

BORRELIA SPP. ASOCIADAS CON ANFIBIOS Y REPTILES: HOSPEDEROS Y DISTRIBUCIÓN MUNDIAL

BORRELIA SPP. ASSOCIATED TO AMPHIBIANS AND REPTILES: HOSTS AND GLOBAL DISTRIBUTION

PABLO COLUNGA-SALAS¹, Y. CAMILO BETANCUR-GARCÉS^{2*}, LETICIA M. OCHOA-OCHOA³, CARMEN GUZMÁN-CORNEJO⁴, SOKANI SÁNCHEZ-MONTES¹ E INGEBORG BECKER^{1*}

¹Centro de Medicina Tropical, Unidad de Investigación en Medicina Experimental, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México 04510, México.

²Laboratorio de Parasitología Especial, Unidad de Diagnóstico, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Medellín 050034, Colombia.

³Museo de Zoología "Alfonso L. Herrera", Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México 04510, México.

⁴Laboratorio de Acarología, Departamento de Biología Comparada, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México 04510, México.

de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango, Av. Universidad S/N, Fracc. Filadelfia, 35010 Gómez Palacio, Durango, México

*Correspondence author: ycamilo.betancur@udea.edu.co

Abstract.— Genus *Borrelia* is a group of bacteria transmitted by ticks, composed by three main clades, the Relapsing Fever, Lyme Borreliosis, and *Borrelia* Associated with Reptiles groups. Given the importance in public health of some species of *Borrelia*, the aim of this study was to explain the role of amphibians and reptiles in the cycle of this bacterium, through the analysis of published works on *Borrelia* associated with reptiles and their ticks. So far, 25 reptiles and only one amphibian species have been reported as hosts of seven *Borrelia* species, primarily from the Lyme Borreliosis group. Additionally, 11 species of ticks associated with 18 species of reptiles have been positive for the 7 species of *Borrelia*. Geographically, the records of *Borrelia* associated with reptiles are concentrated in Europe and E.U.A. These records show a close association with areas where human cases have been reported. Despite the importance of reptiles in the *Borrelia* sylvatic cycle, the role of some species of reptiles as hosts remains in doubt, since it has been observed that complement system has a borrelidicidal effect, so its zooprophyllactic paper could be used to generate new drugs. We highlight the importance of forming interdisciplinary groups to increase the knowledge of amphibians and reptiles as hosts of *Borrelia* and its role in the cycle of this bacteria.

Keywords.— borreliosis, Lyme disease, ticks, vector-borne diseases, zoonotic diseases.

Resumen.— El género *Borrelia* es un grupo de bacterias transmitidas por garrapatas, el cual está compuesto por tres clados principales, el de Fiebre Recurrente, el de Borreliosis de Lyme y las *Borrelias* Asociadas con Reptiles. Dada la importancia en salud pública de algunas especies de *Borrelia*, el objetivo fue explicar el papel de los anfibios y reptiles en el ciclo de esta bacteria, a través del análisis de los trabajos publicados sobre *Borrelias* asociadas con reptiles y sus garrapatas. Hasta el momento, 25 especies de reptiles y sólo una de anfibio han sido reportadas como hospederos de siete especies de *Borrelias*, principalmente del grupo de borreliosis de Lyme. Por otro lado, 11 especies de garrapatas asociadas con 18 especies de reptiles han sido positivas para las 7 especies de *Borrelia*. Geográficamente, los reportes de *Borrelias* asociadas con reptiles se concentran en Europa y E.U.A. Los registros presentan una asociación estrecha con las zonas donde se han reportado casos humanos. A pesar de la importancia de los reptiles en ciclo selvático de *Borrelia*, el papel de algunas especies de reptiles como hospederos sigue en duda, ya que se ha observado que el sistema del complemento tiene un efecto borrelidicida, por lo que es probable que dichas especies tengan un papel zooprofiláctico y puedan ser utilizadas como modelos para generar nuevos fármacos. Resalta la importancia de formar grupos interdisciplinarios para aumentar el conocimiento de los anfibios y reptiles como hospederos de *Borrelia* y su papel en el ciclo de dicha bacteria.

Palabras clave.— borreliosis, Enfermedad de Lyme, garrapatas, enfermedades transmitidas por vector, enfermedades zoonóticas.

INTRODUCCIÓN

El género *Borrelia* es un grupo de bacterias helicoidales transmitidas tanto al humano como a animales silvestres por artrópodos hematófagos. Este género se divide filogenéticamente en tres clados principales: 1) el grupo FR, en el que se incluye al agente causal de la Fiebre Recurrente (*Borrelia recurrentis*), 2) el grupo BL, en el que se ubican las borrelias causantes de la Borreliosis de Lyme [BL] (*Borrelia burgdorferi* s.l.) y 3) el que comprende a aquellas borrelias asociadas con reptiles (BAR) [Fig. 1] (Kurtenbach et al., 2006; Takano et al., 2010; Takano et al., 2011).

El grupo de FR comprende 11 especies, de las cuales, *B. recurrentis*, *B. hermsii*, *B. parkerii*, *B. duttoni* y *B. miyamotoi* han

sido confirmadas como patógenas para el humano (Fukunaga et al., 1995; Scoles et al., 2001). Históricamente, la transmisión de estos patógenos hacia poblaciones humanas en África, Eurasia y Norteamérica se ha asociado con garrapatas blandas (aquellas que carecen de escudo dorsal) de la familia Argasidae, principalmente aquellas del género *Ornithodoros* y *Argas*, así como por piojos del cuerpo [*Pediculus humanus humanus*] (Fukunaga et al., 1995; Scoles et al., 2001; Hayes y Dennis, 2004; Cutler et al., 2009). La Fiebre Recurrente es una enfermedad en la cual se alternan periodos febriles que duran de dos a siete días con lapsos afebriles de siete días (Hayes y Dennis, 2004; Benenson, 2011). La letalidad de estos patógenos en humanos cuando el tratamiento no se aplica durante los primeros siete días, ha sido registrada entre un 5 y 10% dependiendo de la especie de borrelia (Hayes y Dennis, 2004; Benenson, 2011). Por otro

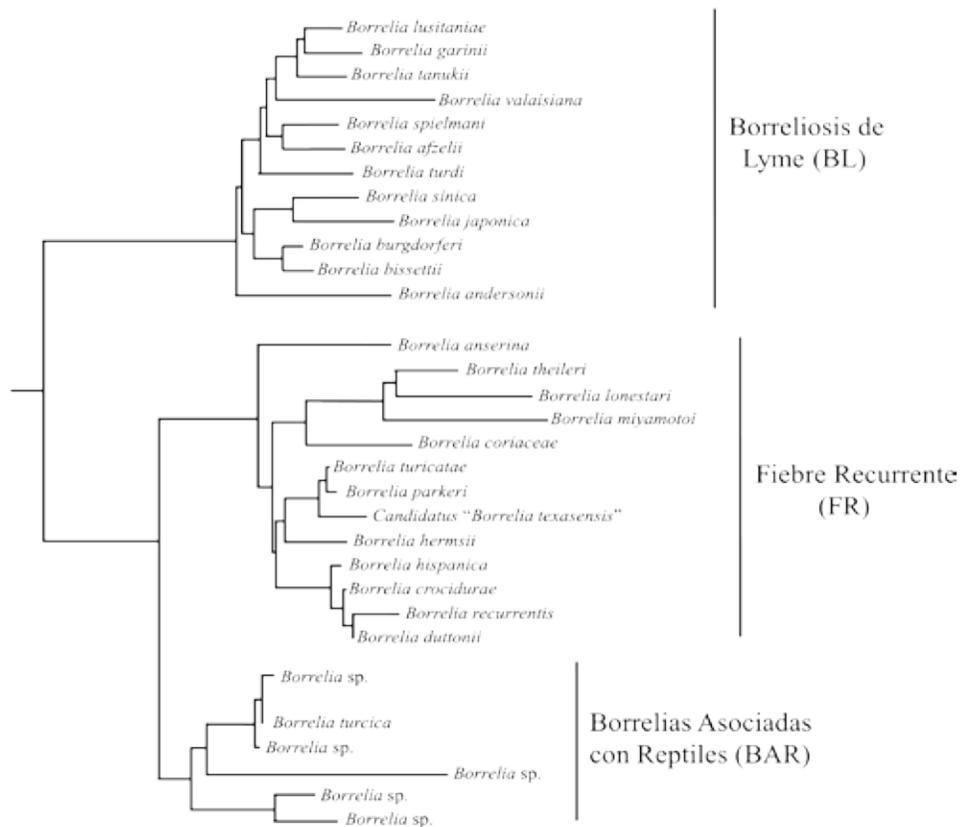


Figura 1. Dendrograma del género *Borrelia*. Análisis realizado a partir del gen 16 rDNA mediante Neighbor Joining, con 10,000 iteraciones de acuerdo con el método de distancias de Kimura 2 parámetros. Modificado de Takano et al. (2011).

Figure 1. Dendrogram of the genus *Borrelia*. Analysis based on 16 rDNA using Neighbor Joining and 10,000 bootstraps, with Kimura 2 parameters as substitution model. Modified of Takano et al. (2011).

lado, cuando el tratamiento es aplicado en tiempo y forma, las posibilidades de secuelas o daños sistémicos son muy bajas. Es importante mencionar que puede existir daño hepático cuando el tratamiento es tardío (Hayes y Dennis, 2004; Benenson, 2011).

El grupo BL comprende alrededor de 12 especies de las cuales *B. burgdorferi* s.s., *B. garinii*, *B. afzelii*, *B. lusitaniae* y *B. valaisiana* han sido referidas como agentes etiológicos de la enfermedad de Lyme (Collares-Pereira et al., 2004; Diza et al., 2004; Kurtenbach et al., 2006; Clark et al., 2013). Especies de Ixodidae (garrapatas duras, aquellas que sí presentan un escudo dorsal) de los géneros *Amblyomma* e *Ixodes* han sido identificadas como los vectores principales de este complejo de borrelias (Barbour et al., 1996; Kurtenbach et al., 2006; Colunga-Salas et al., datos no publicados). La enfermedad de Lyme se caracteriza por un eritema migratorio, síntomas generalizados como cefalea y fiebre. Si el paciente no recibe el tratamiento, pueden presentarse afecciones neuronales, reumáticas y/o cardíacas en combinaciones diversas que aparecen en el lapso de varios meses o años (Benenson, 2011; Steree et al., 2004).

No obstante, en el caso específico de la enfermedad de Lyme, la mayoría de los casos se resuelven favorablemente y sin secuelas

con el tratamiento adecuado. Sin embargo, existen algunos reportes en los cuales el paciente puede reincidir incluso después de algunos años, esto cuando las borrelias invaden el sistema nervioso (Colunga-Salas et al., datos no publicados).

Finalmente, el grupo conocido como “borrelias asociadas con reptiles” ha sido propuesto por Takano et al. (2010; 2011) como el grupo ancestral del género *Borrelia*, el cual se cree que debe ser transmitido por garrapatas duras (Takano et al., 2010; Takano et al., 2011; Trinachartvanit et al., 2016). Hasta el momento, éste es un grupo monotípico, ya que incluye sólo a la especie *Borrelia turcica*, sin embargo, se ha referido la existencia de por lo menos tres especies más que aún no han sido descritas (Fig. 1) y cuya patogenicidad hacia el humano aún no ha sido comprobada (Takano et al., 2010; Takano et al., 2011).

Dada la importancia en salud pública de las especies incluidas en el género *Borrelia*, el objetivo del trabajo fue explicar el papel de los reptiles en el ciclo de vida selvático de *Borrelia* y su importancia como reservorios potenciales de la bacteria, analizando los trabajos publicados hasta 2017 sobre infecciones de esta bacteria en reptiles y sus garrapatas asociadas.

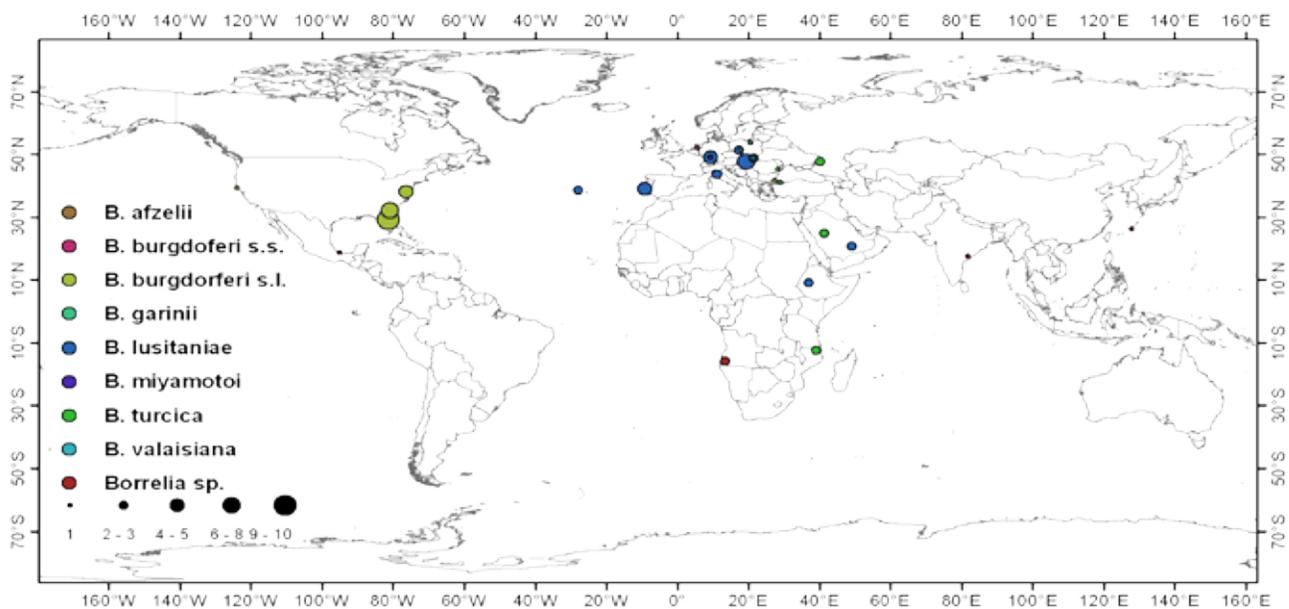


Figura 2. Ubicación geográfica de estudios herpetológicos y sus garrapatas asociadas en los que se ha detectado la presencia de *Borrelia*. El tamaño de los círculos representa el número de estudios por zona geográfica.

Figure 2. Geographic location of studies with herpetofauna and their associated ticks where *Borrelia* has been identified. Circle sizes represent the number of studies in each geographic zone.

Hospederos reptiles

Históricamente, los reptiles han sido considerados hospederos de garrapatas duras, ayudando a mantener las poblaciones de garrapatas en el medio silvestre, por lo cual, si el hospedero reptil presenta una infección por borrelias, éstas pueden ser adquiridas a través de garrapatas, incrementando la posibilidad de infectar otros hospederos, incluyendo al humano (Casher et al., 2002; Durden et al., 2002; Giery y Ostfeld, 2007).

A pesar de la importante función de los reptiles para mantener las borrelias en el ciclo selvático, existe controversia acerca del papel de algunas especies de reptiles como hospederos de *Borrelia* ya que se ha observado que el complemento (parte del sistema inmune innato de los organismos que se compone de un conjunto de proteínas las cuales reconocen y se unen a antígenos externos para crear poros en la membrana e inducir la lisis de la bacteria) de algunas especies de reptiles posee actividad borrelícida, con lo cual se elimina la bacteria del hospedero reptil, sin embargo, es importante mencionar que durante la etapa inicial de la infección (antes que el complemento actúe) es posible detectar la presencia de borrelias en los reptiles (Lane y Loye, 1989; Matuschka et al., 1992). Dada esta actividad borrelícida, se ha propuesto que algunas especies de reptiles son importantes dado el rol zooprofiláctico, ya que pueden prevenir la infección de borrelias en las garrapatas y con ello evitar la transmisión a otros hospederos (Lane y Loye, 1989; Matuschka et al. 1992; Wright et al., 1998). Específicamente, la lagartija del sureste (*Elgaria multicarinata*, habitante de California, E.U.A. y Baja California, México) ha sido considerada como hospedero no competente para mantener especies del complejo *B. burgdorferi* ya que presenta actividad borrelícida (Wright et al., 1998; Kuo et al., 2000), mientras que en el lagarto verde nativo de Europa (*Lacerta agilis*) y en la lagartija de cerco occidental (*S. occidentalis*), no se ha podido comprobar in vitro su papel como reservorios competentes de especies para el mismo complejo de *B. burgdorferi* (Matuschka et al., 1992; Kuo et al., 2000).

Hasta el momento, el orden Squamata es el que presenta la mayor cantidad de especies referidas como potenciales reservorios para alguna especie de *Borrelia*. Dentro de este grupo de reptiles, las lagartijas son las que cuentan con la mayor cantidad de registros, con un total de 16 especies positivas a alguna especie de *Borrelia* del grupo de BL, seguido por el suborden Serpentes con sólo una especie del mismo grupo de borrelias (Tabla 1). El siguiente orden de reptiles con mayor cantidad de registros es Testudines con tres especies positivas tanto por *B. burgdorferi* s.l., del grupo de BL y *B. turcica* del complejo de FR (Tabla 1).

La detección de cuatro especies de *Borrelia*, asociadas con 20 especies de reptiles en localidades cercanas a zonas donde se han reportado casos humanos de enfermedad de Lyme, mantiene la posibilidad de que este grupo de vertebrados puedan ser hospederos competentes que participan en el mantenimiento del ciclo silvestre de dichos patógenos (Diza et al., 2004; Kurtenbach et al., 2006; Clark et al., 2013). Ante lo cual, resulta necesario no descartar la búsqueda intencionada de hospederos reptiles (principalmente lagartijas) de especies de este género de bacterias helicoidales, así como, incluir a los anfibios para descartar o confirmar su rol como potenciales reservorios silvestres de estas bacterias.

Vectores de *Borrelia* spp. asociadas con reptiles.

Como se mencionó anteriormente, las garrapatas son los principales vectores asociados con la transmisión de especies del género *Borrelia*, esto se debe a sus hábitos alimenticios (hematófagos), así como a su preferencia hospedatoria hacia vertebrados terrestres silvestres, por lo que han sido reconocidos como vectores potenciales de diversos patógenos, al transmitirlos durante la alimentación (Scoles et al., 2004; Kurtenbach et al., 2006; Takano et al., 2010; Takano et al., 2011). En el caso específico de bacterias del género *Borrelia*, éstas se alojan en el intestino medio de la garrapata, donde se reproducen. Posteriormente viajan a las glándulas salivales, para ser transmitidas al hospedero mediante la saliva (Cook, 2015).

En los grupos de las BAR y BL, cuyos vectores principales son garrapatas de la familia Ixodidae, son 11 las especies que han sido reconocidas y/o confirmadas como vectores de borrelias y que a su vez, se alimentan de reptiles en alguno de sus estadios de desarrollo (larva y/o ninfa y/o adulto), las cuales corresponden a siete especies del género *Amblyomma*, una de los géneros *Dermacentor* e *Hyalomma*, así como tres especies del género *Ixodes* (Tabla 1). Por otro lado, únicamente *Ixodes ricinus* ha sido registrada como vector potencial de *B. miyamotoi* (Richter y Matuschka, 2006). Este registro sugiere que especies de garrapatas duras pueden ser vectores de borrelias del grupo FR, además de las especies previamente referidas de garrapatas blandas (Hayes y Dennis, 2004; Scoles et al., 2004; Cutler et al., 2009).

Resalta la importancia de la familia Ixodidae, como la única en la cual se han registrado borrelias de los grupos BL y BAR, que a su vez han estado asociadas con anfibios y reptiles (Tabla 1), mientras que las garrapatas blandas, han sido poco estudiadas en este sentido, debido probablemente a la dificultad para recolectarlas y para su identificación taxonómica. Sin embargo, es necesario resaltar que la importancia de este grupo

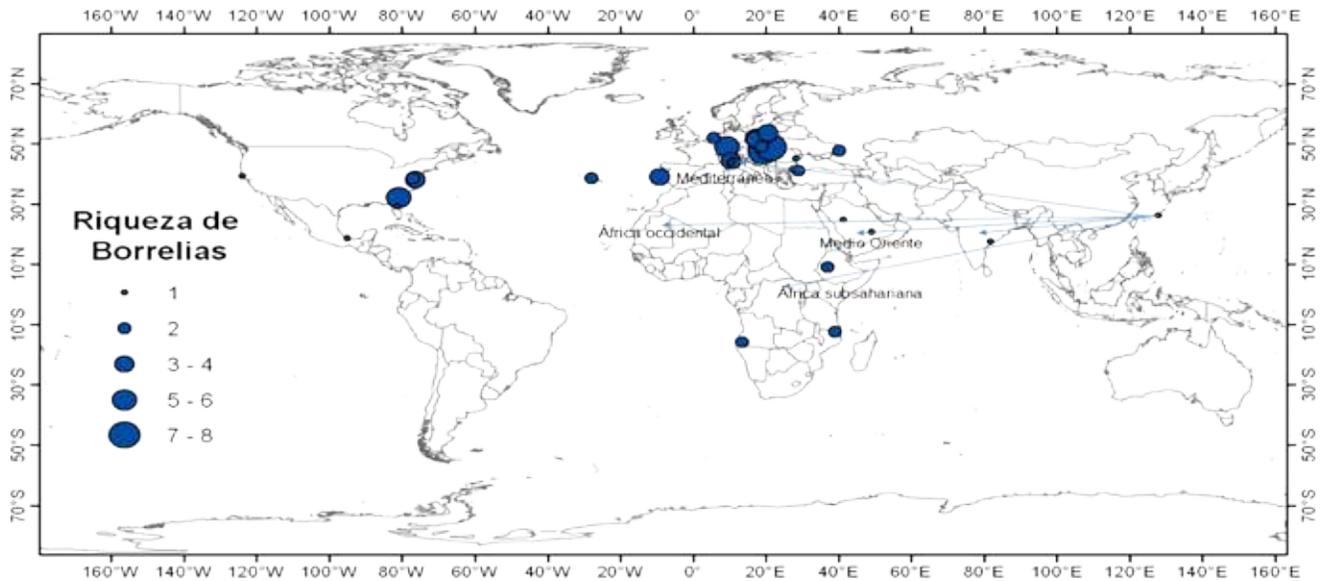


Figura 3. Riqueza de especies de *Borrelia*. El tamaño de los círculos representa el número de especies por localidad. Las flechas representan las zonas originarias de los registros importados.

Figure 3. Geographic Species richness of *Borrelia* genus. Circle sizes represent the number of species recorded per locality. Blue arrows represent the origin where are from.

de garrapatas radica en que son vectores del grupo de FR, el cual puede provocar graves problemas de salud en poblaciones humanas (Fukunaga et al., 1995; Scoles et al., 2001; Hayes y Dennis, 2004; Cutler et al., 2009). Por lo anterior, es necesario continuar con los estudios de argásidos como vectores de borrelias, así como de sus hospederos reptiles.

Es importante resaltar que de las siete especies de *Borrelia* que han sido registradas en garrapatas asociadas con anfibios y reptiles, tres de ellas, *B. garinii*, *B. miyamotoi* y *B. valaisiana* se reportaron sólo en garrapatas (asociadas con reptiles) y no en sus huéspedes. Mientras que *B. afzelii*, *B. burgdorferi* s.s. y s.l., *B. lusitaniae* y *B. turcica* han sido registradas tanto en reptiles como en sus garrapatas asociadas (Tabla 1).

De las siete especies de *Borrelia* registradas en garrapatas asociadas con reptiles, el 71% (cinco especies) corresponden a especies del grupo de BL, mientras que el restante 29% de las especies está repartido de manera uniforme entre el grupo de FR y de las BAR (Tabla 1), por lo cual, los reptiles podrían ser un buen grupo para monitorear especies del grupo de BL en zonas endémicas de la Enfermedad de Lyme y con ello planear acciones de vigilancia epidemiológica en fauna silvestre con el fin de mitigar o reducir el número de casos humanos (Takano et al., 2010 y 2011).

A pesar de que son 11 las especies de garrapatas asociadas con reptiles que han sido consideradas como vectores de *Borrelia*, es importante mencionar que existen otras especies de garrapatas duras (Ixodidae) que se alimentan de reptiles y por ende deben ser consideradas como vectores potenciales para este género de bacterias tomando en cuenta la capacidad de algunas especies de reptiles como reservorios potenciales de borrelias.

Otro punto importante de resaltar es que el trabajo realizado por Colunga-Salas et al. (datos sin publicar), es el único trabajo en el cual se registra una especie de *Borrelia* en garrapatas asociadas con anfibios en el Mundo, lo cual abre la posibilidad de este grupo de vertebrados como posibles reservorios de estas bacterias y por ende la necesidad de incluirlos en estudios enfocados al registro y mantenimiento de borrelias tanto en las garrapatas asociadas, como su posible rol de hospederos.

Distribución geográfica de *Borrelia* spp. potencialmente zoonóticas asociadas con reptiles y/o vectores

Los principales estudios en los cuales se han obtenido evidencias acerca de la presencia de *Borrelia* en reptiles se concentran en la zona centro de Europa y Portugal, así como en el Este y Oeste de E.U.A., lugares que a su vez concentran la mayor riqueza de especies de *Borrelia* asociadas a reptiles (Figs. 2 y 3; Tabla 1).

Es importante resaltar que la región de Eurasia presenta la mayor riqueza del género *Borrelia* registrada en reptiles [Fig. 3] (Majláthová et al., 2006; Kurtenbach et al., 2006; Richter y Matuschka, 2006; Földvári et al., 2009; Ekner et al., 2011; De Sousa et al., 2012; Norte et al., 2015), mientras que E.U.A. es el país que posee el mayor número de casos reportados a nivel mundial causados principalmente por *B. burgdorferi* s.s. [Figs. 3 y 4] (Clark et al. 2005; Kurtenbach et al., 2006; Giery y Ostfeld, 2007; Swanson y Norris, 2007).

Por otro lado, las especies del género *Borrelia* registradas hasta el momento tanto en garrapatas como en reptiles presentan una asociación estrecha con los casos humanos referidos, ya que en zonas donde se refieren casos humanos también existen reptiles positivos a especies de borrelias del grupo de BL; sin embargo, esta relación está más acentuada en el centro de Europa (Fig. 3). A pesar de esta relación, existen registros de *Borrelia* en África, en zonas sin casos humanos documentados. Lo anterior, probablemente sea causado por la escasa notificación de casos humanos y los nulos estudios en fauna silvestre (Figs. 2 y 4). Otra zona importante de resaltar es América del Sur, donde existen

casos humanos documentados, pero no existe ningún estudio de *Borrelia* detectadas en reptiles ni sus garrapatas asociadas (Figs. 2 y 4).

Japón destaca como el único país en el cual la totalidad de registros de borrelias asociadas con reptiles y en sus garrapatas son importados, principalmente del área de África, Medio Oriente (incluyendo a la India) y del Mediterráneo (Fig. 2), lo cual denota la importancia de los animales exóticos como dispersores de patógenos y ectoparásitos que pueden fungir como fuente de infecciones y favorecer la generación de casos humanos en sitios donde previamente no se habían detectado. Por ello resulta necesario implementar medidas de vigilancia epidemiológica activa, como pruebas serológicas o de biología molecular (PCR) en las principales zonas de comercio de herpetofauna, así como en las zonas de exportación (Takano et al., 2010 y 2011).

Finalmente, es importante resaltar que, en América Latina, las borrelias son un grupo de bacterias escasamente estudiado y a pesar de que en México, Venezuela y Brasil hay casos confirmados de borreliosis (Fig. 3), actualmente, en México

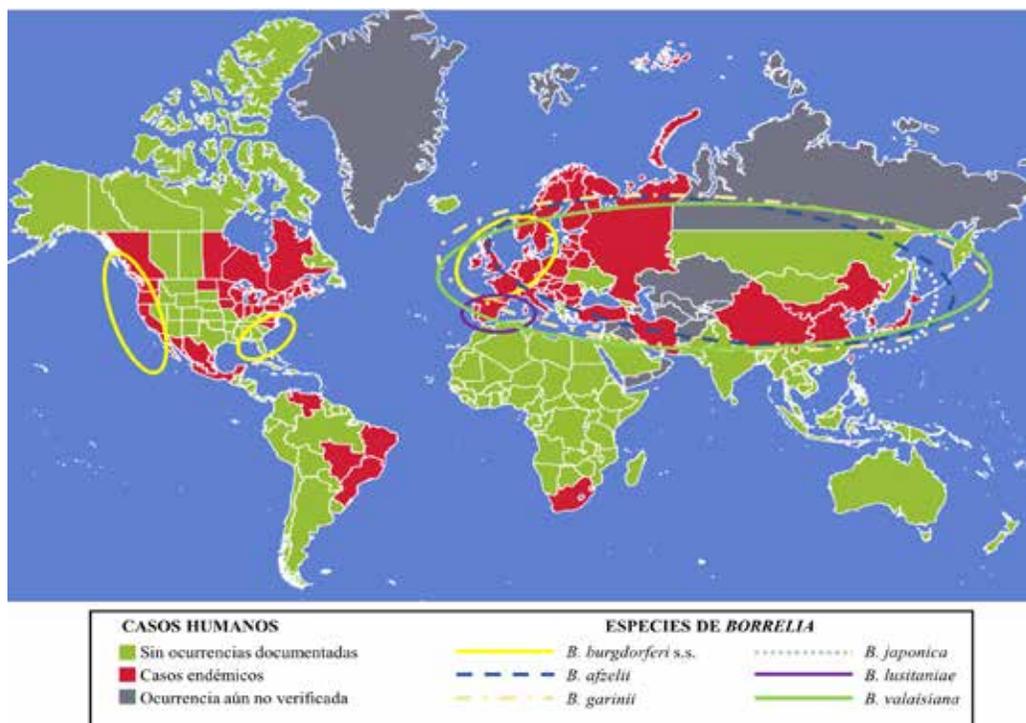


Figura 4. Mapa de ocurrencia de la Enfermedad de Lyme en humanos. En círculos se representan las especies del grupo de BL confirmadas como patógenas para el ser humano. Tomado y modificado de Kurtenbach et al. (2006) y de la Compañía de Enfermedades Transmitidas por Vector (CVBD, por sus siglas en inglés), disponible en: <http://www.cvbd.org>. Consultado el: 11-05-2018.

Figure 4. Lyme disease occurrence map. Circles represent species from BL group confirmed as human pathogens. Taken and modified from Kurtenbach et al. (2006) and Company of Vector-Borne Diseases (CVBD), available: <http://www.cvbd.org>. Consulted 05-11-2018.

Orden	Suborden	Especie hospedera	Especie de garrapata	Especie de Borrelia	País	Nombre de la enfermedad en humanos	Referencia
Anura		Rhinella marina	Amblyomma dissimile	Borrelia sp.	México	ND	Colunga-Salas et al. (datos no publicados)
Squamata		Anolis carolinensis	—	B. burgdorferi s.l.	E.U.A.	Enfermedad de Lyme	Clark et al. 2005
		Anolis sagrei	—	B. burgdorferi s.l.	E.U.A.	Enfermedad de Lyme	Clark et al. 2005
	Lacertilia	Aspidoscelis sexlineatus	—	B. burgdorferi s.l.	E.U.A.	Enfermedad de Lyme	Clark et al. 2005
		Lacerta agilis	Ixodes ricinus	B. afzelii	Polonia	Enfermedad de Lyme	Gryczyńska-Siemiątkowska et al. 2007
				B. burgdorferi s.s.	Polonia	Enfermedad de Lyme	Gryczyńska-Siemiątkowska et al. 2007
				B. burgdorferi s.l.	Polonia	Enfermedad de Lyme	Ekner et al. 2011
				B. burgdorferi s.l.	Polonia	Enfermedad de Lyme	Ekner et al. 2011
				B. garinii	Polonia	Enfermedad de Lyme	Gryczyńska-Siemiątkowska et al. 2007
				B. lusitaniae	Polonia	Enfermedad de Lyme	Ekner et al. 2011
			—	B. afzelii	Países Bajos	Enfermedad de Lyme	Tijssse-Klasen et al. 2010
				B. burgdorferi s.s.	Países Bajos	Enfermedad de Lyme	Tijssse-Klasen et al. 2010
				B. lusitaniae	Polonia	Enfermedad de Lyme	Ekner et al. 2011
				B. lusitaniae	Hungría	Enfermedad de Lyme	Földvári et al. 2009
				B. lusitaniae	Alemania	Enfermedad de Lyme	Richter y Matuschka 2006
		Lacerta agilis agilis	Ixodes ricinus	B. afzelii	Eslovaquia	Enfermedad de Lyme	Majláthová et al. 2008
				B. afzelii	Polonia	Enfermedad de Lyme	Majláthová et al. 2008
				B. burgdorferi s.s.	Polonia	Enfermedad de Lyme	Majláthová et al. 2008
				B. garinii	Polonia	Enfermedad de Lyme	Majláthová et al. 2008
				B. lusitaniae	Eslovaquia	Enfermedad de Lyme	Majláthová et al. 2008
				B. lusitaniae	Polonia	Enfermedad de Lyme	Majláthová et al. 2008
				B. valaisiana	Polonia	Enfermedad de Lyme	Majláthová et al. 2008
		Lacerta schreibleri	Ixodes ricinus	B. lusitaniae	Portugal	Enfermedad de Lyme	Norte et al. 2015
		Lacerta viridis	Dermacentor marginatus	B. lusitaniae	Eslovaquia	Enfermedad de Lyme	Václav et al. 2011
			Ixodes ricinus	B. afzelii	Hungría	Enfermedad de Lyme	Földvári et al. 2009
				B. afzelii	Eslovaquia	Enfermedad de Lyme	Majláthová et al. 2006
				B. burgdorferi s.s.	Eslovaquia	Enfermedad de Lyme	Majláthová et al. 2006
				B. garinii	Eslovaquia	Enfermedad de Lyme	Majláthová et al. 2006

Orden	Suborden	Especie hospedera	Especie de garrapata	Especie de borreliia	País	Nombre de la enfermedad en humanos	Referencia
				<i>B. lusitaniae</i>	Hungría	Enfermedad de Lyme	Földvári et al. 2009
				<i>B. lusitaniae</i>	Eslovaquia	Enfermedad de Lyme	Majláthová et al. 2006
				<i>B. lusitaniae</i>	Eslovaquia	Enfermedad de Lyme	Václav et al. 2011
			—	<i>B. garinii</i>	Eslovaquia	Enfermedad de Lyme	Majláthová et al. 2006
				<i>B. lusitaniae</i>	Eslovaquia	Enfermedad de Lyme	Majláthová et al. 2006
				<i>B. valaisiana</i>	Eslovaquia	Enfermedad de Lyme	Majláthová et al. 2006
				<i>B. lusitaniae</i>	Eslovaquia	Enfermedad de Lyme	Václav et al. 2011
		<i>Ophisaurus ventralis</i>	—	<i>B. burgdorferi</i> s.l.	E.U.A.	Enfermedad de Lyme	Clark et al. 2005
		<i>Plestiodon fasciatus</i>	<i>Ixodes scapularis</i>	<i>B. burgdorferi</i> s.l.	E.U.A.	Enfermedad de Lyme	Swanson y Norris 2007
				<i>B. burgdorferi</i> s.s.	E.U.A.	Enfermedad de Lyme	Swanson y Norris 2007
			—	<i>B. burgdorferi</i> s.s.	E.U.A.	Enfermedad de Lyme	Swanson y Norris 2007
		<i>Plestiodon inexpectatus</i>	—	<i>B. burgdorferi</i> s.l.	E.U.A.	Enfermedad de Lyme	Clark et al. 2005
		<i>Plestiodon laticeps</i>	<i>Ixodes scapularis</i>	<i>B. burgdorferi</i> s.l.	E.U.A.	Enfermedad de Lyme	Clark et al. 2005
			—	<i>B. burgdorferi</i> s.l.	E.U.A.	Enfermedad de Lyme	Clark et al. 2005
		<i>Podarcis hispanicus</i>	<i>Ixodes ricinus</i>	<i>B. lusitaniae</i>	Portugal	Enfermedad de Lyme	Norte et al. 2015
			—	<i>B. lusitaniae</i>	Portugal	Enfermedad de Lyme	Norte et al. 2015
		<i>Podarcis muralis</i>	<i>Ixodes ricinus</i>	<i>B. afzelii</i>	Italia	Enfermedad de Lyme	Tomassone et al. 2017
				<i>B. garinii</i>	Italia	Enfermedad de Lyme	Tomassone et al. 2017
				<i>B. lusitaniae</i>	Italia	Enfermedad de Lyme	Amore et al. 2007
				<i>B. lusitaniae</i>	Italia	Enfermedad de Lyme	Grego et al. 2007
				<i>B. lusitaniae</i>	Alemania	Enfermedad de Lyme	Richter y Matuschka 2006
				<i>B. lusitaniae</i>	Italia	Enfermedad de Lyme	Tomassone et al. 2017
				<i>B. miyamotoi</i>	Alemania	Fiebre Recurrente	Richter y Matuschka 2006
				<i>B. valaisiana</i>	Alemania	Enfermedad de Lyme	Richter y Matuschka 2006
				<i>B. valaisiana</i>	Italia	Enfermedad de Lyme	Tomassone et al. 2017
			—	<i>B. lusitaniae</i>	Alemania	Enfermedad de Lyme	Richter y Matuschka 2006
		<i>Podarcis</i> sp	<i>Ixodes ricinus</i>	<i>B. lusitaniae</i>	Italia	Enfermedad de Lyme	Regaggi et al. 2011

Orden	Suborden	Especie hospedera	Especie de garrapata	Especie de Borrelia	País	Nombre de la enfermedad en humanos	Referencia
		<i>Podarcis tauricus</i>	<i>Ixodes ricinus</i>	<i>B. afzelii</i>	Hungría	Enfermedad de Lyme	Földvári et al. 2009
				<i>B. burgdorferi</i> s.s.	Hungría	Enfermedad de Lyme	Földvári et al. 2009
				<i>B. lusitaniae</i>	Hungría	Enfermedad de Lyme	Földvári et al. 2009
				<i>B. lusitaniae</i>	Hungría	Enfermedad de Lyme	Földvári et al. 2009
		<i>Psammotromus algirus</i>	<i>Ixodes ricinus</i>	<i>B. lusitaniae</i>	Túnez	Enfermedad de Lyme	Dsouli et al. 2006
				<i>B. lusitaniae</i>	Portugal	Enfermedad de Lyme	Norte et al. 2015
				<i>B. lusitaniae</i>	Túnez	Enfermedad de Lyme	Dsouli et al. 2006
		<i>Sceloporus occidentalis</i>	<i>Ixodes pacificus</i>	<i>B. burgdorferi</i> s.l.	E.U.A.	Enfermedad de Lyme	Lane y Loye 1989
		<i>Sceloporus undulatus</i>		<i>B. burgdorferi</i> s.l.	E.U.A.	Enfermedad de Lyme	Clark et al. 2005
		<i>Sceloporus woodi</i>		<i>B. burgdorferi</i> s.l.	E.U.A.	Enfermedad de Lyme	Giery y Ostfeld 2007
				<i>B. burgdorferi</i> s.s.	E.U.A.	Enfermedad de Lyme	Swanson y Norris 2007
		<i>Scincella lateralis</i>		<i>B. burgdorferi</i> s.l.	E.U.A.	Enfermedad de Lyme	Clark et al. 2005
		<i>Teira dugesii</i>	<i>Ixodes ricinus</i>	<i>B. lusitaniae</i>	Portugal	Enfermedad de Lyme	Clark et al. 2005
		<i>Boiga forsteni</i>		<i>B. lusitaniae</i>	Portugal	Enfermedad de Lyme	De Sousa et al. 2012
Squamata	Serpentes		<i>Amblyomma trimaeculatum</i>	<i>Borrelia</i> sp.	Japón	ND	Takano et al. 2010
		<i>Python regius</i>	<i>Amblyomma latum</i>	<i>Borrelia</i> sp.	Japón	ND	Takano et al. 2010
			<i>Amblyomma transversale</i>	<i>Borrelia</i> sp.	Japón	ND	Takano et al. 2010
Testudines	Cryptodira	<i>Cuora flavomarginata evelynae</i>	<i>Amblyomma geomydae</i>	<i>Borrelia</i> sp.	Japón	ND	Takano et al. 2011
		<i>Stigmochelys pardalis</i>	<i>Amblyomma sparsum</i>	<i>B. turcica</i>	Japón	ND	Takano et al. 2010
				<i>B. turcica</i>	Japón	ND	Takano et al. 2010
		<i>Testudo graeca</i>	<i>Hyalomma aegyptium</i>	<i>B. burgdorferi</i> s.l.	Turquía	Enfermedad de Lyme	Kar et al. 2011
				<i>B. turcica</i>	Turquía	ND	Güner et al. 2004
				<i>B. turcica</i>	Rumania	ND	Kalmár et al. 2010
				<i>B. turcica</i>	Japón	ND	Takano et al. 2010
				<i>B. turcica</i>	Japón	ND	Takano et al. 2010
		<i>Testudo horsfieldii</i>	<i>Hyalomma aegyptium</i>	<i>B. turcica</i>	Japón	ND	Takano et al. 2010
				<i>B. turcica</i>	Japón	ND	Takano et al. 2010

existe sólo un equipo multidisciplinario activo trabajando con vertebrados terrestres, sus garrapatas asociadas y su infección por este grupo de bacterias en el Centro de Medicina Tropical de la Facultad de Medicina, UNAM (en la Unidad de Medicina Experimental, Hospital General de México, institución que también ofrece pruebas de detección para estas bacterias) en conjunto con el Museo de Zoología “Alfonso L. Herrera” de la Facultad de Ciencias, en el campus central de la UNAM. Sin embargo, es importante mencionar que anteriormente, el grupo de la Dra. María Guadalupe Gordillo Pérez (en la Unidad de Investigación Médica de Enfermedades Infecciosas y Parasitarias) fue pionero en la rama de la borreliosis en México (Gordillo et al., 1999 y 2007).

Por lo anterior, en este trabajo resaltamos la necesidad e importancia de formar grupos interdisciplinarios que se dediquen al estudio de estas bacterias, con lo cual se incrementaría el conocimiento acerca de esta relación parásito-hospedero y sobre diferentes aspectos tales como su biología, ecología, epidemiología, entre otros.

CONCLUSIONES

El género *Borrelia* está dividido en tres principales grupos, el grupo causante de la Enfermedad de Lyme, el causante de la Fiebre Recurrente y el grupo de Borrelias asociadas con reptiles, el cual se considera actualmente como el grupo ancestral. Este último ha sido poco estudiado y no incluye especies consideradas patógenas para el humano, sin embargo, esto último no debe ser descartado.

Se ha observado un efecto borrelícida en algunas especies de reptiles, esta característica puede ser importante para futuras investigaciones inmunológicas que puedan resultar en nuevos fármacos para estos padecimientos. A nivel mundial se han encontrado 32 registros de cuatro especies del género *Borrelia* de los tres grupos principales asociadas con reptiles y sus garrapatas (BL, FR y BAR). Un total de 11 especies de garrapatas asociadas a reptiles, han sido registradas positivas a siete especies descritas de *Borrelia*.

La mayoría de las especies que circulan en reptiles y sus garrapatas corresponden a especies del complejo *B. burgdorferi* s.l., debido probablemente a la gran diversidad de especies dentro de ese grupo de borrelias. *Borrelia afzelii*, *B. burgdorferi* s.s., *B. lusitaniae* y *B. turcica* son las únicas especies que han sido reportadas tanto en reptiles como en sus garrapatas asociadas.

Sólo existe un estudio en el cuales se registran garrapatas

asociadas con anfibios positivas a alguna especie de *Borrelia*, por lo cual se sugiere incrementar el estudio en este grupo de vertebrados. Únicamente en el centro de Europa se observa una relación geográfica entre el número de registros de *Borrelia* en reptiles y sus garrapatas, con la riqueza de especies de *Borrelia* y con casos humanos.

A pesar que el número de especies del género *Borrelia* de importancia médica es alto, poco se ha trabajado a nivel mundial en relación con el estudio de los reservorios herpetológicos y de los vectores asociados con este grupo de vertebrados, por lo que los estudios resultan escasos y están limitados a zonas donde los casos de borreliosis son altos.

Resulta necesario formar grupos interdisciplinarios para aumentar los estudios sobre las relaciones entre reptiles, sus ectoparásitos asociados y patógenos, con el fin de generar conocimiento que pueda ser de ayuda para la vigilancia epidemiológica en fauna silvestre y su relación con casos humanos.

Agradecimientos.— Agradecemos los comentarios en la redacción del manuscrito a Rafa de Villa y a los comentarios de los revisores que ayudaron a mejorar el escrito.

LITERATURA CITADA

- Amore, G., L. Tomssone, E. Grego, C. Ragagli, L. Bertolotti, P. Nebbia, S. Rosati, y A. Mannelli. 2007. *Borrelia lusitaniae* in Immature *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) Feeding on Common Wall Lizards in Tuscany, Central Italy. *Journal of Medical Entomology* 44: 303–307.
- Barbour, A.G., G.O. Maupin, G.J. Teltow, C.J. Carter, y J. Piesman. 1996. Identification of an Uncultivable *Borrelia* Species in the Hard Tick *Amblyomma americanum*: Possible Agent of a Lyme Disease-like Illness. *The Journal of Infectious Diseases* 173: 403–409.
- Benenson, A.S. 2011. Manual para el Control de las Enfermedades transmisibles. 19 edición. Organización Panamericana de la Salud.
- Casher, L., R. Lane, R. Barrett, y L. Eisen. 2002. Relative importance of lizards and mammals as hosts for Ixodid ticks in Northern California. *Experimental and Applied Acarology* 26: 127–143.
- Clark, K.L., A. Hendricks, y D. Burge. 2005. Molecular identification and analysis of *Borrelia burgdorferi sensu lato* in lizards in the Southeastern United States. *Applied and Environmental*

- Microbiology 71: 2616–2625.
- Clark, K.L., B. Leydet, y S. Hartman. 2013. Lyme Borreliosis in Human Patients in Florida and Georgia, USA. *International Journal of Medical Sciences* 10: 915–931.
- Collares-Pereira, M. et al. 2004. First Isolation of *Borrelia lusitaniae* from a Human Patient. *Journal of Clinical Microbiology* 42: 1316–1318.
- Cook, M.J. 2015. Lyme borreliosis: a review of data on transmission time after tick attachment. *International Journal of General Medicine* 8: 1–8.
- Cutler, S.J., A. Abdissa, y J.F. Trape. 2009. New concepts for the old challenges of African relapsing fever borreliosis. *Clinical Microbiology and Infection* 15: 400–406.
- De Sousa, R., I. Lopes de Carvalho, A.S. Santos, C. Bernardes, N. Milhano, J. Jesus, D. Menezes, y M.S. Nuncio. 2012. Role of the Lizard *Teira dugesii* as a Potential Host for *Ixodes ricinus* Tick-Borne Pathogens. *Applied and Environmental Microbiology* 78: 3767–3769.
- Diza, E., A. Papa, E. Vezyri, S. Tsounis, I. Milonas, y A. Antoniadis. 2004. *Borrelia valaisiana* in Cerebrospinal Fluid. *Emerging Infectious Diseases* 9: 1692–1693.
- Dsouli, N., H. Younsi-Kabachii, D. Postic, S. Nouira, L. Gern, y A. Bouattour. 2006. Reservoir Role of Lizard *Psammmodromus algirus* in Transmission Cycle of *Borrelia burgdorferi Sensu Lato* (Spirochaetaceae) in Tunisia. *Journal of Medical Entomology* 43: 737–742.
- Durden, L., J.H. Oliver, C.W. Banks, y G.N. Vogel. 2002. Parasitism of lizards by immature stages of the blacklegged tick, *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae). *Experimental and Applied Acarology* 26: 257–266.
- Ekner, A., K. Ducek, Z. Sajkowska, V. Majláthová, I. Majláth, y P. Tryjanowski. 2011. Anaplasmataceae and *Borrelia burgdorferi sensu lato* in the sand lizard *Lacerta agilis* and co-infection of these bacteria in hosted *Ixodes ricinus* ticks. *Parasites and Vectors* 4: 182.
- Fukunaga, M., Y. Takahashi, Y. Tsuruta, O. Matsushita, D. Ralph, M. McClelland, y M. Nakao. 1995. Genetic and Phenotypic Analysis of *Borrelia miyamotoi sp. nov.*, Isolated from the Ixodid Tick *Ixodes persulcatus*, the Vector for Lyme Disease in Japan. *International Journal of Systematic Bacteriology* 45: 804–810.
- Földvári, G., K. Rigó, V. Majláthová, I. Majláth, R. Farkas, y B. Peřko. 2009. Detection of *Borrelia burgdorferi sensu lato* in Lizards and their Ticks from Hungary. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases* 9: 331–336.
- Giery, S.T., y R.S. Ostfeld. 2007. The role of lizards in the ecology of Lyme disease in two endemic zones of the northeastern United States. *Journal of Parasitology* 93: 511–517.
- Gordillo, G. J. Torres, F. Solórzano, R. Cedillo-Rivera, R. Tapia-Conyer, y O. Muñoz. 1999. Serologic evidencias suggesting the presence of *Borrelia burgdorferi* infection in Mexico. *Archives of Medical Research* 30: 64–68.
- Gordillo-Pérez, G., J. Torres, F. Solórzano-Santos, S. de Martino, D. Lipsker, E. Velázquez, G. Ramon, O. Muñoz, y B. Jaulhac. 2007. *Borrelia burgdorferi* infection and cutaneous Lyme Disease, Mexico. *Emerging Infectious Diseases* 13: 1556–1558.
- Grego, E., L. Bertolotti, S. Peletto, G. Amore, L. Tomassone, y A. Mannelli. 2007. *Borrelia lusitaniae* OspA Gene Heterogeneity in Mediterranean Basin Area. *Journal of Molecular Evolution* 65: 512–518.
- Gryczyńska-Sięmiątkowska, A., A. Siedlecka, J. Stanczak, y M. Barkowska. 2007. Infestation of sand lizards (*Lacerta agilis*) resident in the Northeastern Poland by *Ixodes ricinus* (L.) ticks and their infection with *Borrelia burgdorferi sensu lato*. *Acta Parasitologica* 52: 1230–2821.
- Güner, E.S. et al. 2004. *Borrelia turcica sp. nov.*, isolated from the hard tick *Hyalomma awgyptium* in Turkey. 54: 1649–1652.
- Hayes, E.B. y D.T. Dennis. 2004. Relapsing Fever. Pp. 991–995. En D.L. Kasper, E. Braunwald, A.S. Fauci, S.L. Hauser, D.L. Longo, y J. L. Jameson (Eds.), *Harrison's Principles of Internal Medicine*, 16 Edición, McGraw-Hill Medical Publishing Division.
- Kalmár, Z., V. Cozma, H. Sprong, S. Jahfari, G. D'Amico, D.I. Mărcuțan, A.M. Ionică, C. Magdaș, D. Modrý, y A.D. Mihalca. Transstadial transmission of *Borrelia turcica* in *Hyalomma aegyptium* ticks. *PLoS One* 10: 1–9.
- Kar, S., N. Yilmazer, K. Midilli, S. Ergin, H. Alp, A. Gargili. 2011. Presence of the zoonotic *Borrelia burgdorferi sl.* and *Rickettsia* spp. in the ticks from wild tortoises and hedgehogs. *Müşbed* 1: 166–170.

- Kuo, M.M., R.S. Lane, y P.C. Giclas. 2000. A comparative study of mammalian and reptilian alternative pathway of complement-mediated killing of the Lyme disease spirochete (*Borrelia burgdorferi*). *Journal of Parasitology* 86: 1223–1228.
- Kurtenbach, K., K. Hanincova, J.I. Tsao, G. Margos, D. Fish, y N.H. Ogden. 2006. Fundamental processes in the evolutionary ecology of Lyme borreliosis. *Nature Reviews Microbiology* 4: 660–669.
- Lane, R.S., y J.E. Loye. 1989. Lyme disease in California: interrelationship of Ixodid ticks (Acari), rodents, and *Borrelia burgdorferi*. *Journal of Medical Entomology* 28: 719–725.
- Majláthová, V., I. Majláth, M. Derdáková, B. Víchová, y B. Peťko. 2006. *Borrelia lusitaniae* and Green Lizards (*Lacerta viridis*), Karst Region, Slovakia. *Emerging Infectious Diseases* 12: 1895–1901.
- Majláthová, V., I. Majláth, M. Hromada, P. Tryjanowski, M. Bona, M. Antczak, B. Víchová, S. Dzimko, A. Mihalca, y B. Peťko. 2008. The role of the sand lizard (*Lacerta agilis*) in the transmission cycle of *Borrelia burgdorferi sensu lato*. *International Journal of Medical Microbiology* S1: 161–167.
- Matuschka, F.R., P. Fischer, M. Heiler, D. Richter, y A. Spielman. 1992. Capacity of European animals as reservoir hosts for the Lyme disease spirochete. *The Journal of Infectious Diseases* 165: 479–483.
- Norte, A.C., A. Alves da Silva, J. Alves, L.P. da Silva, M.S. Nuncio, R. Escudero, P. Anda, J.A. Ramos, e I. Lopes de Carvalho. 2015. The importance of lizards and small mammals as reservoirs for *Borrelia lusitaniae* in Portugal. *Environmental Microbiology Reports* 7: 188–193.
- Ragagli, C., L. Bertolotti, M. Giacobini, A. Mannelli, D. Bisanzio, G. Amore, y L. Tomassone. 2011. Transmission dynamics of *Borrelia lusitaniae* and *Borrelia afzelii* among *Ixodes ricinus*, Lizards, and Mice in Tuscany, Central Italy. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases* 1: 21–28.
- Richter, D., y F.R. Matuschka. 2006. Perpetuation of the Lyme Disease Spirochete *Borrelia lusitaniae* by Lizards. *Applied and Environmental Microbiology* 72: 4627–4632.
- Scoles, G.A., M. Papero, L. Beati, y D. Fish. 2001. A Relapsing Fever Group Spirochete Transmitted by *Ixodes scapularis* Ticks. *Vector Borne and Zoonotic Diseases* 1: 21–34.
- Steere, A.C., J. Coburn, y L. Glickstein. 2004. The emergence of Lyme disease. *The Journal of Clinical Investigation* 113: 1093–1101.
- Swanson, K.I., y D.E. Norris. 2007. Detection of *Borrelia burgdorferi* DNA in Lizards from Southern Maryland. *Vector Borne and Zoonotic Diseases* 7: 42–49.
- Takano, A., K. Goka, Y. Une, Y. Shimada, H. Fujita, T. Shiino, H. Watanabe, y H. Kawabata. 2010. Isolation and characterization of a novel *Borrelia* group of tick-borne borreliae from imported reptiles and their associated ticks. *Environmental Microbiology* 12: 134–146.
- Takano, A., H. Fujita, T. Kadosaka, S. Konnai, T. Tajima, H. Watanabe, M. Ohnishi, y H. Kawabata. 2011. Characterization of reptile-associated *Borrelia* sp. in the vector tick, *Amblyomma geoemydae*, and its association with Lyme disease and relapsing fever *Borrelia* spp. *Environmental Microbiology Reports* 3: 632–637.
- Tijssse-Klasen, E., M. Fonville, J.H.J. Reimerink, A. Spitzen-van der Slujs, y H. Sprong. 2010. Role of sand lizards in the ecology of Lyme and ther tick-borne diseases in the Netherlands. *Parasites and Vectors* 3: 42.
- Tomassone, L., L.A. Ceballos, C. Ragagli, E. Martello, R. De Sousa, M.C. Stella, y A. Mannelli. 2017. Importance of common wall lizards in the transmission dynamics of tick-borne pathogens in the Northern Apennine Mountains, Italy. *Microbial Ecology* 74: 961–968.
- Trinachartvanit, W., S. Hirunkanokpun, R. Sudsangiem, W. Lijuan, D. Boonkusol, V. Baimai, y A. Ahantarig. *Borrelia* sp. phylogenetically different from Lyme disease and relapsing fever-related *Borrelia* spp. in *Amblyomma varanense* from Phyton reticulatus. *Parasites and Vectors* 9: 359.
- Václav, R., M. Ficová, y P. Prokop. 2011. Associations Between Coinfection Prevalence of *Borrelia lusitaniae*, *Anaplasma* sp., and *Rickettsia* sp. in Hard Ticks Feeding on Reptile Hosts. *Microbial Ecology* 61: 245–253.
- Wright, S.A., R.S. Lane, J.R. Clover. 1998. Infestation of the southern alligator lizard (Squamata: Anguinae) by *Ixodes pacificus* (Acari: Ixodidae) and its susceptibility to *Borrelia burgdorferi*. *Journal of Medical Entomology* 35: 1044–1049.

