



Comportamiento epidemiológico de la rabia paralítica bovina en la región central de México, 2001–2013

Isabel Bárcenas-Reyes,¹ Elizabeth Loza-Rubio,²
Horacio Zendejas-Martínez,¹ Hugo Luna-Soria,¹
Germinal J. Cantó-Alarcón¹ y Feliciano Milián-Suazo¹

Forma de citar

Bárcenas-Reyes I, Loza-Rubio E, Zendejas-Martínez H, Luna-Soria H, Cantó-Alarcón GJ, Milián-Suazo F. Comportamiento epidemiológico de la rabia paralítica bovina en la región central de México, 2001–2013. Rev Panam Salud Publica. 2015;38(5):396–402.

RESUMEN

Objetivo. Determinar la distribución geoespacial de los casos de rabia paralítica bovina transmitida por *Desmodus rotundus* en los estados de Guanajuato, Querétaro y San Luis Potosí, México.
Métodos. Estudio epidemiológico transversal a partir de los casos notificados por las campañas estatales de control de la rabia paralítica bovina en Guanajuato (2008–2013), Querétaro (2005–2013) y San Luis Potosí (2001–2013). Se confirmaron los casos por inmunofluorescencia directa. Se elaboraron mapas de distribución de los casos por año y por especie, mediante el software ArcMap versión 10.1. Para identificar áreas con condiciones apropiadas para la presencia de casos se combinaron las variables bioclimáticas con los casos georreferenciados, mediante el programa MaxEnt versión 3.3.3.

Resultados. Se registraron 1 037 casos, de los cuales, 911 (87,9%) ocurrieron en San Luis Potosí, 82 (7,9%) en Querétaro y 44 (4,2%) en Guanajuato. Del total, 87,4% ocurrió en alturas menores de 1 500 msnm. En Guanajuato y Querétaro, 77,3% y 42,3% de los casos, respectivamente, ocurrieron en alturas mayores de 1 500 msnm. Los meses de mayor incidencia fueron de diciembre a marzo. La variante antigénica viral V11 fue la más frecuente (173 casos), presente en los tres estados estudiados. En el canal endémico, el promedio de casos se mantiene en la zona de seguridad de enero a marzo, pero de abril a junio excede la mediana. La distribución espacial de los casos muestra la diseminación reciente de la enfermedad, lo que coincide con la presencia del murciélago vampiro.

Conclusiones. La rabia paralítica bovina se ha extendido a regiones anteriormente libres de esta enfermedad. Las características ambientales y la altura sobre el nivel del mar no limitan la presentación de casos. Se debe mantener un monitoreo constante para la detección oportuna de casos. La vacunación se debe realizar antes del comienzo de las lluvias, sin esperar la aparición de brotes.

Palabras clave

Rabia; quirópteros; zoonosis; bovinos; México.

¹ Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México. La correspondencia se debe dirigir a Isabel Bárcenas-Reyes; correo electrónico: ibr.mvz@hotmail.com

² Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Microbiología (CENID-M), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), México, D.F., México.

La rabia es una enfermedad zoonótica letal, causada por un virus neurotrópico del género *Lyssavirus*, familia Rhabdoviridae (1), que afecta a cualquier animal de sangre caliente, excepto las aves. Esta enfermedad presenta dos

ciclos, cada uno con diferentes reservorios: el urbano, que afecta a perros, gatos y otros animales que viven en contacto estrecho con el hombre; y el silvestre, que se concentra principalmente en dos reservorios terrestres —zorrillos y

mapaches— y uno aéreo —los quirópteros— (2, 3). En América Latina, el murciélago hematófago *Desmodus rotundus* es actualmente el principal reservorio y transmisor del virus al ganado y a los humanos (4–6). Se estima que 70 000 personas mueren anualmente en el mundo infectados por este virus (3).

En México, la rabia urbana se ha reducido significativamente durante la última década gracias al control canino intensivo y las campañas de vacunación; sin embargo, la rabia transmitida por animales silvestres, en especial por quirópteros, ha ido en aumento (4). Los ataques por *D. rotundus* al ganado son cada vez más frecuentes, incluso en regiones que por décadas se habían considerado libres de esta enfermedad (7).

La rabia parálitica bovina (RPB) es una forma de presentación de la enfermedad en bovinos y otras especies domésticas, caracterizada por la parálisis del tren posterior. Esta enfermedad es endémica en muchas áreas de México, principalmente donde coincide la presencia de ganado bovino con la del murciélago *D. rotundus*. En general, se han notificado focos en 24 de las 31 entidades federativas de México: por la costa del Pacífico desde el sur de Sonora hasta Chiapas, y por la costa del Golfo de México desde el sur de Tamaulipas hasta la Península de Yucatán (8). De acuerdo con informes oficiales del Sistema de Vigilancia Epidemiológica del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, entre los años 2011 y 2013 se registraron como promedio 209 focos de RPB anuales, principalmente en los estados con clima tropical o subtropical: Chiapas, Hidalgo, Quintana Roo, San Luis Potosí, Tabasco, Veracruz y Yucatán. En estos estados, el ganado, en especial las razas cebuínas, conviven con el murciélago vampiro (8, 9).

Al igual que en muchos otros países, en México existe un considerable subregistro de casos debido, principalmente, a la falta de suficientes laboratorios especializados con capacidad para realizar el diagnóstico. Además, muchos de los casos que ocurren en áreas rurales no son registrados por el desconocimiento de la enfermedad por parte de los productores (8, 10). Se considera que por cada caso de rabia notificado, existen diez que no se informan (11).

Se ha establecido que además de los factores ambientales —temperatura y nivel de precipitación pluvial, entre

otros—, hay factores biológicos —presencia de ganado y otros reservorios— y socioeconómicos —deforestación, urbanización e intensificación de la actividad agrícola y ganadera— que influyen en la presencia de los murciélagos vampiros (12–15) y en la ocurrencia de casos (13–15). La distribución de estos quirópteros es cada vez más amplia.

En el caso de los estados Guanajuato, Querétaro y San Luis Potosí, ubicados en la región central de México, el número de casos de RPB transmitida por *D. rotundus* ha ido en aumento y se ha extendido a zonas tradicionalmente libres de esta enfermedad. Esto ha llevado a la necesidad de estudiar con mayor detalle el comportamiento de la enfermedad y su relación con las condiciones ambientales, biológicas y socioeconómicas que influyen directamente en el hábitat del murciélago hematófago y de su hospedero principal, el ganado bovino (16).

El objetivo del presente trabajo fue determinar la distribución geoespacial de los casos de RPB transmitida por *D. rotundus* y su relación con la precipitación pluvial, la temperatura ambiental y la altura sobre el nivel del mar en los estados Guanajuato, Querétaro y San Luis Potosí, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un estudio epidemiológico transversal a partir de la información contenida en las bases de datos de casos notificados por las campañas estatales de control de la RPB entre 2008 y 2013 en Guanajuato, 2005 y 2013 en Querétaro y 2001 y 2013 en San Luis Potosí. La información epidemiológica relacionada con los casos de RPB abarcó datos del lugar (estado, municipio, coordenadas geográficas y altura sobre el nivel del mar), fecha de detección (mes y año), datos del animal (número del caso, especie, sexo y edad) y variante antigénica del virus. La información sobre el nivel de precipitación pluvial y la temperatura se tomó de Bioclim (<http://www.worldclim.org/bioclim>).

La confirmación de los casos sospechados de rabia se hizo mediante inmunofluorescencia directa con anticuerpos monoclonales contra la proteína de la nucleocápside viral conjugados con isotiocianato de fluoresceína, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana vigente (17).

Para la proyección de los mapas se unificaron las diferentes formas de georeferenciación de las bases de datos a

coordenadas decimales. Para ello, después de corroborar que los puntos correspondieran al lugar de presentación de los casos, las coordenadas se transformaron de unidades sexagesimales a coordenadas del sistema universal transversal de Mercator (UTM) y a unidades decimales.

Una vez homogenizada la información, se elaboraron mapas de distribución de los casos por año y por especie mediante el *software* ArcMap versión 10.1 (18). Para elaborar el mapa de predicción de riesgo de presentación de casos de la variable regionalizada “número de casos”, se utilizó el método de *krigeaje* ordinario, del programa ArcMap. Este es un método geostatístico de estimación de puntos que utiliza un modelo de variograma para la obtención de datos y calcula los valores que se darán a cada punto de referencia empleado en la valoración. Esta técnica de interpolación se basa en la premisa de que la variación espacial continúa con el mismo patrón, y los puntos próximos en el espacio tienden a tener valores más parecidos entre sí que con los puntos más distantes. En este método se asume que los datos recogidos de una determinada población se encuentran correlacionados en el espacio (19).

Con el fin de evaluar el comportamiento de la RPB en la región estudiada, se elaboró el canal endémico a partir de las frecuencias mensuales de casos ocurridos en los tres estados para los años 2008–2013. Este canal endémico se basó en el método de la mediana y los cuartiles con números crudos (20).

Para modelar los sitios con condiciones apropiadas para la presencia de casos de rabia en las diferentes especies domésticas y evaluar la importancia de las variables bioclimáticas, estas se combinaron con los casos georreferenciados (21, 22). Para ello se utilizó el programa MaxEnt versión 3.3.3 (23), que se basa en el modelo de máxima entropía. Este método permite detectar asociaciones entre variables ambientales en capas, con formato de sistema de información geográfica y lugares de ocurrencia, y de esta forma estimar la probabilidad de presencia de la especie estudiada en cada pixel del área de trabajo mediante mapas digitales. Este tipo de modelo ha sido útil para identificar áreas de diseminación de enfermedades y su asociación con áreas con condiciones ambientales apropiadas para el hospedero y el vector (24, 25).

De esta forma, se generó un modelo de nicho ecológico que refleja la probabilidad de encontrar las condiciones apropiadas para la ocurrencia de casos de RPB (26).

RESULTADOS

Se registraron 1 037 casos de RPB en diferentes especies animales en los estados de Guanajuato, Querétaro y San Luis Potosí (cuadro 1). En Guanajuato se notificaron 44 casos (4,2% del total) en ocho municipios; el municipio con mayor número de casos fue San Luis de la Paz con 13. En Querétaro se informaron 82 casos (7,9%) en 12 municipios; destacaron Jalpan de Serra y Peñamiller con 15 casos cada uno y Tolimán con 10. En San Luis Potosí se notificaron 911 casos (87,9%) en 42 municipios; Ciudad Valles fue el de mayor incidencia con 142.

De ese total, 881 (84,9%) ocurrieron en bovinos y de ellos, 63,0% correspondió a animales mayores de 6 meses. De los 156 restantes, 51 (32,7%) se registraron en murciélagos hematófagos de la especie *D. rotundus*, 40 (25,6%) en equinos, 25 (16,0%) en zorrillos, 18 (11,5%) en ovinos, 12 (7,7%) en caprinos y 6 (3,9%) en murciélagos insectívoros (*Tadarida brasiliensis*); se registraron también un caso en canino doméstico, uno en murciélago frugívoro, uno en humano y uno en venado cola blanca (2,6%).

En total, 182 casos correspondieron a variantes antigénicas del virus de la rabia propias de murciélagos vampiros: V11 (173 casos), V5 (3 casos) y V3 (2 casos); 2 casos a variantes de murciélagos insectívoros V4 (1 caso) y V9 (1 caso), y 2 casos con una variante propia de zorrillos, V8. Los restantes 855 registros no presentaron información sobre la variante viral. En cuanto a su distribución, en el estado de San Luis Potosí se identificaron todas las variantes virales, en Guanajuato solo la V11 y en Querétaro la V5 y la V11. Al tomar en cuenta la población de animales (bovinos, ovinos, caprinos, porcinos y equinos) según el último censo ganadero, realizado en 2010 (27), la tasa de incidencia de casos en la región fue de 20 por cada 100 000 animales: 1,3 en Guanajuato, 10,5 en Querétaro y 58,9 en San Luis Potosí.

De los 1 030 casos que informaron la altitud del sitio de ocurrencia, 900 (87,4%) se presentaron en localidades de hasta 1 500 msnm y 130 (12,6%) en áreas con altitudes mayores; la proporción de casos registrados en altitudes superiores

a los 1 500 msnm fue mayor en Guanajuato (77,3%) y Querétaro (42,3%) (cuadro 2). La mayor cantidad de casos se presentó en los meses de enero, febrero y marzo, con 111, 103 y 103 casos, respectivamente; mientras, los de menor frecuencia fueron abril, mayo y julio, con 63, 51 y 67 casos, respectivamente.

Según el canal endémico, la notificación de casos se mantuvo en la zona de seguridad durante los meses de enero a marzo (época de seca), debido a que el promedio no excedió el cuartil de la mediana. Sin embargo, no fue así para los meses de abril —también considerado época de seca—, mayo y junio —época de lluvia—, cuando el promedio de casos superó el valor de la mediana para ese

período, es decir, el promedio de casos se ubicó en la zona de alarma (figura 1). Según el pronóstico —calculado a partir del valor de la mediana—, la mayor frecuencia de los casos debe ocurrir en los meses de enero, febrero, junio, septiembre y diciembre.

La distribución espacial de los casos por año mostró dispersión en el noreste del estado de San Luis Potosí —en la llamada Huasteca Potosina—, el noreste del estado de Querétaro —ocupado por la Sierra Gorda—, el altiplano de San Luis Potosí y el noreste del estado de Guanajuato (<http://gaia.inegi.org.mx/mdm6>) (figura 2). En los años más recientes, también se observó la presencia de casos en regiones antes libres de la

CUADRO 1. Casos anuales de rabia parálitica en los estados de Guanajuato, Querétaro y San Luis Potosí, México, 2001–2013^a

Estado	Año													Total
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	
Guanajuato								3	8	13	12	4	4	44
Querétaro					9	3	8	7	3	4	26	16	6	82
San Luis Potosí	10	98	121	93	79	49	48	68	76	73	98	48	50	911
Total	10	98	121	93	88	52	56	78	87	90	136	68	60	1 037

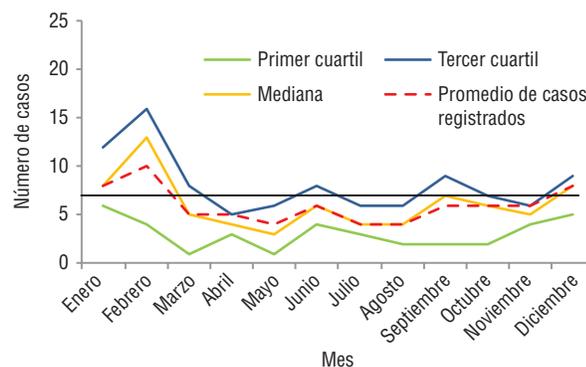
^a Las campañas estatales de control de la rabia parálitica generaron datos a partir de 2001 en San Luis Potosí, 2005 en Querétaro y 2008 en Guanajuato.

CUADRO 2. Casos de rabia parálitica en ganado y animales silvestres, según la altura sobre el nivel del mar, registrados en Guanajuato, Querétaro y San Luis Potosí, México, 2001–2013

Estado	< 1 500 msnm		> 1 500 msnm		Total
	No.	%	No.	%	
Guanajuato	10	22,7	34	77,3	44
Querétaro	45	57,7	33	42,3	78
San Luis Potosí	845	93,1	63	6,9	908
Total	900	87,4	130	12,6	1 030

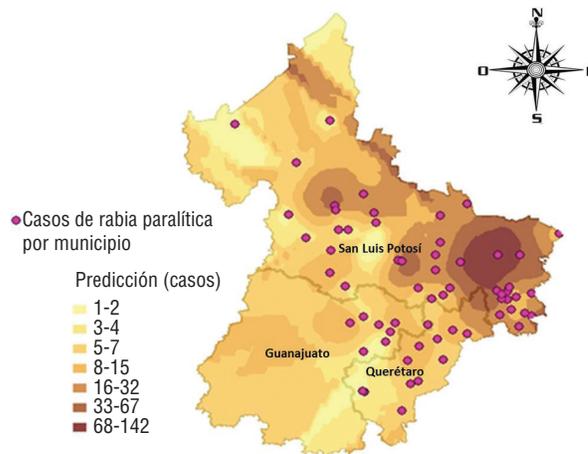
Nota: No se informó la altitud de siete casos: 4 de Querétaro, 2 de San Luis Potosí y 1 de Guanajuato.

FIGURA 1. Canal endémico de casos de rabia parálitica en la región central de México, 2008–2013



Nota: elaborado a partir de las frecuencias mensuales de casos para los años 2008–2013, según las bases de datos de casos notificados por las campañas estatales de control de la rabia parálitica en Guanajuato, Querétaro y San Luis Potosí.

FIGURA 2. Zonas de riesgo de presentación de casos de rabia parálitica por municipio en los estados de Guanajuato (2008–2013), Querétaro (2005–2013) y San Luis Potosí (2001–2003)



enfermedad, lo que indica su diseminación. Así ocurre en Querétaro, donde a partir de la notificación del primer caso en la Sierra Gorda en 2005 se han registrado casos en la región del semidesierto y los valles centrales. La distribución de los casos de rabia parálitica en las diferentes especies domésticas coincidió con la distribución de los casos identificados en murciélagos, lo que confirma la importancia de este vector en la diseminación de la enfermedad.

Según los mapas de riesgo, obtenidos a partir de la distribución de los casos y la interpolación por el método de *kriging*, la zona de mayor riesgo se ubica en la Huasteca Potosina, la Sierra Gorda de Querétaro y el nordeste de Guanajuato. Entre las zonas de menor riesgo, pero con presencia de casos, están la región central de San Luis Potosí, el semidesierto y los valles centrales de Querétaro, y el nordeste de Guanajuato (figura 2).

Según el mapa de probabilidad estimada de encontrar las condiciones apropiadas para la presencia de casos de rabia parálitica en diferentes especies ganaderas (figura 3), la Huasteca Potosina presenta la mayor probabilidad de ocurrencia de casos, seguida por la región central que colinda con la Sierra Gorda de Querétaro, por un lado, y el nordeste de Guanajuato, por el otro. Los municipios que se encuentran en el altiplano de San Luis Potosí y en el valle central de Querétaro también se encuentran en riesgo de presentar casos de rabia. El modelo de nicho ecológico tuvo un ajuste

de 0,84, lo que indica que se logró una buena sensibilidad con un elevado poder de predictibilidad (26, 28). La temperatura mínima de los meses más fríos fue la variable que mejor predijo la distribución de la enfermedad. Otras variables, como la temperatura media y el promedio de precipitaciones de los meses más cálidos y los meses más húmedos, pueden también influir en la presencia de casos de rabia.

DISCUSIÓN

La mayoría de los casos registrados en la base de datos fue en ganado bovino, causados por la mordedura de *D. rotundus*. El empleo de períodos diferentes de notificación para los estados estudiados—San Luis Potosí desde 2001, Querétaro desde 2005 y Guanajuato desde 2008—, se debe a que la implementación de la campaña de control de la RPB no comenzó al mismo tiempo y a que en alguno de estos estados no se informó la enfermedad hasta que el número de casos se consideró suficientemente importante. Además, la falta de comunicación entre los servicios de salud y agropecuario pudo haber impedido que se informara oportunamente la presencia de casos, lo que puede haber llevado a minimizar el problema y a la subnotificación (29).

En concordancia con el hecho de que las condiciones climáticas y la presencia de ganado favorecen la distribución del vector, la mayor frecuencia de casos se observó en la Huasteca Potosina, donde

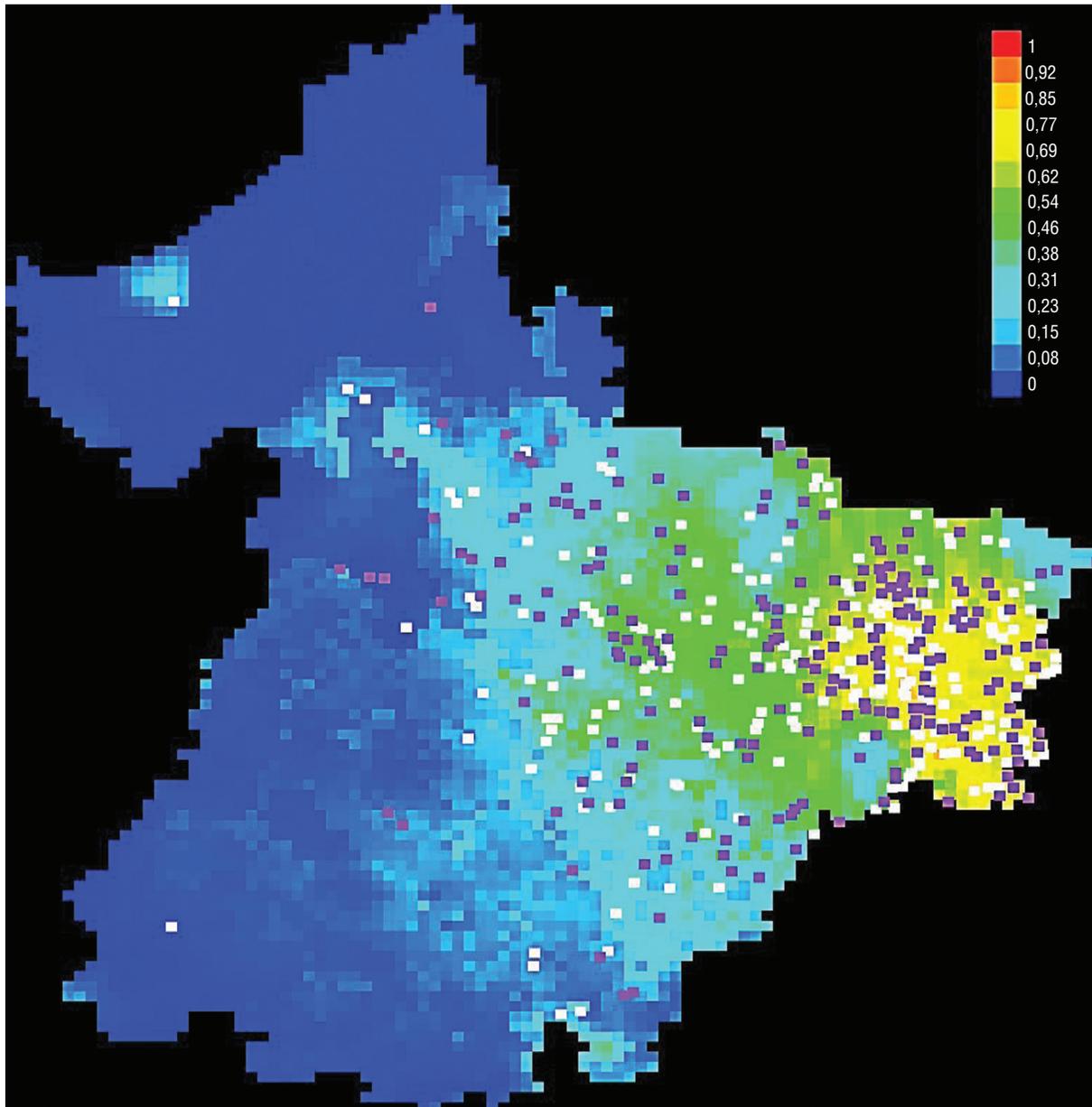
hay condiciones que favorecen la presencia del vector—la precipitación pluvial anual fue de 996,5 mm a 2 508 mm, la temperatura media anual fue de 25,3 °C y hay abundancia de ríos— (30, 31) y la población de ganado—534 547 cabezas— es muy superior a la de los otros dos estados incluidos en este estudio. Se estima que en áreas de alta densidad de murciélagos vampiros, un mismo bovino puede recibir hasta 12 mordeduras en una noche y alimentar hasta a cuatro de estos hematófagos a la vez (32).

Aunque la RPB está considerada una enfermedad propia de zonas con una altitud menor de 1 500 msnm, por ser el hábitat del vector (33, 34), se ha encontrado que este puede vivir en altitudes de hasta 3 600 msnm (35). Los presentes resultados corroboran esta afirmación, aunque queda aún por comprobar si esto obedece únicamente a la disponibilidad de alimento (36).

Según el canal endémico, los meses de enero, abril y octubre son los de mayor riesgo, debido a que el promedio de casos puede alcanzar valores de epidemia. Por lo tanto, la vacunación del ganado debe aplicarse entre julio y septiembre. Aunque todavía es necesario profundizar en este tema, se ha demostrado que la vacunación previa a la exposición puede ser más eficiente y rentable que el control de los murciélagos hematófagos (37, 38). La Norma Oficial Mexicana NOM-067-ZOO-2007 (17) establece que se debe vacunar al ganado en áreas endémicas al mes de nacido, con aplicaciones de refuerzo cuando cumplen tres y seis meses. Con este esquema se asegura la inmunización de los animales recién nacidos y durante la época de pastoreo (38). En las estrategias de vacunación es esencial considerar el ciclo reproductivo del murciélago hematófago—gestación en época de lluvias y lactancia de agosto a noviembre—, que está asociado con una mayor demanda de alimento y, en consecuencia, con un mayor número de ataques al ganado, lo que lleva a un mayor riesgo de ocurrencia de casos. Cabe recordar que en la variabilidad en el número de casos también influyen las condiciones climáticas que afectan al ciclo de vida del vector (14, 39).

El manejo que los productores dan al ganado bovino desempeña un papel importante en la incidencia de la RPB. En algunas regiones de México se aplican diferentes sistemas de pastoreo extensivo y algunos de ellos generan un

FIGURA 3. Zonas de probable presentación de casos de rabia parálitica transmitida por *Desmodus rotundus*, Guanajuato, Querétaro y San Luis Potosí, 2001–2013



Nota: La escala de colores indica las condiciones para la presencia de la especie (1: más favorable; 0: menos favorable). Los puntos blancos indican la ubicación de los casos de entrenamiento; los puntos violetas indican los lugares de prueba del modelo.

considerable movimiento de ganado en primavera y verano, épocas en la que hay mejores agostaderos. En la región de estudio, este trasiego se realiza de marzo a agosto, mientras que de julio a septiembre los animales se recluyen en corrales para su reproducción y la producción de leche. Es probable que estas prácticas influyan en la mayor o menor exposición del ganado al ataque del murciélago vampiro en ciertas épocas del año.

El modelo de máxima entropía para determinar el efecto de diferentes varia-

bles climáticas sobre la presencia de casos de rabia parálitica en la región de estudio reveló que las temperaturas medias, la precipitación anual durante los meses más cálidos y los meses más húmedos fueron las variables que mejor predijeron la diseminación de la enfermedad en la zona estudiada. Esto coincide con otros estudios, que sugieren que *D. rotundus* no tolera los climas fríos ni las bajas temperaturas del invierno, específicamente cuando son menores de 10 °C (40). No obstante, en este trabajo se

detectó la presencia de casos de rabia parálitica en el semidesierto de Querétaro, que no presenta las condiciones climáticas más apropiadas para la presencia del murciélago vampiro. Esta alteración de su hábitat natural y la colonización de nuevas regiones pudiera deberse a la presencia de ganado y ciertas características topográficas favorables del terreno, como la presencia de minas y cuevas de reciente creación (41).

Al analizar estos resultados, se debe tener en cuenta que la información de los

casos de rabia se basó en fuentes secundarias, por lo que puede haber un subregistro. Además, dado que los datos no provienen de un muestreo aleatorio, los resultados no son estadísticamente representativos de toda la población y la región estudiada, por lo que se deben tomar con cautela y su extrapolación es limitada.

No obstante, estos resultados demuestran que en la región central de México la RPB se está extendiendo a regiones que hasta hace poco tiempo se encontraban libres de esta enfermedad. Esto puede deberse a la migración del vampiro, la presencia de ganado y la propagación del virus. Se ha confirmado también que la especie *D. rotundus* es capaz de adaptarse a diferentes ecosistemas que le permitan alimentarse y sobrevivir, lo que también puede haber influido en la diseminación de la enfermedad. Así, la aparición de casos está relacionada con la distribución

del ganado y del murciélago vampiro, lo que puede estar asociado con diversas condiciones ambientales. Sin embargo, otro posible factor puede ser la urbanización de zonas rurales, que implica una mayor presencia de ganado, y cambios en las condiciones ambientales, que favorecen una mayor distribución del vector.

Se deben desarrollar estudios más profundos, específicos e interdisciplinarios para entender mejor la epidemiología, tanto del vector como del virus de la RPB. Las estrategias de control de la RPB deben tomar en cuenta que las características ambientales y la altura sobre el nivel del mar, por sí mismas, no son limitantes para la presentación de casos de la enfermedad. Por lo tanto, se recomienda mantener un monitoreo constante para la detección oportuna de casos cuando existan condiciones favorables para el vector y haya presencia de ganado, además de los antecedentes de casos en regiones cerca-

nas. Finalmente, la vacunación con la más amplia cobertura, antes del comienzo de las lluvias, debe ser oportuna y aplicarse de manera inteligente y programada, sin esperar la aparición de brotes.

Agradecimientos. Se agradece a los Comités de Fomento y Protección Pecuaria de los estados de Guanajuato, Querétaro y San Luis Potosí por la información proporcionada sobre casos de rabia, en especial, a los licenciados Calíope Bazaldúa Cuellar e Ignacio Amezcua Orozco, y al Dr. Carlos I. Urbano Carranza.

Conflicto de intereses. Ninguno.

Declaración. Las opiniones expresadas en este manuscrito son responsabilidad de los autores y no reflejan necesariamente los criterios ni la política de la RPSP/PAJPH y/o de la OPS.

REFERENCIAS

- Wunner WH. Rabies virus. En: Jackson AC, Wunner WH, eds. Rabies, 2.ª ed. Ontario: Elsevier; 2007. Pp. 23–69.
- World Health Organization. Rabies. Geneva: WHO; 2012. Disponible en: www.who.int/rabies/en/. Acceso el 5 de agosto de 2015.
- Organización Mundial de Sanidad Animal. Sanidad animal en el mundo. [Sitio en Internet]. París: OIE; 2013. Disponible en: <http://www.oie.int/es/sanidad-animal-en-el-mundo/portal-sobre-la-rabia/>. Acceso el 5 de agosto de 2015.
- Loza-Rubio E, Rojas AE, Banda RVM, Nadin-Davis SA, Cortez GB. Detection of multiple strains of rabies virus RNA using primers designed to target Mexican vampire bat variants. *Epidemiol Infect.* 2005; 133:927–34.
- Guerra MA, Curns AT, Rupprecht CE, Hanlon CA, Krebs JW, Childs JE. Skunk and raccoon rabies in the eastern United States: temporal and spatial analysis. *Emerg Infect Dis.* 2003;9(9):1143–50.
- Schneider MC, Romijn PC, Uieda W, Tamayo H, da Silva DF, Belotto A, et al. Rabies transmitted by vampire bats to humans: an emerging zoonotic disease in Latin America? *Rev Panam Salud Publica.* 2009;25(3):260–9.
- Hidalgo-Díaz MA. La rabia: una zoonosis mortal. *Rev Digit CENIAP Hoy.* 2005;7. Disponible en: http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/ceniaphoy/articulos/n7/arti/hidalgo_m/arti/hidalgo_m.htm. Acceso el 5 de agosto de 2015.
- Lee DN, Papes M, Van Den Bussche RA. Present and potential future distribution of common vampire bats in the Americas and the associated risk to cattle. *PLoS One.* 2012;8:e42466.
- Peel DS, Mathews KH Jr, Johnson RJ. Trade, the expanding Mexican beef industry, and feedlot and stocker cattle production in Mexico. Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service; 2011. Disponible en: <http://www.ers.usda.gov/Publications/LDP/2011/08Aug/LDPM20601/ldpm20601.pdf>. Acceso el 5 de agosto de 2015.
- Ramírez-Romero R, González Báez A, Nevárez Garza AM, Rodríguez Tovar LE. Informe de tres casos de rabia parálitica y babesiosis bovina en el municipio de Aldama, Tamaulipas. *Vet Mexico.* 2011; 42(4):331–8.
- Fornes A, Lord RD, Kuns ML, Largui OP, Fuenzalida E, Lazara L. Control of bovine rabies through vampire bats control. *J Wildl Dis.* 1974;10(4):310–6.
- Delpietro HA, Russo RG. Aspectos ecológicos de la agresión del vampiro y de la rabia parálitica en la Argentina y análisis de las propuestas efectuadas para su control. *Rev Sci Tech Int Epizoot.* 1996; 15(3): 971–84.
- Seetahal JFR, Velasco-Villa A, Allicock OM, Adesiyun AA, Bissessar J, Amour K, et al. Evolutionary history and phylogeography of rabies viruses associated with outbreaks in Trinidad. *PLoS Negl Trop Dis.* 2013;7(8):e2365.
- Brito-Hoyos DM, Brito Sierra E, Villalobos Álvarez R. Distribución geográfica del riesgo de rabia de origen silvestre y evaluación de los factores asociados con su incidencia en Colombia, 1982–2010. *Rev Panam Salud Publica.* 2013;33(1):8–14.
- Escobar LE, Peterson AT, Favi M, Yung V, Pons DJ, Medina Vogel G. Ecology and geography of transmission of two bat-borne rabies lineages in Chile. *PLoS Negl Trop Dis.* 2013;7(12):e2577.
- Ávila-Flores R, Medellín RA. Ecological, taxonomic, and physiological correlates of cave use by Mexican bats. *J Mammal.* 2004;85:675–87.
- México, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Norma Oficial Mexicana NOM-067-ZOO-2007. Campaña nacional para la prevención y control de la rabia en bovinos y especies ganaderas. Diario Oficial de la Federación 2011 mayo 20. Disponible en: <http://www.senasica.gob.mx/?doc=20856>. Acceso el 5 de agosto de 2015.
- Environmental Systems Research Institute. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: ESRI; 2011.
- Matheron G. La teoría de las variables regionalizadas y sus aplicaciones. En: Los Cuadernos del Centro de Morfología Matemática de Fontainebleau. Fascículo 5. París: Centro de Geoestadística de la Escuela de Minas de París; 1970. P. 125.
- Jaramillo AC, Martínez MJ. Epidemiología veterinaria. México, D.F.: El Manual Moderno; 2010.
- Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG, Jarvis A. The WorldClim interpolated global terrestrial climate surfaces, version 1.3. Berkeley: University of California; 2004.
- Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG, Jarvis A. Very high resolution interpolated climate surface for global land areas. *Int J Climatol.* 2005;25:1965–78.
- Young N, Carter L, Evangelista, P. A MaxEnt model v. 3.3.3 tutorial (ArcGIS v10).

- Fort Collins, CO: Natural Resource Ecology Laboratory, Colorado State University and the National Institute of Invasive Species Science. 2011.
24. Phillips SJ, Anderson RP, Schapire RE. Maximum entropy modeling of species geographic distribution. *Ecol Modell.* 2006; 190:231–59.
 25. Peterson AT. Ecologic niche modeling and spatial patterns of disease transmission. *Emerging Infect Dis.* 2006;12:1822–6.
 26. Phillips SJ. A brief tutorial on Maxent. New York: American Museum of Natural History; 2011. Disponible en: <https://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/tutorial/tutorial.doc> Acceso el 5 de agosto de 2015.
 27. Peterson AT. Ecological niche modeling and understanding the geography of disease transmission. *Vet Ital.* 2007;43:393–400.
 28. Kotait I, Gonçalves CA, Peres NF, Souza MCAM, Targueta MC. Controle da raiva dos herbívoros. Manual Técnico do Instituto Pasteur. Sao Paulo: Instituto Pasteur; 1998.
 29. Miranda AO, Núñez SE, Bogado F, Acosta RS, Báez NE. Los murciélagos hematófagos (*Desmodus rotundus*), vida en cautiverio. Corrientes: Universidad Nacional del Nordeste. 2005.
 30. Aguirre VM, Negrete JJ. Adaptación del murciélago hematófago en el Estado de Hidalgo. México, D.F.: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación; 2010. Disponible en: http://www.conasamexico.org.mx/conasa/docs_18a_reunion/salon6diamartes1200a1500/Victor_Manuel_Aguirre_Duarte.pdf Acceso el 5 de agosto de 2015.
 31. Voigt CC, Kelm DH. Host preference of the common vampire bat (*Desmodus rotundus*; Chiroptera) assessed by stable isotopes. *J Mammal.* 2006;87:1–6.
 32. Suzán G. *Desmodus rotundus*. En: Ceballos G, Oliva G, ed. Los mamíferos silvestres de México. México, D.F.: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Fondo de Cultura Económica; 2005. Pp. 986.
 33. Quintana NH, Pacheco VT. Identificación y distribución de los murciélagos vampiros del Perú. *Rev Peru Med Exp Salud Publica.* 2007;24(1):81–8.
 34. Martins FM, Templeton AR, Pavan AC, Kohlbach BC, Morgante JS. Phylogeography of the common vampire bat (*Desmodus rotundus*): marked population structure, Neotropical Pleistocene vicariance and incongruence between nuclear and mtDNA markers. *BMC Evol Biol.* 2009;9:294.
 35. Silva JA, Moreira EC, Haddad JPA, Sampaio IBM, Modena CM, Tubaldini MAS. Distribuição temporal e espacial da raiva bovina em Minas Gerais, 1976–1997. *Arq Bras Med Vet Zootec.* 2001;53:263–27.
 36. Almaraz ML, Setién A. Murciélagos benéficos y vampiros, características, importancia, rabia, control y conservación. México, D.F.: Editorial AGT Editor; 2006.
 37. Anderson A, Shwiff S, Gebhardt K, Ramirez AJ, Shwiff S, Kohler D, et al. Economic evaluation of vampire bat (*Desmodus rotundus*) rabies prevention in Mexico. *Transbound Emerg Dis.* 2012; 61:140–6.
 38. Oliveira AND, Andrade MCR, Silva, MVD, Moura WCD, Cortez-Contreiras E. Immune response in cattle vaccinated against rabies. *Mem Inst Oswaldo Cruz.* 2000;95:83–8.
 39. Rifakis PM, Benítez JA, Rodríguez-Morales AJ, Dickson SM, De la Paz-Pineda J. Ecoepidemiological and social factors related to rabies incidence in Venezuela during 2002–2004. *Int J Biomed Sci.* 2006; 2(1):3–7.
 40. Greenhall AM, Joermann G, Schmidt U. *Desmodus rotundus*. Mammalian species. 1983;202:1–6.
 41. Gomes MN, Monteiro AMV, Lewis N. Landscape risk factors for attacks of vampire bats on cattle in São Paulo, Brazil. *Prev Vet Med.* 2010;93(2–3):139–46.

Manuscrito recibido el 12 de febrero de 2015.
Aceptado para publicación, tras revisión, el 29 de julio de 2015.

ABSTRACT

Epidemiological trends in bovine paralytic rabies in central Mexico, 2001–2013

Objective. To determine the geospatial distribution of bovine paralytic rabies cases transmitted by *Desmodus rotundus* in the Mexican states of Guanajuato, Querétaro, and San Luis Potosí.

Methods. This was a cross-sectional epidemiological study based on cases reported during statewide campaigns for the control of bovine paralytic rabies in Guanajuato (2008–2013), Querétaro (2005–2013) and San Luis Potosí (2001–2013). All cases were confirmed by direct immunofluorescence. Maps showing the distribution of cases by year and species were constructed using ArcMap version 10.1. To identify areas where conditions favor the appearance of cases, bioclimatic variables were combined with georeferenced cases using MaxEnt version 3.3.3.

Results. Of the 1037 cases recorded, 911 (87.9%) occurred in San Luis Potosí, 82 (7.9%) in Querétaro, and 44 (4.2%) in Guanajuato. Of the total number of cases, 87.4% occurred at altitudes of less than 1500 meters above sea level. In Guanajuato and Querétaro, 77.3% and 42.3% of the cases, respectively, occurred at altitudes greater than 1 500 meters above sea level. Peak incidence was recorded from December to March. The V11 antigenic variant of the virus was the most common (173 cases); it was found in all three states. In the endemic channel, the average number of cases remains within the security zone from January to March but exceeds the median value from April to June. The spatial distribution of cases shows that the disease has spread recently, which correlates with the presence of the vampire bat.

Conclusions. Bovine paralytic rabies has spread to areas that were formerly free of the disease. Environmental characteristics and the altitude above sea level do not limit the appearance of cases. Constant monitoring should be conducted for early case detection. Vaccination should take place before the rainy season starts, without waiting for outbreaks to occur.

Key words

Rabies; chiroptera; zoonoses; cattle; Mexico.