Oficial Mexicana*. [En línea]. Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5190251&fecha=20/05/2011#gsc.tab=0. Fecha de consulta: 11 de agosto de 2024.

Olival, K. J., Hosseini, P. R., Zambrana-Torrel, C., Ross, N., Bogich, T. L., & Daszak, P. (2017). Erratum: Host and viral traits predict zoonotic spillover from mammals. *Nature*, 548(7669), 612.

Olson, D. M., Dinerstein, E., Wikramanayake, E. D., Burgess, N. D., Powell, G. V. N., Underwood, E. C., Amico, J. A., Itoua, I., Strand, H. E., Morrison, J. C., Loucks, C. J., Allnutt, T. F., Ricketts, T. H., Kura, Y., Lamoreux, J. F., Wettengel, W. W., Hedao, P., & Kassem, K. R. (2001). Terrestrial ecoregions of the world: A new map of life on Earth. *Bio Science*, 51, 933-938.

Ortega-Sánchez, R., Bárcenas-Reyes, I., Cantó-Alarcón, G. J., Luna-Cozar, J., Rojas-Anaya, E., Contreras-Magallanes, Y. G., González-Ruiz, S., Cortez-García, B., & Milián-Suazo, F. (2022). Descriptive and Time-Series Analysis of Rabies in Different Animal Species in Mexico. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 1-10. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.800735>

Piaggio, A. J., Russell, A. L., Osorio, I. A., Jiménez Ramírez, A., Fischer, J. W., Neuwald, J. L., Tibbels, A. E., Lecuona, L., & McCracken, G. F. (2017). Genetic demography at the leading edge of the distribu-

tion of a rabies virus vector. *Ecology and Evolution*, 7, 5343-5351. <https://doi.org/10.1002/ece3.3087>

Picard, N., Köhler, P., Mortier, F., & Gourlet-Fleury, S. (2012). A comparison of five classifications of species into functional groups in tropical forests of French Guiana. *Ecological Complexity*, 11, 75-83. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2012.03.003>

Ray, C. E., Linares, O. J., & Morgan, G. S. (1998). *Paleontology*. In Natural History of Vampire Bats. CRC Press, 19-30 Pp.

Rocha, F. & Dias, R. A. (2020). The common vampire bat *Desmodus rotundus* (Chiroptera: Phyllostomidae) and the transmission of the rabies virus to livestock: A contact network approach and recommendations for surveillance and control. *Preventive Veterinary Medicine*, 174, 104809. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2019.104809>

Rojas-Sereno, Z. E., Streicker, D. G., Medina-Rodríguez, A. T., & Benavides, J. A. (2022). Drivers of Spatial Expansions of Vampire Bat Rabies in Colombia. *Viruses*, 14(11), 2318. <https://doi.org/10.3390v14112318>

SSA, Secretaría de Salud (2020). Programa de acción específico de prevención y control de enfermedades zoonóticas y emergentes 2020-2024. Centro Nacional de Enfermedades Infecciosas. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/738300/PAE_Zoonosis.pdf

SSA, Secretaría de Salud (2023). Secretaría de Salud difunde aviso epidemiológico sobre rabia humana. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/salud/prensa/017-secretaria-de-salud-difunde-aviso-epidemiologico-sobre-rabia-humana?idiom=es> Fecha de consulta: 7 de octubre de 2024.

Scheffer, K. C., Barros, R. F., Iamamoto, K., Mori, E., Asano, K. M., Achkar, S. M., Estevez-García, A. I., Oliveira-Lima, J. Y., & Fahl, W. O. (2015). *Diphylloca ecaudata* y *Diaemus youngi*: Biología y comportamiento. *Acta Zoológica Mexicana*, 31(3), 436-445.

Scheffer, K. C., Barros, R. F., Iamamoto, K., Mori, E., Asano, K. M., Lima, J. Y. O., Garcia, A. I. E., Cunha-Neto, R. S., & Fahl, W. O. (2022). *Desmodus rotundus* – biología y comportamiento. In Open Science Research III. Editora Científica Digital. 505-529 Pp.

SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera / SIACON, Servicio de Información Agroalimentaria de Consulta (2023). Estadística de Producción Agrícola. [En línea]. Disponible en: <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>. Fecha de consulta: 11 de noviembre de 2023.

Sil-Berra, L. M., Aguilar-López, M., Márquez-Medero, M. A. y Cervantes-Cruz, J. M. (2022). De México para el mundo... los murciélagos endémicos. *Therya Ixmana*, 1(1), 29-31.

Simmons, N. B., Cirranello, A. L., Bat, H., Bat, G. S., Gray, C., & Bot, M. Z. (2022). Bats of the World. *American Museum of Natural History*, 1-94.

SIRVERA, Sistema de Información Regional Para la Vigilancia Epidemiológica de la Rabia (2024). [En línea]. Disponible en: <https://sirvera.panaftosa.org.br/>. Fecha de consulta: 4 de septiembre de 2024.

Smith J. S. (1989) Rabies Virus Epitopic Variation: Use in Ecologic Studies. 215-253 Pp.

Smith J. S., Orciari, L. A., Yager, P. A., Seidel, H. D., & Warner, C. K. (1992). Epidemiologic and Historical Relationships among 87 Rabies Virus Isolates as Determined by Limited Sequence Analysis. *Journal of Infectious Diseases*, 166: 296-307. <https://doi.org/10.1093/infdis/166.2.296>

Streicker, D. G., Recuenco, S., Valderrama, W., Gomez-Benavides, J., Vargas, I., Pacheco, V., Condori-Condori, R. E., Montgomery, J., Rupprecht, C. E., Rohani, P., & Altizer, S. (2012). Ecological and anthropogenic drivers of rabies exposure in vampire bats: implications for transmission and control. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279, 3384-3392. <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.0538>

Thrusfield, M. (2005). Veterinary epidemiology Veterinary, Clinical Studies Royal (Dick) School of Veterinary Studies, Chapter 4. Describing disease occurrence (pp. 46-56). University of Edinburgh. Publisher Blackwell Science Ltd.

Van-de-Vuurst, P., Qiao, H., Soler-Tovar D, & Escobar, L. E. (2023). Climate change linked to vampire bat expansion and rabies virus spillover. *Ecography*, 1-10. <https://doi.org/10.1111/ecog.06714>

Vargas-Vázquez, V. A., Venegas-Barrera, C. S., Mora-Olivo, A., Martínez-Ávalos, J. G., Alanís-Rodríguez, E. y De-la-Rosa-Manzano, E. (2019). Variación en la abundancia de árboles maderables por efecto de borde en un bosque tropical subcaducifolio. *Botanical Sciences*. 97, 35-49. <https://doi.org/10.17129/botsci.2019>

Viana, M., Benavides, J. A., Broos, A., Ibañez-Loayza, D., Niño, R., Bone, J., da-Silva-Filipe, A., Orton, R., Valderrama-Bazan, W., Matthiopoulos, J., & Streicker, D. G. (2023). Effects of culling vampire bats on the spatial spread and spillover of rabies virus. *Science Advances*, 9(10), eadd7437.