

SAUROLEISHMANIA, PROTOZOARIOS ASOCIADOS CON REPTILES: DISTRIBUCIÓN, VECTORES Y HOSPEDEROS

SAUROLEISHMANIA, PROTOZOARIES ASSOCIATED WITH REPTILES: DISTRIBUTION, VECTORS AND HOSPEDEROS

YOKOMI NISEI LOZANO-SARDANETA¹, PABLO COLUNGA-SALAS^{1*}, LAURA SÁNCHEZ-PINEDA¹, SOKANI SÁNCHEZ-MONTES¹ E INGEBORG BECKER^{1,2}

¹Centro de Medicina Tropical, Unidad de Investigación en Medicina Experimental, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México 06726, México.

²Laboratorio de Inmunoparasitología, Unidad de Investigación en Medicina Experimental, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México 06726, México.

*Correspondence author: colungasalas@gmail.com

Abstract.— Reptiles represent a megadiverse group of vertebrates, which has established multiple interactions with other species. Frequently they are infected by endoparasites, such as helminths, and protozoa. Within this last group, we find some kinetoplastids of the genus *Leishmania*, in particular of the subgenus *Sauroleishmania*, commonly known as the "lizard Leishmania", which are transmitted by phlebotomines of the genus *Sergentomyia*. This subgenre has been little studied, and many publications represent isolated records. Therefore, this work summarizes the current knowledge of the *Sauroleishmania* species, updating the parasite-host relationship and geographical distribution, as a result of an exhaustive search of the literature published in specialized databases. We identified 14 species of the *Sauroleishmania* subgenus, associated with 28 species of reptiles of seven families (Agamidae, Chamaeleonidae, Gekkonidae, Iguanidae, Lacertidae, Phyllodreaclyidae, and Teiidae) that are distributed in the Old World. However, records were also recovered in South America, associated with *Anolis sp.*, *A. carolinensis*, *T. mauritanica*, as well as in human mummies, which is relevant since several of these species were introduced to the Neotropical region from the Old World.

Keywords.— *Leishmania*, reptiles, phlebotomines, host, parasites.

Resumen.— Los reptiles son un grupo megadiverso de vertebrados que han establecido múltiples interacciones con otras especies. Frecuentemente pueden estar parasitados por endoparásitos, tanto helmintos como protozoarios. Dentro de este último grupo encontramos algunos kinetoplástidos del género *Leishmania* y en particular del subgénero *Sauroleishmania*, conocidos como la "Leishmania de las lagartijas", que son transmitidos por flebotominos del género *Sergentomyia*. Este subgénero ha sido poco estudiado y muchas publicaciones representan registros aislados. Por lo tanto, el presente trabajo resume el conocimiento actual de las especies de *Sauroleishmania*, actualizando la relación parásito-hospedero y la distribución geográfica, como resultado de una búsqueda exhaustiva de la literatura publicada en bases de datos especializadas. Se identificaron 14 especies del subgénero *Sauroleishmania*, asociadas con 28 especies de reptiles de las familias Agamidae, Chamaeleonidae, Gekkonidae, Iguanidae, Lacertidae, Phyllodreaclyidae y Teiidae que se distribuyen en el Viejo Mundo. Sin embargo, también se recuperaron registros en América del Sur, asociados con especies de *Anolis sp.*, *A. carolinensis*, *T. mauritanica*, así como en momias humanas, esto resulta relevante ya que varias de estas especies fueron introducidas del Viejo Mundo a la región Neotropical, y actualmente son especies de amplia distribución en el continente.

Palabras clave.— *Leishmania*, reptiles, flebotominos, hospedero, parásito.

INTRODUCCIÓN

Los reptiles frecuentemente pueden estar infectados por parásitos entéricos como: protozoarios (flagelados, ciliados, amibianos, coccideos) y helmintos (nemátodos y céstodos), así como por ectoparásitos. Dentro de los protozoarios, encontramos algunos kinetoplástidos del género *Leishmania* (Kinetoplastida: Trypanosomatida: Trypanosomatidae) (Halla et al., 2014; Hassan et al., 2015).

El género *Leishmania* (L.) engloba múltiples agentes causales de un grupo de enfermedades transmitidas por flebotominos (Diptera: Psycodidae: Phlebotominae), conocidas como leishmaniasis [con tres manifestaciones clínicas: cutánea, mucocutánea y visceral] (Yang et al., 2013; Novo et al., 2015; Akhoundi et al., 2016). Esta enfermedad es de interés en salud pública, ya que afecta a más de 12 millones de personas en regiones tropicales y subtropicales a nivel mundial (Barratt et al., 2017) y cada año se registran de 1.5-2 millones de casos nuevos en 98 países (OMS 2010; Alvar et al., 2012).

El género *Leishmania* agrupa aproximadamente 53 especies, clasificadas en tres subgéneros: *Leishmania* (con distribución en el Nuevo y Viejo Mundo), *Viannia* (América del Sur) y *Sauroleishmania* (Viejo Mundo), así como en los complejos *L. enrietti* y *Paraleishmania* [exclusivos de América] (Momen y Cupolillo, 2000; Akhoundi et al., 2016). De todas las especies conocidas, sólo 20 son consideradas patógenas de humanos, mientras que el resto, generalmente están relacionadas con reptiles y mamíferos [principalmente roedores] (Noyes et al., 1997; Luyo-Acero et al., 2004; Akhoundi et al., 2016; Coughlan et al., 2017).

El subgénero *Sauroleishmania* (S.) (Ranquein 1973) también conocido como “Leishmania de lagartijas” es un grupo monofilético, el cual ha tenido varios cambios taxonómicos a lo largo del tiempo (Croan y Ellis, 1996; Bates, 2007). Este subgénero agrupa 21 taxa con 19 especies válidas que parasitan exclusivamente reptiles y que presentan una distribución restringida al Viejo Mundo (Stevens et al., 2001; Akhoundi et al., 2016; Coughlan et al., 2017).

Pocos estudios se han realizado acerca de las formas de transmisión y desarrollo del parásito dentro del vector, sin embargo, hasta el momento el único grupo de vectores comprobados son flebotominos del género *Sergentomyia* (Gomez-Eichelmann et al., 1988; Noyes et al., 1997). El flebotomino adquiere al parásito durante la alimentación, ya que éste se encuentra circulando como promastigote extracelular o

amastigote, en células parecidas a monocitos o eritrocitos dentro del reptil (Bates, 2007; Zhang et al., 2016). Una vez dentro del vector, el parásito se aloja en la porción posterior del intestino a lo que se le conoce como desarrollo hipopilaria, lo cual es característico de este grupo ya que los otros subgéneros pueden tener diferentes formas de desarrollo intravectorial [peripilaria o suprapilaria] (Croan y Ellis, 1997; Noyes et al., 1997; Bates, 2007; Akhoundi et al., 2016). Posteriormente, los promastigotes se multiplican, aunque se desconoce si existen otras fases metacíclicas (Novo et al., 2015). Por otro lado, también se sugiere que el parásito se transmite cuando el reptil ingiere flebotominos infectados con *Sauroleishmania*, ya que el parásito puede llegar al torrente sanguíneo del hospedero a través de las superficies mucosas del intestino o la cloaca (Bates 2007; Sadlova et al., 2013).

Hasta el momento, las especies de *Sauroleishmania* no son consideradas patógenas para el humano, sin embargo, su estudio resulta de gran interés ya que son utilizadas como modelo para el estudio molecular y bioquímico, por su alta capacidad de replicación y por no causar daño a la salud (Noyes et al., 1988; Coughlan et al., 2017). Una de las especies más utilizadas es *Leishmania (Sauroleishmania) tarentolae* (Bates, 2007), especie que actualmente se sabe carece de 250 genes que están relacionados con factores de patogenicidad en mamíferos, los cuales se expresan durante las etapas intracelulares del parásito (Raymond et al., 2012).

VECTORES DE *Sauroleishmania*

Hasta el momento únicamente especies de flebotominos del género *Sergentomyia*, se reconocen como vectores de este grupo de protozoarios (Motazedian et al., 1996; Poinar Jr. y Poinar 2004; Hassan et al., 2015). Dentro del género *Sergentomyia*, se encuentran 10 subgéneros los cuales presentan amplia distribución en el Viejo Mundo, éstos se caracterizan por tolerar diferentes tipos de ambientes, por lo que su distribución comprende las regiones Afrotropical, Oriental, Australasia, la subregión India, África subsahariana y Asia (Bates, 2007; Sadlova et al., 2013; Akhoundi et al., 2016).

Estos dípteros se alimentan principalmente de vertebrados de sangre fría aunque se sabe que pueden alimentarse ocasionalmente de mamíferos (Bates, 2007). Debido a que se resguardan en madrigueras de algunos roedores y pueden tener contacto con reptiles, favoreciendo infecciones entre ambos grupos de vertebrados (Noyes et al., 1997), como es el caso de *Leishmania donovani* y *Leishmania tropica*, especies patógenas de humanos, que se han reportado en lagartijas (Zhang et al., 2016).

Es importante resaltar que dentro del género *Sergentomyia* existen especies que no son consideradas vectores de *Sauroleishmania*, especies que sólo transmiten a este subgénero y especies que también pueden transmitir a otras especies *Leishmania* (Akhoundi et al., 2016; Zhang et al., 2016).

Ya que la distribución de estos dípteros está restringida al Viejo Mundo, se cree que la relación parásito-vector, data del Cretácico y que además se originó en la región Paleártica, ya que existe evidencia de eritrocitos de reptil, promastigotes en el intestino medio y amastigotes en la probóscide de algunos fósiles de flebotominos (Kerr, 2000; Akhoundi et al., 2016). Algunos estudios sugieren que la incidencia de la infección probablemente fue alta, seguramente a causa de la adaptación del ciclo digenio entre el tripanosomátido y sus hospederos que probablemente eran dinosaurios (Poinar Jr. y Poinar, 2004).

HOSPEDEROS DE *Sauroleishmania*

Hasta el momento se conocen 36 especies de reptiles que fungen como hospederos de *Sauroleishmania*, las cuales se agrupan en siete familias: Lacertidae, Iguanidae, Agamidae, Gekkonidae, Chamaeleonidae, Phyllodactylidae y Teiidae. Estos se distribuyen en 21 países, siendo Turkmenistán el país que tiene mayor número de registros de hospederos y especies de *Sauroleishmania* con nueve registros respectivamente, seguido de Irán con siete registros de hospederos y cuatro especies de *Sauroleishmania*, mientras que el resto de los países reportan poca diversidad de hospederos y especies del protozoario (Tabla 1).

El primer registro de *Sauroleishmania* fue reportado en *Tarentola mauritanica* (en 1921), del cual se aisló por primera vez *L. (S.) tarentolae* (Raymond et al., 2012). Las especies de la familia Gekkonidae son de las más representativas, principalmente aquellas del género *Hemidactylus* (Noyes et al., 1997), así como algunas especies de la familia Lacertidae (Momen y Cupolillo, 2000). Algunos autores como Poinar Jr. y Poinar (2004), señalan que estos parásitos también pueden estar presentes en serpientes y que muy probablemente los dinosaurios estuvieron infectados durante el Cretácico.

A diferencia de las especies de *Leishmania* que parasitan mamíferos, las especies de *Sauroleishmania* en su fase de promastigote se encuentran circulando en el torrente sanguíneo o en el lumen de la cloaca o intestino, por lo que no afectan directamente a los órganos viscerales del hospedero, ya que además los amastigotes pueden estar libres o dentro de monocitos (Poinar Jr. y Poinar, 2004; Raymond et al., 2012). Aunque, se sabe que *L. (S.) tarentolae* es capaz de infectar

células fagocíticas de humanos y diferenciarse en amastigote, la replicación no es eficiente (Novo et al., 2015). Otras especies como *L. (S.) adleri* pueden causar una leishmaniasis cutánea transitoria en humanos y perros, además de causar infecciones en condiciones de laboratorio, de hasta cinco semanas en hámsters y ratones (Coughlan et al., 2017).

Esto último puede complementarse con hallazgos obtenidos en lagartijas en China (Tabla 1), los cuales mencionan que las especies de *Sauroleishmania* al tener poca especificidad hospedatoria, es probable que desempeñan un papel importante como reservorios de leishmaniasis humana, pues se sabe que las especies causantes de leishmaniasis visceral humana y canina están relacionadas con las especies de *Sauroleishmania*, aunque es necesario seguir investigando acerca de las interacciones entre el parásito, el vector y el hospedero para mejor entendimiento de su epidemiología (Yang et al., 2013; Zhang et al., 2016).

ORIGEN PALEÁRTICO DE *Sauroleishmania*

La teoría del origen Paleártico, sugiere que el género *Leishmania* se originó en reptiles durante el Cretácico en el Viejo Mundo, disminuyendo su incidencia durante el Cenozoico a causa del enfriamiento de la Tierra, ocasionando el cambio de hospedero reptil a mamífero. Este cambio de preferencias alimenticias probablemente estuvo relacionado a que las madrigueras de roedores proveen alta humedad y protección del frío (Kerr, 2000; Akhoundi et al., 2016).

Esta teoría se apoya de evidencia fósil de ~100 ma del Cretácico proveniente de la región Paleártica, de un ancestro de *Sauroleishmania* llamado *Paleoleishmania proterus* recuperado de la probóscide e intestino del flebotomino *Palaeomyia burmitis*, sustentando que los reptiles fueron los principales hospederos de las primeras especies de *Leishmania* con ciclo digenio (Barratt et al., 2017).

ORIGEN NEOTROPICAL DE *Sauroleishmania*

La teoría del origen Neotropical de *Leishmania*, sugiere que el género *Leishmania* se dispersó en roedores cricétidos, durante el Eoceno (35-33 ma) por el Estrecho de Bering y durante el Mioceno (24-6 ma) por el puente de Panamá, ocasionando una acelerada evolución de especies comparado con el Viejo Mundo (Croan y Ellis 1997; Noyes et al., 1997). Posiblemente relacionado con el cambio de topografía, cambio climático y aislamiento, favoreciendo la evolución del protozoario en nuevas especies de vectores y reservorios (Akhoundi et al., 2016). Esta hipótesis por lo tanto sugiere que el subgénero *Sauroleishmania* evolucionó durante el Mioceno, principalmente en Asia central, como resultado del cambio alimenticio de mamíferos a reptiles (Noyes et al., 1997;

Tabla 1. Listado de reptiles infectados con especies de *Sauroleishmania* a nivel mundial.**Table 1.** List of reptiles infected with *Sauroleishmania* species worldwide.

Especies de <i>Sauroleishmania</i>	Hospederos	País	Referencia
<i>Leishmania adleri</i>	<i>Paralauakia microlepis</i>	Irán	Kazemi et al., 2004
<i>Leishmania adleri</i>	<i>Latastia longicaudata revouli</i>	Kenia	Heisch, 1958
<i>Leishmania adleri</i>	<i>Latastia longicaudata</i>	Turkmenistán	Garnham, 1971
<i>Leishmania agamae</i>	<i>Trapelus sanguinolentus</i>	Turkmenistán	Garnham, 1971
<i>Leishmania agamae</i>	<i>Stellagama stellio</i>	Turkmenistán	Garnham, 1971
<i>Leishmania agamae</i>	<i>Stellagama stellio</i>	Israel	David, 1929
<i>Leishmania agamae</i>	<i>Stellagama stellio</i>	Palestina	Telford, 2009
<i>Leishmania agamae</i>	<i>Stellagama stellio</i>	Líbano	Telford, 2009
<i>Leishmania ceramodactyli</i>	<i>Stenodactylus doriae</i>	Israel	Adler y Theodor, 1929
<i>Leishmania ceramodactyli</i>	<i>Stenodactylus doriae</i>	Irak	Adler y Theodor, 1929
<i>Leishmania ceramodactyli</i>	<i>Stenodactylus doriae</i>	Turkmenistán	Garnham, 1971
<i>Leishmania chameleonis</i>	<i>Phrynocephalus mystaceus</i>	Egipto	Telford, 2009
<i>Leishmania chameleonis</i>	<i>Chamaleo chamaeleon</i>	Egipto	Wenyon, 1928
<i>Leishmania gulikae</i>	<i>Paralauakia</i>	Irán	Ovezmukhammedov y Saf'janova 1987
<i>Leishmania gymnodactyli</i>	<i>Tenuidactylus caspius</i>	Turkmenistán	Garnham, 1971
<i>Leishmania hemidactyli</i>	<i>Hemidactylus brookii</i>	Turkmenistán	Garnham, 1971
<i>Leishmania henrici</i>	<i>Anolis marmoratus</i>	Isla Martinica	Leger, 1918
<i>Leishmania henrici</i>	<i>Anolis sp.</i>	Turkmenistán	Garnham, 1971
<i>Leishmania hoogstraali</i>	<i>Hemidactylus turcicus</i>	República del Sudán	McMillan, 1965
<i>Leishmania hoogstraali</i>	<i>Hemidactylus turcicus</i>	República del Sudán	McMillan, 1965
<i>Leishmania hoogstraali</i>	<i>Hemidactylus turcicus</i>	República del Sudán	McMillan, 1965
<i>Leishmania hoogstraali</i>	<i>Hemidactylus turcicus</i>	República del Sudán	McMillan, 1965
<i>Leishmania hoogstraali</i>	<i>Tarentola annularis</i>	Senegal	Desjeux y Waroq, 1981
<i>Leishmania platycephala</i>	<i>Hemidactylus platycephalus</i>	Tanzania	Telford, 1995
<i>Leishmania senegalensis</i>	<i>Tarentola annularis</i>	Senegal	Desjeux y Waroquy, 1981
<i>Leishmania sofieffi</i>	<i>Phrynocephalus guttatus</i>	Rusia	Markov et al., 1964
<i>Leishmania sp.</i>	<i>Tarentola mauritanica</i>	Italia	Franchini 1921
<i>Leishmania sp.</i>	<i>Eremias vermiculata</i>	China	Zhang et al., 2016
<i>Leishmania sp.</i>	<i>Eremias velox roborowskii</i>	China	Zhang et al., 2016
<i>Leishmania sp.</i>	<i>Eremias multiocellata</i>	China	Zhang et al., 2016
<i>Leishmania sp.</i>	<i>Phrynocephalus axillaris</i>	China	Zhang et al., 2016
<i>Leishmania sp.</i>	<i>Tenuidactylus elongatus</i>	China	Zhang et al., 2016

Especies de <i>Sauroleishmania</i>	Hospederos	País	Referencia
<i>Leishmania</i> sp./ Probablemente <i>Leishmania agamae</i>	<i>Stellagama stellio</i>	Líbano	Edeson y Himo 1973
<i>Leishmania tarentolae</i>	<i>Mediodactylus kotschy</i>	Argelia	Telford, 2009
<i>Leishmania tarentolae</i>	<i>Mediodactylus kotschy</i>	Francia	Telford, 2009
<i>Leishmania tarentolae</i>	<i>Mediodactylus kotschy</i>	República de Malta	Telford, 2009
<i>Leishmania tarentolae</i>	<i>Mediodactylus kotschy</i>	República del Sudán	Telford, 2009
<i>Leishmania tarentolae</i>	<i>Mediodactylus kotschy</i>	España	Telford, 2009
<i>Leishmania tarentolae</i>	<i>Mediodactylus kotschy</i>	Túnez	Telford, 2009
<i>Leishmania tarentolae</i>	<i>Tarentola annularis</i>	República del Sudán	Elwasila, 1988
<i>Leishmania tarentolae</i>	<i>Tarentola mauritanica</i>	Egipto	Wenyon, 1928
<i>Leishmania tarentolae</i>	<i>Tarentola mauritanica</i>	Turkmenistán	Garnham, 1971
<i>Leishmania tarentolae</i>	<i>Tarentola mauritanica</i>	Argelia	Telford, 2009
<i>Leishmania tarentolae</i>	<i>Tarentola mauritanica</i>	Francia	Telford, 2009
<i>Leishmania tarentolae</i>	<i>Tarentola mauritanica</i>	República de Malta	Telford, 2009
<i>Leishmania tarentolae</i>	<i>Tarentola mauritanica</i>	República del Sudán	Telford, 2009
<i>Leishmania tarentolae</i>	<i>Tarentola mauritanica</i>	España	Telford, 2009
<i>Leishmania tarentolae</i>	<i>Tarentola mauritanica</i>	Túnez	Telford, 2009
<i>Leishmania tarentolae</i>	<i>Mediodactylus kotschy</i>	Italia	Pozio et al., 1983
<i>Leishmania tarentolae</i>	<i>Tarentola mauritanica</i>	Francia	Rioux et al., 1969
<i>Leishmania zmeevi</i>	<i>Eremias arguta</i>	Rusia	Markov et al., 1964
<i>Leishmania zmeevi</i>	<i>Eremias intermedia</i>	Turkmenistán	Garnham, 1971
<i>Leishmania zmeevi</i>	<i>Eremias velox</i>	Rusia	Markov et al., 1964
<i>Leishmania zuckermani</i>	<i>Chondrodactylus turneri</i>	Sudáfrica	Paperna et al., 2001

Kerr, 2000; Akhoundi et al., 2016).

ORIGEN NEOTROPICAL/AFRICANO DE *Sauroleishmania* (O DEL ORIGEN MÚLTIPLE)

De acuerdo con esta teoría, el género *Leishmania* tenía un ancestro común el cual existió antes de la separación de Gondwana. Y ya que las condiciones ambientales, climáticas y geográficas eran óptimas, permitió el movimiento de *Leishmania*, así como de hospederos y vectores entre el Viejo y el Nuevo Mundo (Barratt et al., 2017). Ocasionando la divergencia de este protozoario en *Euleishmania* para el Viejo Mundo (*Leishmania* y *Sauroleishmania*) y en *Viannia* y *Paraleishmania* en América [*Endotrypanum* y *Porcisia*] (Akhoundi et al., 2016; Barratt et al., 2017; Steverding, 2017).

Esta teoría supone que el género *Leishmania* se originó en mamíferos durante el Mesozoico en Gondwana, por lo que la ausencia del subgénero *Sauroleishmania* en el Nuevo Mundo, es debido a que la adaptación a reptiles fue posterior a la separación de Gondwana (Steverding, 2017).

RELACIONES FILOGENÉTICAS DEL SUBGÉNERO *Sauroleishmania*

A lo largo de la historia se han implementado diversas metodologías para la clasificación y diferenciación entre especies del género *Leishmania* (Motazedian et al., 1996). Como ya se mencionó, existen diversas hipótesis de cómo se diversificaron estas especies, sin embargo hasta el momento ninguna es completamente aceptada y es un tema que sigue en debate (Akhoundi et al., 2016).

Con base en análisis filogenéticos, se sabe que *Sauroleishmania* está conformado por un grupo monofilético (Croan y Ellis, 1997; Stevens et al., 2001; Akhoundi et al., 2016), sin embargo, dependiendo de los genes que se utilicen (mitocondriales o nucleares) pueden existir diferencias filogenéticas, ya que *Sauroleishmania*, puede estar emparentado con los subgéneros *Leishmania* o *Viannia*, por lo que se cree que existe la posibilidad de transferencia horizontal de genes (Noyes et al., 1997; Luyo-Acero et al., 2004; Yang et al., 2013; Coughlan et al., 2017). *Sauroleishmania* y *Leishmania*, se muestran como grupos hermanos frecuentemente, además, se tiene evidencia de que comparten un ancestro de ~42 ma, por lo que es probable que *Sauroleishmania* evolucionara como resultado de un cambio en el ciclo de vida del parásito, adaptándose a reptiles y posteriormente con el auge de los mamíferos divergieron el resto de los grupos conocidos de *Leishmania* (Croan y Ellis, 1996, 1997; Noyes et al., 1997; Momen y Cupolillo 2000; Coughlan et al., 2017).

Por otro lado, otras hipótesis filogenéticas suponen que *Sauroleishmania* se originó secundariamente de especies de mamíferos (Croan y Ellis, 1997; Bates, 2007), lo cual podría explicar su relación filogenética con el subgénero *Viannia*, parásito de mamíferos restringido a América del Sur. Es claro que a pesar del conocimiento que se tiene sobre este grupo, aún existen incongruencias que necesitan resolverse. No obstante, existe una gran posibilidad de que este protozoario pudo haber evolucionado a partir de tripanosomátidos de mamíferos, lo cual resultaría de relevancia para el estudio de especies patógenas (Noyes et al., 1988).

CONTINENTE AMERICANO

En un estudio realizado por Leger (1918), se reporta la presencia de un flagelado que corresponde posiblemente a la especie *Leishmania* (S.) *henrici* en dos ejemplares de un total de 30 analizadas de la lagartija *Anolis marmoratus* en Isla Martinica.

Mientras que en 1974 se realizó un estudio experimental para conocer si algunos reptiles de la familia Teiidae (*Cnemidophorus sexlineatus* y *Ameiva quadrilineata*) e Iguanidae (*Anolis carolinensis*, *Dipsosaurus dorsalis* y *Basiliscus vittatus*), presentes en América, desarrollaban una infección por *L. (S.) tarentolae* o *L. (S.) adleri*, obteniendo como resultado que sólo la especie *A. carolinensis*, desarrolló una infección por *L. (S.) tarentolae*, la cual estuvo activa durante 12 horas y posteriormente desapareció (Dollahon y Janovy Jr, 1974).

Por otro lado, en el estudio realizado por Novo et al. (2015), se reporta la presencia de *L. (S.) tarentolae* en médula ósea de una momia humana de 300 años del periodo colonial en Brasil. Ellos

interpretan que la presencia de este parásito pone en evidencia la capacidad de viceralización que pueden tener algunas especies de *Sauroleishmania*, como previamente se ha mencionado que sucede en China. Por lo tanto se cree que especies como *L. (S.) tarentolae* pueden ser patógenas cuando están dentro de algunos organismos de sangre caliente (Yang et al., 2013; Novo et al., 2015; Zhang et al., 2016).

Esta infección se cree que posiblemente pudo haberse transmitido por la mordida de un flebotomino o a causa de ingestión de reptiles crudos durante periodos de hambruna, ya que está bien documentada la ingestión de geckos en zonas áridas del norte de Brasil, aunque no se descarta la posibilidad de que haya sido un caso importado durante la colonia por esclavos de África o Europa (Novo et al., 2015).

Este último estudio, resulta de gran relevancia ya que algunas especies de hospederos que están relacionadas con *Sauroleishmania* como es el caso de *T. mauritanica* y algunas especies del género *Hemidactylus*, son especies que fueron introducidas del Viejo Mundo a la región Neotropical, y que actualmente son especies de amplia distribución en el continente (Noyes et al., 1997; Baldo et al., 2008; Novo et al., 2015).

Aunado a esto, en América se han registrado cerca de 530 especies de flebotominos, de las cuales 55 muestran preferencias alimenticias por reptiles (Young y Duncan, 1994; Galati, 2003). Estas especies están agrupadas en la subtribu Sargentomyiina, la cual agrupa a los géneros *Deanemyia* y *Mycropygomyia*, que tienen amplia distribución en el continente (Shimabukuro et al., 2017). En la Figura 1 se observa el gradiente de riqueza de estas especies de flebotominos por país, siendo Brasil el país que alberga la mayor riqueza con 24 especies, seguido de Venezuela con 11, México y Perú con 10, Colombia con 9, mientras que el resto de los países señalados se encuentran en un rango de 1 a 8 especies.

Es importante aclarar que en el mapa se muestran áreas muy al norte del continente como es el caso de Alaska, por ser parte del territorio de Estados Unidos Americanos, sin embargo debido a las condiciones climáticas de esta zona, es poco probable que encontremos especies de flebotominos, siendo Canadá el registro más al norte que se tiene de este grupo. La subtribu *Sargentomyiina* data del Mioceno (20ma), pues hay evidencia de la especie *Mycropygomyia patterna*, preservada en ámbar en el estado de Chiapas en México (Akhoundi et al., 2016; Shimabukuro et al., 2017).

Si bien, la evidencia de la presencia de *Sauroleishmania* en

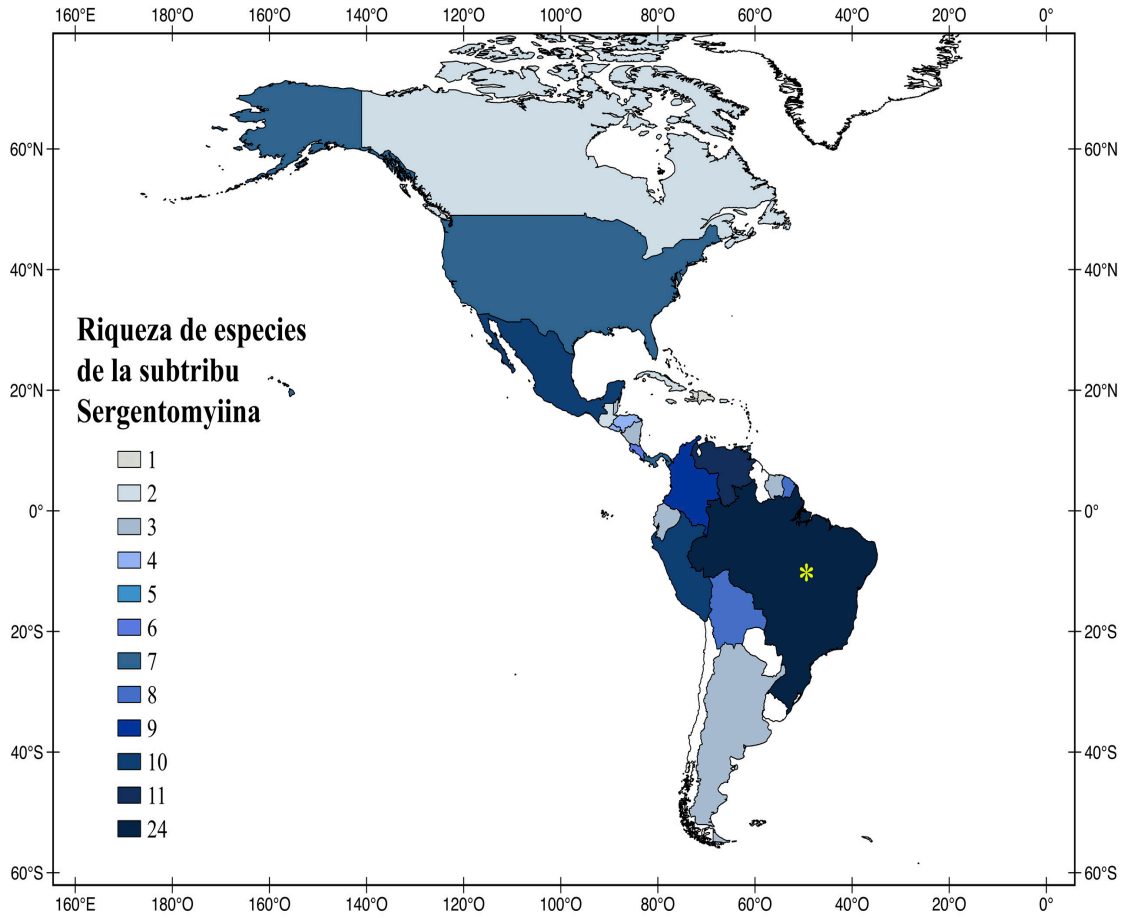


Figura 1. Mapa de riqueza de especies de la subtribu Sergentomyiina en América. Datos obtenidos de Shimabukuro et al., (2017). *Representa el único lugar en América en el cual hay evidencia fósil de la especie *L. (S.) tarentolae*.

Figure 1. Map of species richness of the Sergentomyiina subtribe in America. Data obtained from Shimabukuro et al., (2017). * Represents the only place in America in which there is fossil evidence of the species *L. (S.) tarentolae*.

América es escasa, existen varios elementos que podrían sugerir la posible presencia de alguna especie que tenga características semejantes a *Sauroleishmania*, aunque es necesario realizar más estudios en zonas que cuenten con una gran diversidad de reptiles y vectores, así como de la presencia del protozooario *Leishmania* para poder confirmar o descartar su presencia en el continente.

CONCLUSIONES

Es evidente que aún existen muchas incógnitas acerca del género *Sauroleishmania*, pero ya que son especies con características únicas, se requiere de estudios futuros que permitan ampliar el conocimiento acerca de su identidad biológica, historia y coevolución, para poder realizar estudios comparativos que podrían ser de utilidad para resolver problemas con especies

patógenas de humanos. Por lo que es importante seguir explorando si existen otras especies de vectores y hospederos, así como más estudios filogenéticos (Gomez-Eichelmann et al., 1988; Kazemi et al., 2008; Hassan et al., 2015; Akhouni et al., 2016). Esto, con la finalidad de obtener información relevante que nos permita comprender las relaciones evolutivas entre flebotominos, el protozooario *Leishmania* y sus hospederos vertebrados, para poder realizar predicciones de los patrones de transmisión y conocer la epidemiología, para poder desarrollar estrategias de control vectorial más eficaces (Noyes et al., 1988; Akhouni et al., 2016).

Respecto a la presencia de especies de *Sauroleishmania* en América, consideramos importante hacer una búsqueda en zonas en las que potencialmente pueda existir la presencia de esta interacción *Leishmania*-flebotomino-reptil. Ya que es importante tomar

cuenta que la transmisión de la leishmaniasis cambia según la región geográfica, debido a las interacciones entre hospederos y vectores, lo cual puede repercutir en la transmisión de *Leishmania* (Akhoundi et al., 2016). Es por eso que falta hacer estudios en los reptiles de América para saber si desempeñan un papel importante en la transmisión de la leishmaniasis. Por lo que resulta imperante formar grupos de trabajo interdisciplinarios, que nos permitan investigar e incrementar la información acerca de este grupo poco estudiado del género *Leishmania*.

Agradecimientos.— A la Dra. Leticia M. Ochoa-Ochoa, por su ayuda con la validación de los nombres de las especies de reptiles y sus comentarios para mejorar el escrito. Yokomi Nisei Lozano-Sardaneta y Pablo Colunga-Salas agradecen al Programa de Doctorado en Ciencias Biomédicas de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), así como al apoyo de beca por parte del CONACyT con número de apoyo: 444617 (YNLS) y 463798 (PCS). Finalmente, queremos agradecer a los comentarios de los revisores que ayudaron a mejorar este escrito.

LITERATURA CITADA

- Adler, S., y O. Theodor. 1929. Observations on *Leishmania ceramodactyli* n.sp. Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene 22:343–356.
- Akhoundi, M., K. Kuhls, A. Cannet, J. Votýpka, P. Marty, P. Delaunay, y D. Sereno. 2016. A historical overview of the classification, evolution, and dispersion of *Leishmania* parasites and sandflies. PLOS Neglected Tropical Diseases 10:e0004349.
- Alvar, J., I.D. Vélez, C. Bern, M. Herrero, P. Desjeux, J. Cano, J. Jannin, y M. den Boer. 2012. Leishmaniasis worldwide and global estimates of its incidence. PLoS ONE 7:e35671.
- Baldo, D., C. Borteiro, F. Brusquetti, J.E. García, y C. Prigioni. 2008. Reptilia, Gekkonidae, *Hemidactylus mabouia*, *Tarentola mauritanica*: distribution extension and anthropogenic dispersal. Check List 4:434–438.
- Barratt, J., A. Kaufer, B. Peters, D. Craig, A. Lawrence, T. Roberts, R. Lee, G. McAuliffe, D. Stark, y E. John. 2017. Isolation of novel trypanosomatid, *Zelonia australiensis* sp. nov. (Kinetoplastida: Trypanosomatidae) provides support for a Gondwanan origin of dixenous parasitism in the Leishmaniinae. PLOS Neglected Tropical Diseases 11:e0005215.
- Bates, P.A. 2007. Transmission of *Leishmania* metacyclic promastigotes by phlebotomine sand flies. International Journal for Parasitology 37:1097–1106.
- Coughlan, S., P. Mulhair, M. Sanders, G. Schonian, J.A. Cotton, y T. Downing. 2017. The genome of *Leishmania adleri* from a mammalian host highlights chromosome fission in *Sauroleishmania*. Scientific Reports 7:1–13.
- Croan, D., y J. Ellis. 1997. Monophyletic origin of the genus *Sauroleishmania*. Archiv für Protistenkunde 148:269–275.
- Croan, D., y J. Ellis. 1996. Phylogenetic relationships between *Leishmania*, *Viannia* and *Sauroleishmania* inferred from comparison of a variable domain within the RNA polymerase II largest subunit gene. Molecular and Biochemical Parasitology 79:97–102.
- David, A. 1929. Note préliminaire sur un *Leishmania* trouve chez le lezerd dris de la region de Tiberiade (Basse-Galilée, Palestine). Annales de Parasitologie 7:190–192.
- Desjeux, P., y L. Waroquy. 1981. Mise en évidence du cycle évolutif de la leishmaniose du Gecko *Tarentola annularis* (Geoffroy Saint-Hilaire, 1823) au Sénégal. Rôle vecteur de *Sergentomyia dubia* (Parrot, Mornet et Cadenat, 1945). African Medical 19:439–442.
- Dollahon, N.R., y J. Janovy Jr. 1974. Experimental infection of New World lizards with Old World lizard *Leishmania* species. Experimental Parasitology 36:253–260.
- Dollahon, N.R., y J. Janovy Jr. 1973. *Leishmania adleri*: in vitro phagocytosis by lizard leukocytes and peritoneal exudate cells. Experimental Parasitology 34:56–61.
- Dollahon, N.R., y J. Janovy Jr. 1971. Insect flagellates from feces and gut contents of four genera of lizards. The Journal of Parasitology 57:1130–1132.
- Edeson, J.F.B., y J. Himo. 1973. *Leishmania* sp. in the blood of a lizard (*Agama stellio*) from Lebanon. Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene 67:27.
- Elwasila, M. 1988. *Leishmania tarentolae* Wenyon, 1921 from the gecko *Tarentola annularis* in the Sudan. Parasitol Res 74:591–592.
- Franchini, G. 1921. Sur les flagelles intestinaux du type Herpetomonas du *Chamaeleon vulgaris* et leur culture, et sur les flagelles du type Herpetomonas du *Chalcides* (*Gongylus*) *ocellatus* et *Tarentola mauritanica*. Bulletin de la Societe de Pathologie Exotique et de Ses Filiales 14:641–645.

- Galati, E.A.B. 2003. Morfologia e taxonomia: classificação de Phlebotominae. Editora Fiocruz, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.
- Garnham, P.C.C. 1971. The genus *Leishmania*. Bulletin Organization Monde Santé Bulletin. World Health Organization 44:477–489.
- Gomez-Eichelmann, M.C., G. Holz Jr, D. Beach, A.M. Simpson, y L. Simpson. 1988. Comparison of several lizard *Leishmania* species and strains in terms of kinetoplast minicircle and maxicircle DNA sequences, nuclear chromosomes, and membrane lipids. Molecular and Biochemical Parasitology 27:143–158.
- Halla, U., R. Korb, F. Mutschmann, y R. Monika. 2014. Blood parasites in reptiles imported to Germany. Parasitol Res 113:4587–4599.
- Hassan, M., S.A.K. Saeed, y O.F. Omran. 2015. Study of Blood parasites in *Mabuya* sp lizards and *Bufo regularis* toads in Jebel Awlia and Tuti Island of Khartoum, Sudan. Journal of Earth Science and Engineering 5:86–90.
- Heisch, R.B. 1958. On *Leishmania adleri* sp. nov. from lacertid lizards (*Latastia* sp.) in Kenya." Annals of Tropical Medicine & Parasitology 52:68–71.
- Kazemi, B., M. Hassan-Heidari, M. Naderi, A. Abbas Piryaei, y M.R. Nazari-Pouya. 2008. Study on ultrastructure of *Leishmania* major and Lizard *Leishmania*. Journal of Cell and Animal Biology 2:129–133.
- Kazemi, B., G.H. Tahvildar-Bideroni, S.R. Hashemi-Feshareki, y E. Javadian. 2004. Isolation a lizard *Leishmania promastigote* from its natural host in Iran. Journal of Biological Sciences 4:620–623.
- Kerr, S.F. 2000. Palearctic origin of *Leishmania*. Memórias do Instituto Oswaldo Cruz 95:75–79.
- Leger, M. 1918. Infection sanguine par *Leptomonas* chez un Saurien. Société de Biologie 20:772–774.
- Luyo-Acero, G.E., H. Uezato, M. Oshiro, K. Takei, K. Kariya, K. Katakura, E. Gomez-Landires, Y. Hashiguchi, y S. Nonaka. 2004. Sequence variation of the Cytochrome b gene of various human infecting members of the genus *Leishmania* and their phylogeny. Parasitology 128:483–491.
- Markov G.S., V.P. Ivanov, B.P. Kruckov, G.F. Lukyanova, V.P. Nikulin, y V.F. Chernobay. 1964. Protozoa and acaridan parasites of reptiles of the Caspian lowland. Science notes of Volgograd State Pedagogical University 16:90–98.
- Mc Millan, B. 1965. Leishmaniasis in the Sudan Republic. 22. *Leishmania hoogstraali* sp. n. in the gecko. The Journal of Parasitology 51:336–339.
- Momen, H., y E. Cupolillo. 2000. Speculations on the origin and evolution of the genus *Leishmania*. Memórias do Instituto Oswaldo Cruz 95:583–588.
- Motazedian, H., H. Noyes, y R. Maingon. 1996. *Leishmania* and *Sauroleishmania*: The use of random amplified polymorphic DNA for the identification of parasites from vertebrates and invertebrates. Experimental Parasitology 83:150–154.
- Novo, S.P., D. Leles, R. Bianucci, y A. Araujo. 2015. *Leishmania tarentolae* molecular signatures in a 300 hundred-years-old human Brazilian mummy. Parasites & Vectors 8:1–8.
- Noyes, H.A., B.A. Arana, M.L. Chance, y R. Wingon. 1997. The *Leishmania hertigi* (Kinetoplastida; Trypanosomatidae) complex and the lizard *Leishmania*: their classification and evidence for a Neotropical origin of the *Leishmania-Endotrypanum* clade." Journal of Eukaryotic Microbiology 44:511–517.
- Noyes, H.A., M.L. Chance, D.G. Croan, y J.T. Ellis. 1988. *Leishmania* (*Sauroleishmania*): a comment on classification. Parasitology Today 14:166.
- OMS. 2010. Control de las leishmaniasis. Informes técnicos 949, Ginebra, Ginebra, Suiza.
- Ovezmukhammedov, A., y V. M. Saf'janova. 1987. A new species of *Leishmania* from Agama caucásica in Turkmenia. Izvestiia Akademii Nauk Turkmen, SSSR, Seriya Biologicheskaya 3:21–27.
- Paperna, I., Y. Boulard, S.H. Hering-Hagenbeck, y I. Landau. 2001. Description and ultrastructure of *Leishmania zuckermanni* n. sp. amastigotes detected within the erythrocytes of the South African Gecko *pachydactylus turneri* gray. Parasite 8:349–353.
- Poinar Jr., G., y R. Poinar. 2004. Evidence of vector-borne disease of Early Cretaceous reptiles. Vector-Borne And Zoonotic Diseases 4:281–284.
- Pozio E, M. Gramiccia, L. Gradoni, y M. Maroli. 1983. Hemoflagellates in *Cyrtodactylus kotschy* (Steindachner, 1870)

- (Reptilia, Gekkonidae) in Italy. *Acta Tropica* 40:399-400.
- Raymond, F., S. Boisvert, G. Roy, J.-F. Ritt, D. Légare, A. Isnard, M. Stanke, M. Olivier, M.J. Tremblay, B. Papadopoulou, M. Ouellette, y J. Corbeil. 2012. Genome sequencing of the lizard parasite *Leishmania tarentolae* reveals loss of genes associated to the intracellular stage of human pathogenic species." *Nucleic Acids Research* 40:1131-1147.
- Rioux, J.A., L.P. Knoepfler, y A. Martini. 1969. Presence en France de *Leishmania tarentolae* Wenyon, 1921 parasite du gecko *Tarentola mauritanica* (L., 1758). *Annales De Parasitologie Humaine Et Comparee* 44:115-116.
- Sadlova, J., V. Dvorak, V. Seblova, A. Warburg, J. Votykka, y P. Volf. 2013. *Sergentomyia schwetzi* is not a competent vector for *Leishmania donovani* and other *Leishmania* species pathogenic to humans. *Parasites & Vectors* 6:1-10.
- Shimabukuro, P.H., A.J. de Andrade, y E. Galati. 2017. Checklist of American sand flies (Diptera, Psychodidae, Phlebotominae): genera, species, and their distribution. *ZooKeys* 660:67-106.
- Stevens, J.R., H.A. Noyes, C.J. Schofield, y W. Gibson. 2001. The molecular evolution of Tripanosomatidae. *Advances in Parasitology* 48:1-56.
- Steverding, D. 2017. The history of leishmaniasis. *Parasites & Vectors* 10:1-10.
- Strong, R.P. 1924. Investigations upon flagellate infections. The American Journal of Tropical Medicine 4:345-385.
- Telford Jr, S.R. 2009. Hemoparasites of the reptilia: color atlas and text. CRC Press, Florida, USA.
- Telford Jr, S.R. 1995. The kinetoplastid hemoflagellates of reptiles. Pp. 161-223. En J. P. Kreier (Ed), *Parasitic Protozoa*. Londres, Reino Unido.
- Wenyon, C.M. 1921. Observations on the intestinal protozoa of three egyptian lizards, with a note on a cell-invading fungus. *Parasitology* 12:350-365.
- Yang, B.B., D.L. Chen, J.P. Chen, L. Liao, X.S. Hu, y J.N. Xu. 2013. Analysis of kinetoplast Cytochrome b gene of 16 *Leishmania* isolates from different foci of China: different species of *Leishmania* in China and their phylogenetic inference. *Parasites & Vectors* 6:1-12.
- Young, D.G., y M.A. Duncan. 1994. Guide to the identification and geographic distribution of *Lutzomyia* sand flies in Mexico, the West Indies, Central and South America (Diptera: Psychodidae). Gainesville, Florida, USA.
- Zhang, J.R., X.G. Guo, J.L. Liu, T.H. Zhou, X. Gong, D.L. Chen, y J.P. Chen. 2016. Molecular detection, identification and phylogenetic inference of *Leishmania* spp. in some desert lizards from Northwest China by using internal transcribed spacer 1 (ITS1) sequences. *Acta Tropica* 162:83-94.

