



Universidad Autónoma de Tlaxcala

Posgrado en Ciencias Biológicas

Distribución potencial y escenarios de cambio climático en cuatro especies del género *Loxosceles* (Araneae: Sicariidae) del Centro-Occidente de México.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

P r e s e n t a

Mayra Rocio Cortez Roldán

Director de tesis:
Dr. Alejandro Valdez Mondragón

Tlaxcala, Tlax.

Enero, 2022



Universidad Autónoma de Tlaxcala

Posgrado en Ciencias Biológicas

Distribución potencial y escenarios de cambio climático en cuatro especies del género *Loxosceles* (Araneae: Sicariidae) del Centro-Occidente de México.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

P r e s e n t a

Mayra Rocio Cortez Roldán

Comité Tutorial

Dr. Alejandro Valdez Mondragón
Dra. Itzel Arias del Razo
Dr. Lázaro Guevara López
Dr. Jorge Israel Ayala Berdón
Dra. Barbara Cruz Salazar

Financiamiento

Beca de manutención (No. becario 751601) a través del Programa para el Fortalecimiento del Posgrado Nacional. Padrón Nacional de Posgrado de Calidad (PNPC) de la Maestría en Ciencias Biológicas del Centro Tlaxcala de Biología de la Conducta (CTBC) de la Universidad Autónoma de Tlaxcala (UATx).

Este trabajo se realizó en el Laboratorio de Aracnología Tlaxcala (LATLAX) del Instituto de Biología de la UNAM sede Tlaxcala, financiado por el proyecto de Ciencia Básica CONACyT 2016 No.: 282834, titulado: “Arañas de Importancia Médica: Taxonomía integrativa basada en evidencia molecular y morfológica para la delimitación de las especies de arañas mexicanas de arañas violinistas del género *Loxosceles* Heineken & Lowe (Araneae: Sicariidae)-Etapa 1”.



COORDINACIÓN DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
CENTRO TLAXCALA DE BIOLOGÍA DE LA CONDUCTA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TLAXCALA
P R E S E N T E

Los abajo firmantes, miembros del jurado evaluador del proyecto de tesis que Mayra Rocío Cortez Roldán realiza para la obtención del grado de Maestra en Ciencias Biológicas, expresamos que, habiendo revisado la versión final del documento de tesis, damos la aprobación para que ésta sea impresa y defendida en el examen correspondiente. El título que llevará es "Distribución potencial y escenarios de cambio climático en cuatro especies del género *Loxosceles* (Araneae: Sicariidae) del Centro-Occidente de México".

Sin otro particular, aprovechamos para enviarle un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E
TLAXCALA, TLAX., ENERO 19 DE 2022


DR. ALEJANDRO VALDEZ MONDRAGÓN


DRA. ITZEL ARIAS DEL RAZO


DR. LÁZARO GUEVARA LÓPEZ


DR. JORGE ISRAEL AYALA BERDON


DRA. BARBARA CRUZ SALAZAR

**COMITÉ ACADÉMICO
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

Sirva este medio para describir el proceso de revisión de la tesis realizada por la estudiante **Mayra Rocio Cortez Roldan** titulada “**Distribución potencial y escenarios de cambio climático en cuatro especies del género *Loxosceles* (Araneae: Sicariidae) del Centro-Occidente de México**” para optar por su grado de **Maestra en Ciencias Biológicas**.

El documento de la tesis de **Mayra Rocio Cortez Roldan** fue revisado por mi como director de tesis antes de presentarse en cada examen tutorial y, posteriormente a los exámenes tutorales, los miembros de su comité tutorial realizaron también sus respectivas observaciones. De manera que el documento, llevó un proceso de revisión por varios profesores expertos en el tema. En el mes de enero, el documento final de la tesis fue procesado con el programa del CopySpider marcando poco texto con similitudes (2.67%). Los textos detectados con similitud fueron corregidos por la estudiante. Se volvió a procesar el documento y volvió a marcar 2.67%, sin embargo, examinando los detalles de la búsqueda se observó que las similitudes están marcadas en algunas palabras de lenguaje común (e.g. especies, cambio climático, variables ambientales, entre otras), por lo que esta similitud no podría ser considerada como plagio.

Por lo anterior, confirmo que la estudiante **no incurrió en ninguna práctica no deseable** en la escritura de la tesis. Sin más por el momento, reciban atentos saludos y muchas gracias. Cualquier duda y/o aclaración dejo mi correo: **lat_mactans@yahoo.com.mx**

ATENTAMENTE

Tlaxcala, Tlax., México a 13 de enero de 2022



Dr. Alejandro Valdez Mondragón
Director de tesis

Agradecimientos

Al **Posgrado en Ciencias Biológicas del Centro Tlaxcala de Biología de la Conducta (CTBC)** y a mi alma mater la **Universidad Autónoma de Tlaxcala (UATx)**, por las facilidades otorgadas para mi formación académica y social, es un orgullo pertenecer a la máxima casa de estudios de Tlaxcala.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)** por el apoyo con la beca número: **751601**, para poder realizar mis estudios de maestría en el programa de Maestría en Ciencias Biológicas en la Universidad Autónoma de Tlaxcala.

A mí **comité tutorial**: al Dr. Alejandro Valdez Mondragón, Dra. Itzel Arias del Razo, Dr. Lázaro Guevara López, Dr. Jorge I. Ayala Berdón, agradezco inmensamente sus observaciones y aportaciones, sin ellas no sería posible este trabajo.

Al **Laboratorio de Aracnología (LATLAX)** del IBUNAM, sede Tlaxcala, sobre todo al Dr. Alejandro Valdez Mondragón, por permitirme continuar siendo parte de este gran equipo y de este proyecto.

Al **Instituto de Biología (IBUNAM)** y a la **Colección Nacional de Arácnidos (CNAN)**, especialmente al Dr. Edmundo González Santillán, por el préstamo del material utilizado en este proyecto.

Agradecimientos personales

A mis padres, gracias por apoyar cada una de las decisiones he tomado, por estar conmigo incondicionalmente y sobre todo porque nunca han dudado de mí, por alentarme a seguir adelante y no rendirme, los amo.

A mis hermanas, gracias por nunca abandonarme cuando más las necesito, por todo el apoyo durante los últimos años. Nieves, gracias por mostrarme lo valiosa que es la vida, sin ti esto no sería posible, viviré eternamente agradecida. Marisol, gracias por apoyar siempre en cada nueva aventura, por escucharme cuando mi mundo se derrumba, gracias por todo y nunca te des por vencida. Gracias a ustedes esto es posible, son mi mayor regalo, las amo.

A mi abue Enedina Flores (†) y a José Cruz Valerdi (†), aunque ya han pasado los años siguen siendo mi inspiración en la vida, gracias por los años que compartí con ustedes. Abrazo hasta la eternidad, los amo. A todos los que perdí en esta pandemia, no terminaría de enlistarlos. Gracias por ser parte de esta historia, por todos los buenos consejos y palabras motivadoras, algún día nos volveremos a ver.

A mis tíos y primos, por el apoyo brindado todos estos años, por las palabras de aliento y por todas las muestras de afecto, sobre todo a mi tía Enedina Roldán y mi primo Cruz Pérez (Chocola) por su apoyo, cuidado y cariño, gracias por considerarme parte de su familia, los quiero.

A mi sensei Elías Chamorro, gracias por compartir a distancia tus amplios conocimientos en SIG y tus bromas sobre mi vida personal y académica, gracias por todos los consejos y por estar incondicionalmente cuando todo va mal, te quiero Elías.

A las “chicas tóxicas”, Pau, Isa y Alma, gracias por todos los momentos compartidos, son las mejores. Pau, gracias por el apoyo brindado a la distancia y por todos los consejos, abrazo hasta Guerrero. Isa, gracias por todas las aventuras en estos años y por brindarme una amistad sincera, te quiero Isa. Almix, gracias por abrirme las puertas de tu casa, gracias por tantos años de grandes historias, sobre todo por brindarme tantos años de amistad.

Elvira, Maricarmen, Miriam, Frida y Alberto, gracias por brindarme su amistad y por los breves momentos que pasamos en el CTBC, por el apoyo incondicional durante estos tiempos difíciles. Gracias por hacer menos pesado el confinamiento y el posgrado en línea con sus mensajes y videollamadas.

A todas las personas que han apoyado y otorgado un poco de su tiempo en la realización de este trabajo, en especial a aquellas que compartieron su conocimiento y experiencia en el campo del modelado de nicho ecológico, Dra. Roberta Marques y Dr. Daniel Jiménez, gracias por resolver mis dudas y por el apoyo en la corrección de los scripts, gracias por todo.

De manera especial, agradezco al Dr. Alejandro Valdez, por la paciencia y confianza puesta en mí y en el trabajo, espero poder seguir colaborando con usted y seguir haciendo un buen equipo. Gracias por permitirme aprender de un gran investigador. Gracias infinitas Doc.

¡¡GRACIAS A TODOS!!

*“Que tu deseo a la grandeza sea más
grande que tu miedo al fracaso”*

-Anónimo

Dedicatoria

A mis papás, Adelina y Martín

A mis hermanas, Nieves y Marisol

A la generación que viene, Fer, Danichis y mi niña, Mili

Y a mis amores en el cielo...

Por y para ustedes, los amo

May

"Global warming isn't prediction, it is happening."

-James Hansen

RESUMEN

México es el país con la mayor diversidad de arañas “violinistas” del género *Loxosceles*, con 40 especies (38 nativas y dos introducidas) de las 142 que se han reportado a nivel mundial. Al ser arañas de importancia médica-toxicológica, conocer la distribución geográfica frente a los procesos de cambio climático es de gran importancia; sobre todo para las especies de la región Centro-Occidente (CO) de México, región con la mayor densidad poblacional. En este estudio, se estimaron y evaluaron los posibles efectos del cambio climático en la distribución *Loxosceles malintzi*, *Loxosceles misteca*, *Loxosceles tenochtitlan* y *Loxosceles zapoteca*. Se usaron dos escenarios de futuras emisiones de gases de efecto invernadero (RCP 4.5 y 8.5) para los años 2050 y 2080, simulados en el Modelo de Clima Global MIROC-5, mostrando posibles aumentos o reducciones en las distribuciones de las especies para estos años. Dentro de los modelos, se encontró que la isothermalidad, estacionalidad de la temperatura y precipitación son las principales variables que influyen en la distribución de dichas especies. Los modelos de distribución de especies (MDE) se aproximaron a la distribución geográfica conocida para las cuatro especies. Los MDE mostraron que la distribución abarca provincias biogeográficas como la Cuenca del Balsas y Faja Volcánica Transmexicana, cuyas características fisiográficas, ambientales y biológicas permiten el establecimiento de las especies en cuestión. En los distintos escenarios de cambio climático mostraron un posible aumento en la distribución, como en el caso de *L. malintzi* con un aumento de 79% (RCP 4.5) y 66 % (RCP 8.5) en su distribución, al igual que *L. misteca* muestra un aumento de 28% (RCP 4.5) y 38% (RCP 8.5) con respecto a la distribución actual. Sin embargo, también se podría tener una pérdida en la distribución de *L. tenochtitlan*, reduciendo un 51% (RCP 4.5) y 38% (RCP 8.5) las zonas de distribución, al igual que *L. zapoteca*, mostrando una reducción del 45% (RCP 4.5) y 40% (RCP 8.5). Las cuatro especies de *Loxosceles* analizadas podrían presentar tres patrones de respuesta ante el cambio climático: 1) ocuparán nuevas áreas de distribución conforme a las condiciones ambientales futuras, 2) presentarán adecuación térmica, manteniendo así las áreas de distribución y 3) reducirán las áreas de distribución a los sitios con las características ambientales adecuadas para su supervivencia. La proyección de áreas adecuadas bajo diferentes escenarios climáticos proporciona una herramienta para mejorar la evaluación de los efectos del cambio climático y así, plantear escenarios futuros de posibles casos de loxoscelismo en el país.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Diversidad y biología del género <i>Loxosceles</i> en México	3
1.2	Distribución y hábitat del género <i>Loxosceles</i> en México	7
2.	ANTECEDENTES	15
2.1	Teoría del nicho ecológico y modelos de distribución potencial	15
2.2	Cambio climático y su efecto en la distribución de las especies	19
2.3	Modelos de distribución potencial y de cambio climático en arañas del género <i>Loxosceles</i>	25
3.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	29
4.	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	29
5.	OBJETIVOS.....	30
5.1	General	30
5.2	Particulares	30
6.	MATERIALES Y MÉTODOS	31
6.1	Área de estudio y trabajo de campo	31
6.2	Criterios de selección de especies de <i>Loxosceles</i> para los análisis	33
6.3	Bases de datos.....	33
6.4	Selección de variables ambientales	34
6.5	Áreas de calibración para los modelos	35
6.6	Modelos y transferencia a los escenarios de cambio climático.....	36
7.	RESULTADOS	39
7.1	Revisión del material biológico.....	39
7.2	Modelos y transferencias al cambio climático	41
7.3	Distribución potencial actual de las especies del género <i>Loxosceles</i> de la región Centro-Occidente	43
7.4	Distribución potencial futura de las especies del género <i>Loxosceles</i> de la región Centro-Occidente con base en los escenarios de cambio climático.....	48

8.	DISCUSIÓN.....	56
8.1	Modelos de distribución potencial actual de <i>Loxosceles</i>	56
8.2	Distribución potencial futura con base en escenarios de cambio climático	61
9.	CONCLUSIONES	69
10.	REFERENCIAS	70
11.	ANEXOS.....	103
	Anexo I. Mapas de distribución potencial y de los escenarios de cambio climático a nivel país de las cuatro especies de <i>Loxosceles</i> consideradas en el estudio.	103
	Anexo II. Mapas de distribución potencial futura para los escenarios de cambio climático: RCP 4.5 (2050 y 2080) y 8.5 (2050 y 2080) de las cuatro especies de <i>Loxosceles</i>	105
	Anexo III. Análisis de riesgo de extrapolación (MESS).	107
12.	PUBLICACIONES	108

Índice de Tablas

Tabla 1. Registros totales por especie de <i>Loxosceles</i> para cada estado de México.	10
Tabla 2. Variables ambientales utilizadas en los modelos de nicho ecológico.	35
Tabla 3. Ejemplares revisados de <i>Loxosceles</i> distribuidas en la región Centro-Occidente del país, depositados en la CNAN y LATLAX.	39
Tabla 4. Especies y registros de <i>Loxosceles</i> distribuidas en la región Centro-Occidente del país.	40
Tabla 5. Conjunto y subconjunto de variables climáticas utilizadas para los modelos de distribución de las cuatro especies del género <i>Loxosceles</i> de México.	41
Tabla 6. Numero de modelos candidatos y mejores modelos para cada una de las cuatro especies de <i>Loxosceles</i> de la región Centro-Occidente.	41
Tabla 7. Métricas de rendimiento de la configuración de los mejores modelos para cada una de las cuatro especies de <i>Loxosceles</i> de la región Centro-Occidente.	42
Tabla 8. Valores de las variables ambientales utilizadas en Maxent para la distribución potencial de <i>Loxosceles malintzi</i>	43
Tabla 9. Valores de las variables ambientales utilizadas en Maxent para la distribución potencial de <i>Loxosceles misteca</i>	44
Tabla 10. Valores de las variables ambientales utilizadas en Maxent para la distribución potencial de <i>Loxosceles tenochtitlan</i>	45
Tabla 11. Valores de las variables ambientales utilizadas en Maxent para la distribución potencial de <i>Loxosceles zapoteca</i>	46
Tabla 12. Superficie en Km ² que abarca la distribución de <i>Loxosceles malintzi</i> en los escenarios RCP 4.5 y 8.5.	48
Tabla 13. Superficie en Km ² que abarca la distribución de <i>Loxosceles misteca</i> en los escenarios RCP 4.5 y 8.5.	50
Tabla 14. Superficie en Km ² que abarca la distribución de <i>Loxosceles tenochtitlan</i> en los escenarios RCP 4.5 y 8.5.	52
Tabla 15. Superficie en Km ² que abarca la distribución de <i>Loxosceles zapoteca</i> en los escenarios RCP 4.5 y 8.5.	54

Índice de figuras

Figura 1. Distribución geográfica de los géneros de la familia Sicariidae y de los grupos de especies del género <i>Loxosceles</i>	3
Figuras 2-7. Ejemplos de patrones dorsales del caparazón en forma de “violín” del género <i>Loxosceles</i> de México.	5
Figuras 8-9. Registros totales de las especies del género <i>Loxosceles</i> para los estados de la Región Noroeste (8), y Región Noreste de la República Mexicana (9).	8
Figuras 10-11. Registros totales de las especies del género <i>Loxosceles</i> para los estados de la Región Centro-Occidente (10), y Región Sureste de la República Mexicana (11)	9
Figuras 12-15. Ejemplos de hábitat de las arañas del género <i>Loxosceles</i> en México	12
Figuras 16-19. Ejemplos del microhábitat de las especies mexicanas del género <i>Loxosceles</i>	13
Figuras 20-24. Especímenes vivos y microhábitat urbano de <i>Loxosceles tenochtitlan</i> , especie sinantrópica de los estados de Ciudad de México, Estado de México y Tlaxcala.	14
Figura 25. Diagrama de BAM.	16
Figura 26. Representación de la Dualidad de Hutchinson.	17
Figura 27. Tendencias de temperatura de los últimos 65 MA y posibles análogos geo-históricos para climas futuros de la Tierra.	20
Figura 28. Modelo de Circulación Global, vías de concentración representativa “RCP”.	22
Figura 29. Localización geográfica de la región más densamente poblada del país.	31
Figura 30. Distribución potencial de <i>Loxosceles malintzi</i> , bajo el algoritmo de Maxent.	44
Figura 31. Distribución potencial de <i>Loxosceles misteca</i> , bajo el algoritmo de Maxent.	45
Figura 32. Distribución potencial de <i>Loxosceles tenochtitlan</i> , bajo el algoritmo de Maxent	46
Figura 33. Distribución potencial de <i>Loxosceles zapoteca</i> , bajo el algoritmo de Maxent.	47
Figuras 34-35. Distribución potencial de <i>Loxosceles malintzi</i> para ambos escenarios RCP 4.5 y 8.5.	49
Figuras 36-37. Distribución potencial de <i>Loxosceles misteca</i> para ambos escenarios RCP 4.5 y 8.5.	51
Figuras 38-39. Distribución potencial de <i>Loxosceles tenochtitlan</i> para ambos escenarios RCP 4.5 y 8.5	53
Figuras 40-41. Distribución potencial de <i>Loxosceles zapoteca</i> para ambos escenarios RCP 4.5 y 8.5.	55

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial se conocen 129 familias, 4 232 géneros y 49 720 especies del orden Araneae, comúnmente conocidas como arañas (World Spider Catalog 2021). El 6 % de los géneros se consideran de importancia médica-toxicológica o de riesgo para los humanos por su mordedura venenosa, los cuales son: *Atrax* O. Pickard-Cambridge, 1877 (Atracidae), *Hadronyche* L. Koch, 1873 (Atracidae), *Phoneutria* Perty, 1833 (Ctenidae) y *Latrodectus* Walckenaer, 1805 (Theridiidae) y de la familia Sicariidae: *Hexophthalma* Karsch, 1879, *Sicarius* Walckenaer, 1847 y *Loxosceles* Heineken y Lowe, 1832 (World Spider Catalog 2021).

El género *Loxosceles* actualmente está conformado por 142 especies. En México se han descrito 40 especies pertenecientes a este género, lo que lo convierte en uno de los países con mayor diversidad (28.36% del total de especies del género) (Figura 1). Estas especies se distribuyen prácticamente en todos los estados de la República Mexicana (Cortez-Roldan 2018, Valdez-Mondragón y cols. 2018a, b, Valdez-Mondragón y cols. 2019). Hasta el momento, solo dos especies de este género son introducidas en el país, *Loxosceles rufescens* (Dufour, 1820) en Chihuahua, una especie del Mediterráneo y *Loxosceles reclusa* Gertsch y Mulaik, 1940 en Tamaulipas, especie nativa del sureste de Estados Unidos (Cortez-Roldan 2018, Valdez-Mondragón y cols. 2018a, b, Valdez-Mondragón y cols. 2019, World Spider Catalog 2021).

En los últimos años las herramientas bioinformáticas han desarrollado algoritmos capaces de generar modelos que muestren los impactos del cambio climático en la distribución de las especies (Araújo y cols. 2006, Richardson y cols. 2013). Como son los Modelos de Nicho Ecológico (MNE) y los Modelos de Distribución de Especies (MDE); a pesar de que ambos términos parecen ser iguales, existe una diferencia sutil. Los MNE evalúan las condiciones ambientales, interacciones intra e interespecíficas (presencia de mutualistas, ausencia de enfermedades y depredadores) y los recursos de los cuales depende la especie (Peterson 2006, Cuervo-Robayo y cols. 2017). Mientras que los MDE representan el espacio geográfico donde se encuentran las condiciones ambientales para la presencia de las especies (distribución geográfica potencial) (Mota-Vargas y cols. 2019).

Los MNE y los MDE han sido aplicados en una gran variedad de preguntas biológicas, como en el reconocimiento de patrones biogeográficos (Mota-Vargas y cols. 2013, López-Sandoval y cols. 2015), la evaluación de riesgo potencial de invasión de especies exóticas (Peterson y cols. 2006, Palma-Ordaz y Delgadillo-Rodríguez 2014, Yan y cols. 2020), entre otros; lo que ha generado nuevas aplicaciones en la biogeografía (Guisan y Thuiller 2005, Illoldi-Rangel y Escalante 2008). En años recientes, se han utilizado a los MNE y los MDE para observar y evaluar los efectos del cambio climático (pasado y futuro) en las especies (Costa y cols. 2002, Peterson 2009, Yáñez-Arenas y cols. 2016, Mota-Vargas y cols. 2019). La mayoría de los trabajos que proyectan a los escenarios de cambio climático buscan resolver preguntas relacionadas con conservación biológica (Marshall y cols. 2014, Ureta y cols. 2020) y evaluación del riesgo de extinción de las especies (Hannah y cols. 2005, Sántiz y cols. 2016). Aunado a ello, los MDE se utilizan para evaluar el riesgo potencial y la expansión en la distribución de las especies transmisoras de enfermedades (vectores), o que sean causantes de intoxicaciones en los humanos en escenarios climáticos futuros (Brooker y cols. 2002, Foley y cols. 2008, Saupe y cols. 2011).

El uso del MNE y los MDE para la generación de mapas de distribución potencial y bajo los escenarios de cambio climático en especies del género *Loxosceles*, considerando dos caminos representativos de concentración de gases de efecto invernadero (RCP): 4.5 (escenario óptimo) y 8.5 (escenario catastrófico), pueden ser de utilidad para identificar posibles cambios en la distribución de cuatro especies dentro de la región Centro-Occidente: *Loxosceles malintzi* Valdez-Mondragón, Cortez-Roldán, Juárez-Sánchez y Solís-Catalán, 2018, *Loxosceles misteca* Gertsch, 1958, *Loxosceles tenochtitlan* Valdez-Mondragón y Navarro-Rodríguez, 2019 y *Loxosceles zapoteca* Gertsch, 1958. Esta región presenta la mayor densidad poblacional humana (31.50% de la población total del país) (INEGI 2020), por lo que la interacción entre arañas y el hombre puede ser mayor. Por lo anterior, los MDE proporcionarán información de los posibles aumentos o reducciones de las distribuciones geográficas potenciales y así determinar nuevas zonas de mayor riesgo de casos de intoxicación por mordedura de *Loxosceles* ante el cambio climático.

1.1 Diversidad y biología del género *Loxosceles* en México

La familia Sicariidae Keyserling, 1880 actualmente está constituida por tres géneros: *Loxosceles*, *Sicarius* y *Hexophthalma*, siendo el género *Loxosceles* es el más diverso, con 142 especies descritas, seguido por *Sicarius* con 21 especies y *Hexophthalma* con ocho especies (Magalhães y cols. 2017; Valdez-Mondragón y cols. 2018a, b, Valdez-Mondragón y cols. 2019, Cabrera-Espinosa y Valdez-Mondragón 2019, Navarro-Rodríguez y Valdez-Mondragón 2020, World Spider Catalog 2021).

El trabajo de Gertsch y Ennik (1983) es la revisión taxonómica más reciente y completa para las especies norteamericanas del género *Loxosceles*, enfocado principalmente al grupo *reclusa*, el cual tiene la mayor diversidad de especies del mundo: 56 especies de Norteamérica, incluyendo las 40 especies registradas en México (Figura 1) (Gertsch y Ennik 1983, Binford y cols. 2008).

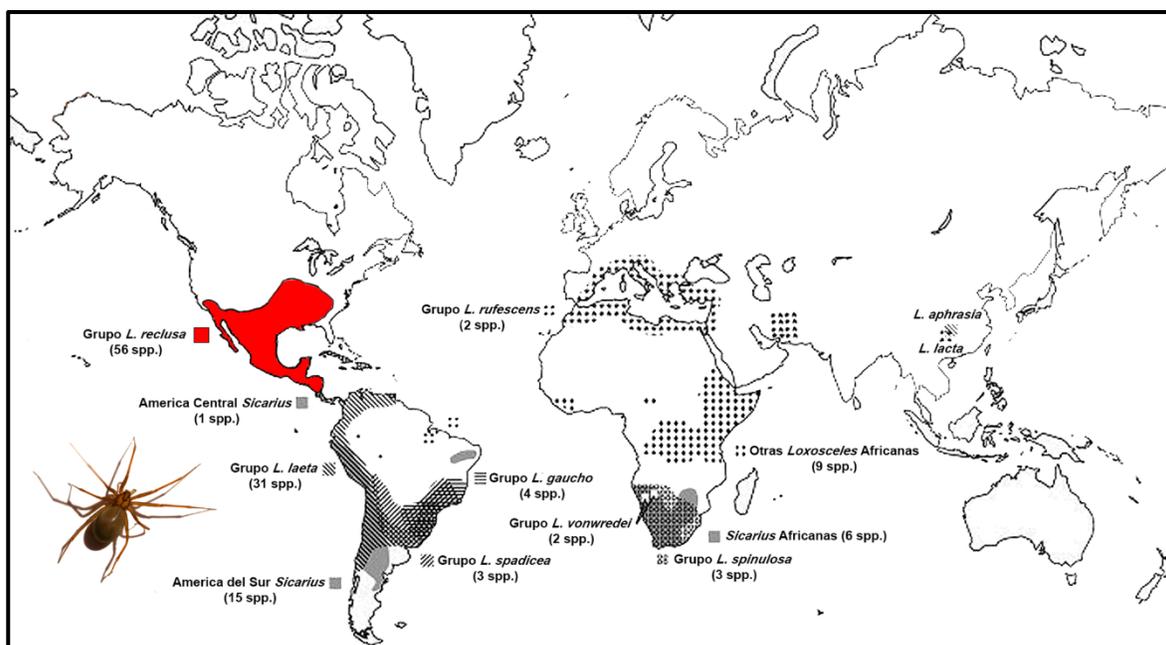
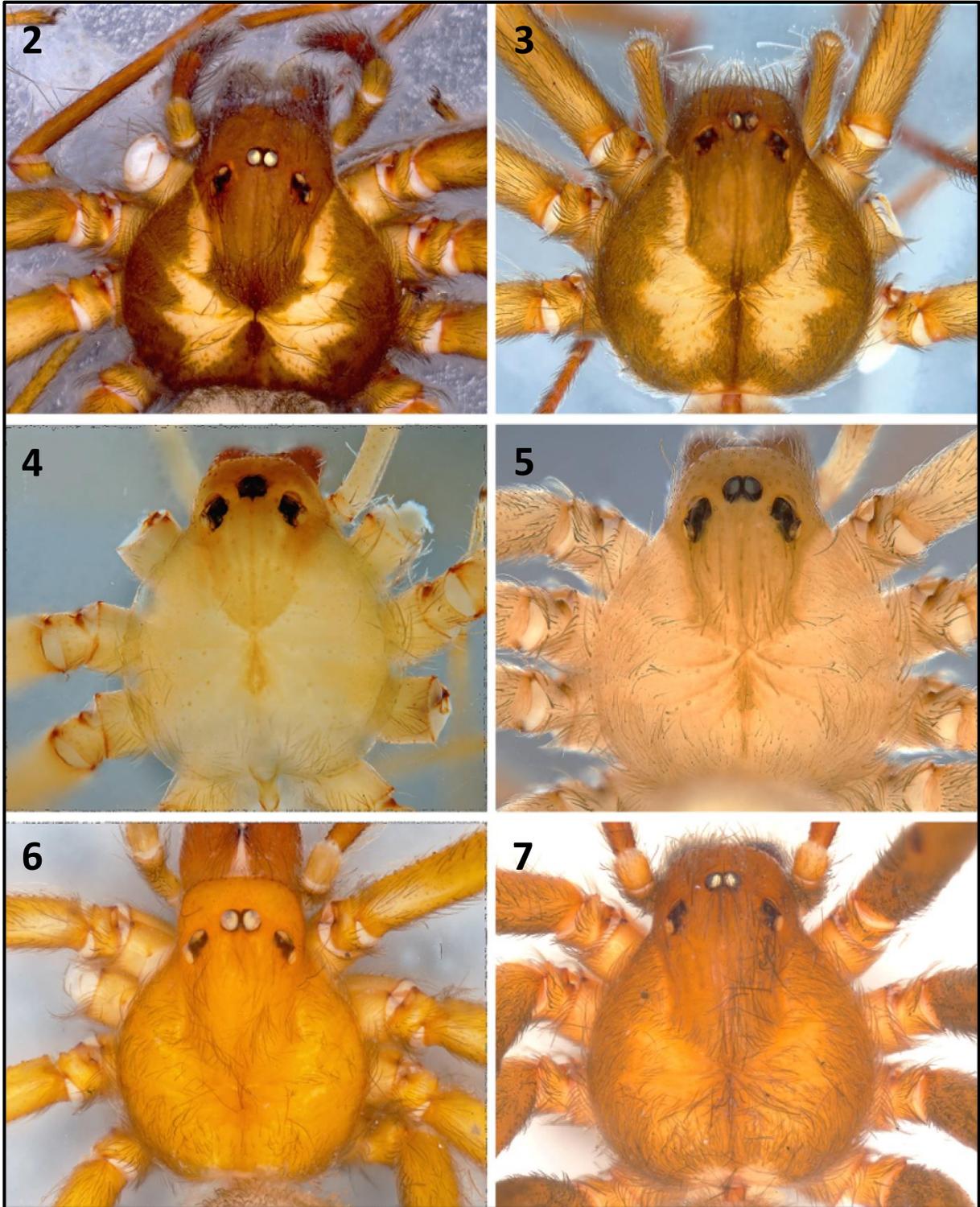


Figura 3. Distribución geográfica de los géneros de la familia Sicariidae y de los grupos de especies del género *Loxosceles*. Los números en paréntesis indican las especies para cada grupo. Tomado y modificado de Binford y cols. (2008). Grupo *reclusa* para Centro y Norteamérica (rojo).

El género *Loxosceles* es conocido comúnmente como “arañas del rincón”, “pardas”, “del cuadro”, “reclusas pardas”, “arañas violinistas” o “Brown recluse spiders” en inglés. El rasgo más característico y distintivo para identificar a la mayoría de las especies de este género es el típico dibujo dorsal en el caparazón en forma de violín (Figuras 2-5). Sin embargo, en las especies mexicanas, el violín suele estar muy marcado en algunas especies (e.g. *Loxosceles misteca*, *Loxosceles colima*), o poco visible en otras (e.g. *Loxosceles yucatanana* y *Loxosceles tehuana*) (Figuras 6, 7). Esto también se ha observado en algunas especies de Sudamérica, como las que se distribuyen en Brasil (World Spider Catalog, 2021).

Hasta el momento, todas las especies de *Loxosceles* descritas a nivel mundial son consideradas de importancia médica-toxicológica. Esto se debe a la acción proteolítica y necrótica del veneno (Vetter y cols. 2003, Vetter 2008, de Moura y cols. 2011). El veneno de las especies de *Loxosceles* está compuesto por la enzima esfingomielinasa-D, la cual genera serios daños de necrosis en la zona de la mordedura y daño sistémico (Binford y cols. 2008, de Santi-Ferrara y cols. 2009, Vetter 2015). La mordedura por *Loxosceles* (loxoscelismo) causa lesiones locales como pérdida de tejido, llegando a requerirse cirugía reparadora en casos severos (loxoscelismo cutáneo); en algunos casos se presentan lesiones sistémicas graves como: hemólisis, coagulación intravascular diseminada e insuficiencia renal aguda, que pueden desencadenar coma y muerte (loxoscelismo sistémico) (SINAVE, 2016, Dr. Gustavo López, com. pers.).



Figuras 4-7. Ejemplos de patrones dorsales del caparazón en forma de “violín” del género *Loxosceles* de México. **2.** *Loxosceles boneti* Gertsch, 1958, hembra (Guerrero, México). **3.** *Loxosceles colima* Gertsch, 1958, hembra (Michoacán, México). **4.** *Loxosceles mulege* Gertsch y Ennik, 1983, macho (Baja California Sur, México). **5.** *Loxosceles apachea* Gertsch y Ennik, 1983 hembra (San Luis Potosí, México). **6.** *Loxosceles yucatanana* Chamberlin e Ivie, 1938, hembra (Yucatán, México). **7.** *Loxosceles tehuana* Gertsch, 1958 hembra (Oaxaca, México). Escala: 1 mm.

Las arañas del género *Loxosceles* son principalmente de hábitos nocturnos, presentan hábitos gregarios, es decir, varios individuos pueden llegar a compartir microhábitats y estar cerca unos de otros. Se ha observado que en una planta de *Agave* sp. pueden encontrarse machos, hembras y juveniles de *Loxosceles malintzi* al mismo tiempo (Petlalcingo, Puebla; obs. pers.) También se ha visto que algunas especies de *Loxosceles* comparten microhábitats con otros géneros, e.g. *Loxosceles malintzi* con arañas Pholcidae (Bonnet 1996, Canals y cols. 2016, Valdez-Mondragón y cols. 2018b). Las arañas violinistas son tímidas, durante el día las hembras suelen encontrarse en áreas oscuras y aisladas, siendo más sedentarias. Los machos adultos son más activos y en temporada reproductiva se desplazan en busca de hembras para reproducirse (Valdez-Mondragón y cols. 2018a).

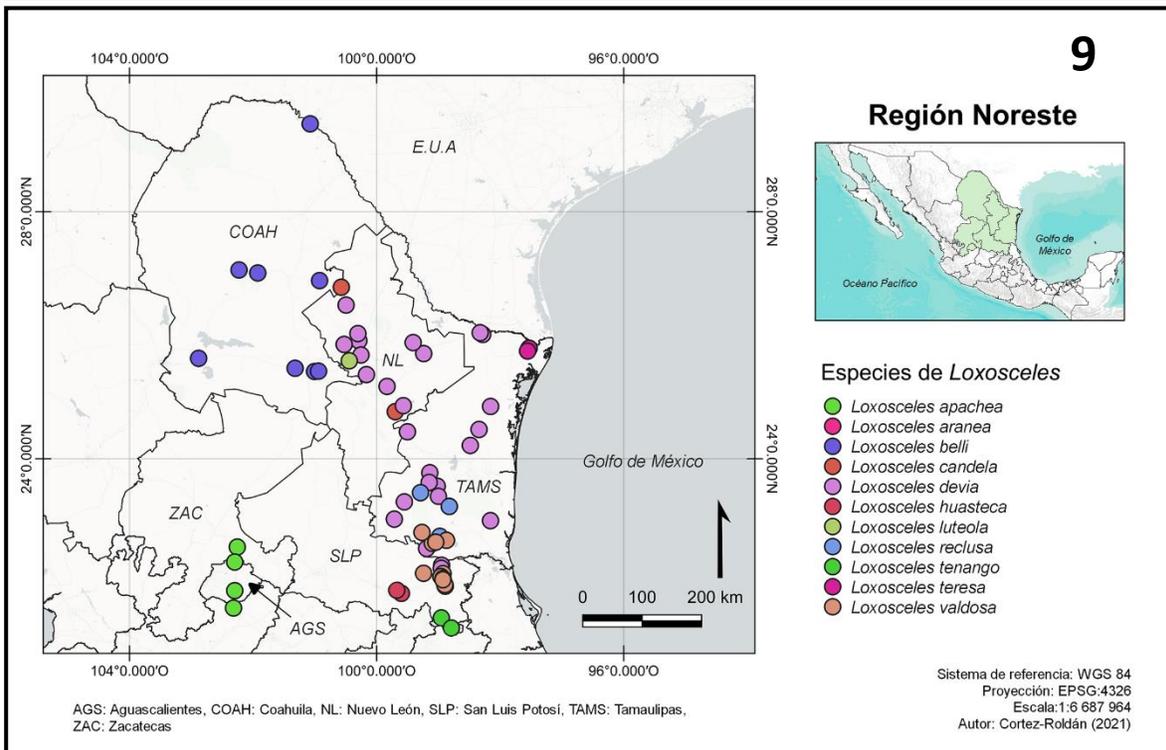
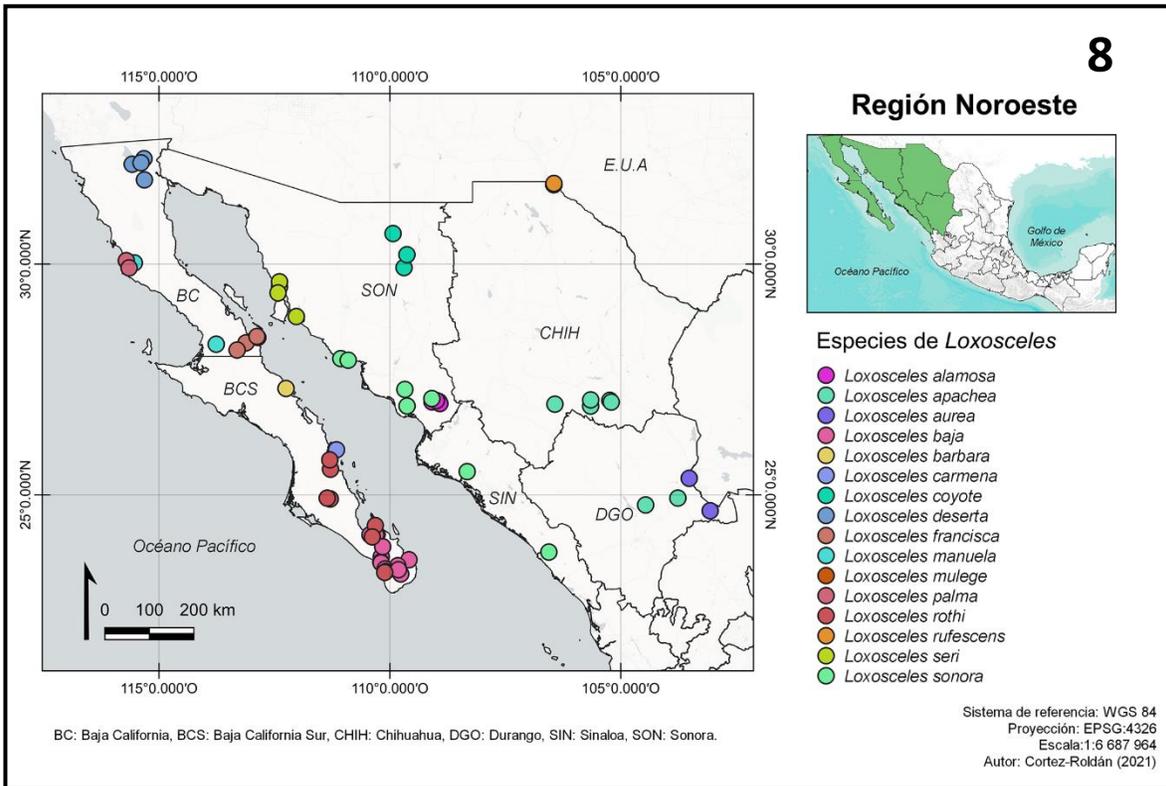
De acuerdo con la complejidad de los órganos sexuales que presenten las arañas, el orden puede ser dividido en dos clados principales: Synspermiata (ex haplóginas) y Entelegynae (Wheeler y cols. 2016). Existen distintos métodos de dispersión en arañas que han sido ampliamente estudiados. Uno de ellos es el *balloning*, importante para las especies enteléginas (grupo de arañas con órganos sexuales complejos, e.g. *Latrodectus spp.*), ya que les ayuda a ampliar sus rangos de distribución por varios kilómetros, alcanzando en algunos casos islas (Maing 1982, Brunetta y Craig 2010, Foelix 2011). Sin embargo, hay métodos de dispersión limitados, es decir las arañas solo se llegan a desplazar una distancia corta; e.g. las arañas del clado Synspermiata (grupo de arañas con órganos sexuales simples) caminan sobre el suelo o sustrato, tal es el caso de *Loxosceles*, y por tanto tienen distribuciones restringidas (Sandidge y Hopwood 2005, Binford y cols. 2008, Vetter 2008). Regularmente al eclosionar, las *Loxosceles* se dispersan a corta distancia de la madre, escogen un lugar donde construyen sus telarañas y permanecen durante toda su vida en el caso de las hembras, o hasta que alcanzan etapa adulta en el caso de los machos, los cuales se vuelven errantes en etapa reproductiva. Incluso, no es raro ver un ejemplar con sus exuvias (mudas) de distintos estadios a lado, lo que nos habla de tener una vagilidad limitada (Sandidge y Hopwood, 2005, Binford y cols. 2008, Chaim y cols. 2011, Dr. Alejandro Valdez, com. pers.).

Con respecto a su estacionalidad, en las especies mexicanas de *Loxosceles* se ha observado que en todos los meses del año se pueden encontrar arañas juveniles, en cambio los machos y hembras adultos se encuentran principalmente en temporada de lluvias (julio-

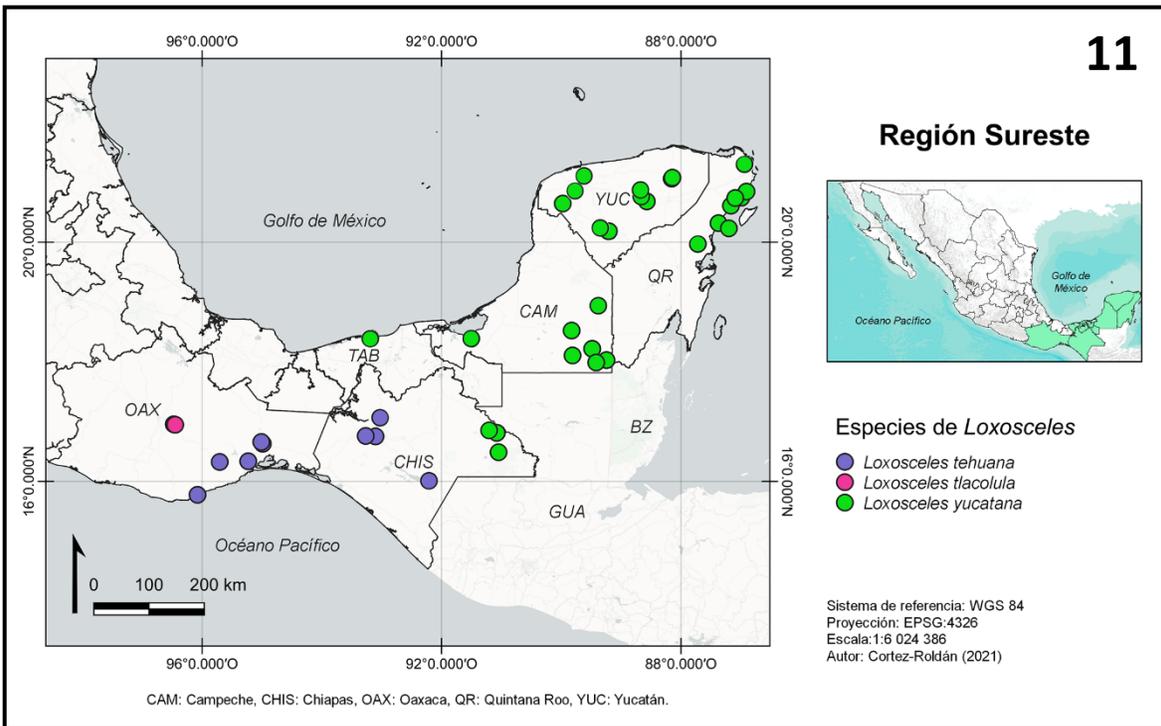
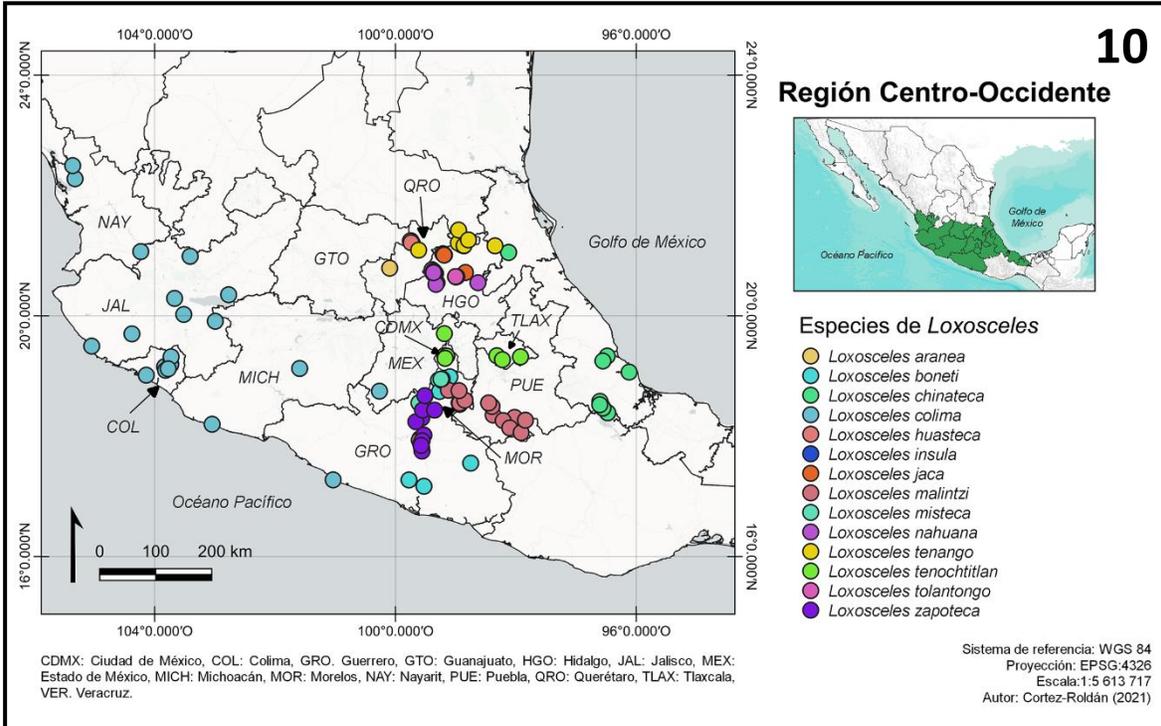
noviembre), estación del año donde las condiciones ambientales son óptimas para su reproducción (temporada reproductiva) (Cortez-Roldan 2018). Estas arañas se pueden encontrar desde los 5 m sobre el nivel del mar (msnm) en Baja California Sur y Quintana Roo, hasta los 2 350 msnm en zonas templadas de Tlaxcala, Estado de México y Ciudad de México (Cortez-Roldan 2018, Valdez-Mondragón y cols. 2019).

1.2 Distribución y hábitat del género *Loxosceles* en México

Recientemente, Cortez-Roldán (2018) y Valdez-Mondragón y cols. (2018b) con base a las regiones geográficas propuestas por CONEVyT (2015), se realizó la actualización de la distribución del género *Loxosceles* en México por las regiones: 1. Noroeste, 2. Noreste, 3. Centro-Occidente, y 4. Sureste (Figura 8). Cortez-Roldán (2018) señaló que las regiones Noroeste y Noreste presentan un mayor número de registros (113 y 82, respectivamente) (Figuras 9, 10), al igual que la región Centro-Occidente con 218 registros, siendo esta la región con más registros del país (Figura 11), y, por último, la región Sureste con menos registros (Figura 12). Sin embargo, estos datos se deben tomar con cautela, ya que aún no se tiene un inventario total de las especies de *Loxosceles* distribuidas en México, aunado a que los esfuerzos de colecta varían entre regiones.



Figuras 8-9. Registros totales de las especies del género *Loxosceles* para los estados de la Región Noroeste (8), y Región Noreste de la República Mexicana (9). Tomado y modificado de Cortez-Roldán (2018) y Valdez Mondragón y cols. (2018b).



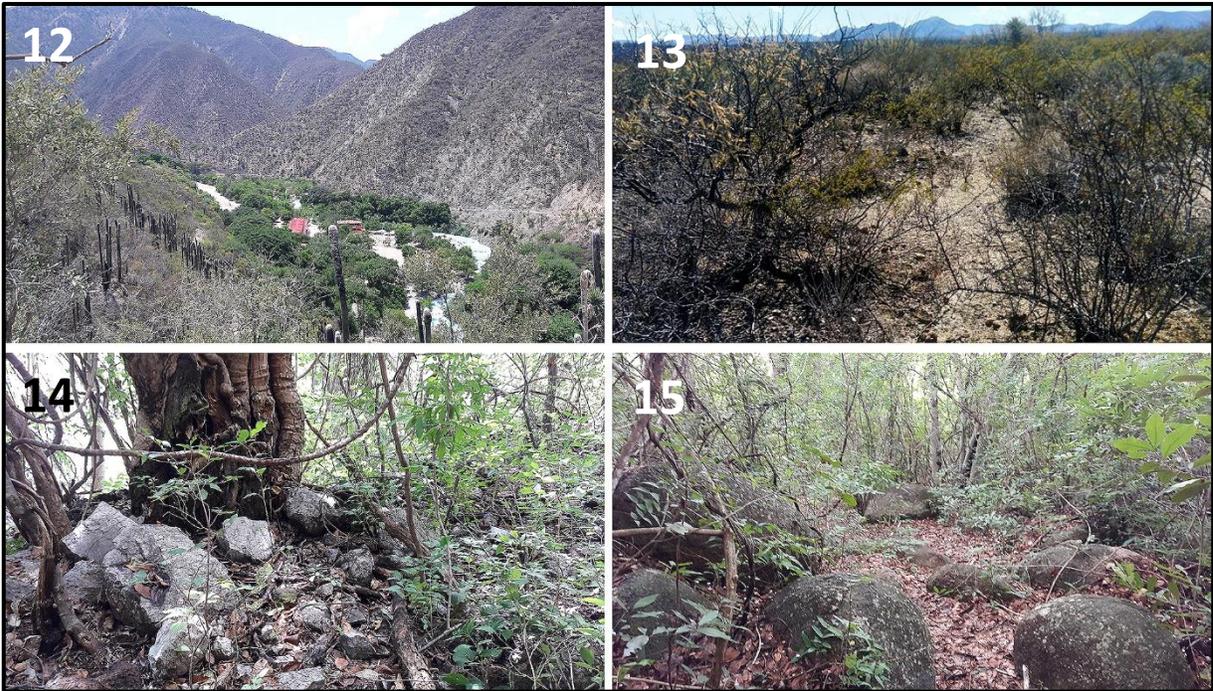
Figuras 10-11. Registros totales de las especies del género *Loxosceles* para los estados de la Región Centro-Occidente (10), y Región Sureste de la República Mexicana (11). Tomado de Cortez-Roldán (2018) y Valdez Mondragón y cols. (2018b).

Tabla 1. Registros totales por especie de *Loxosceles* para cada estado de México. Tomado y modificado de Cortez-Roldán (2018). *LIT: Literatura, LATLAX: Laboratorio de Aracnología, CNAN: Colección Nacional de Arácnidos, CARCIB: Colección de Arácnidos, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR).

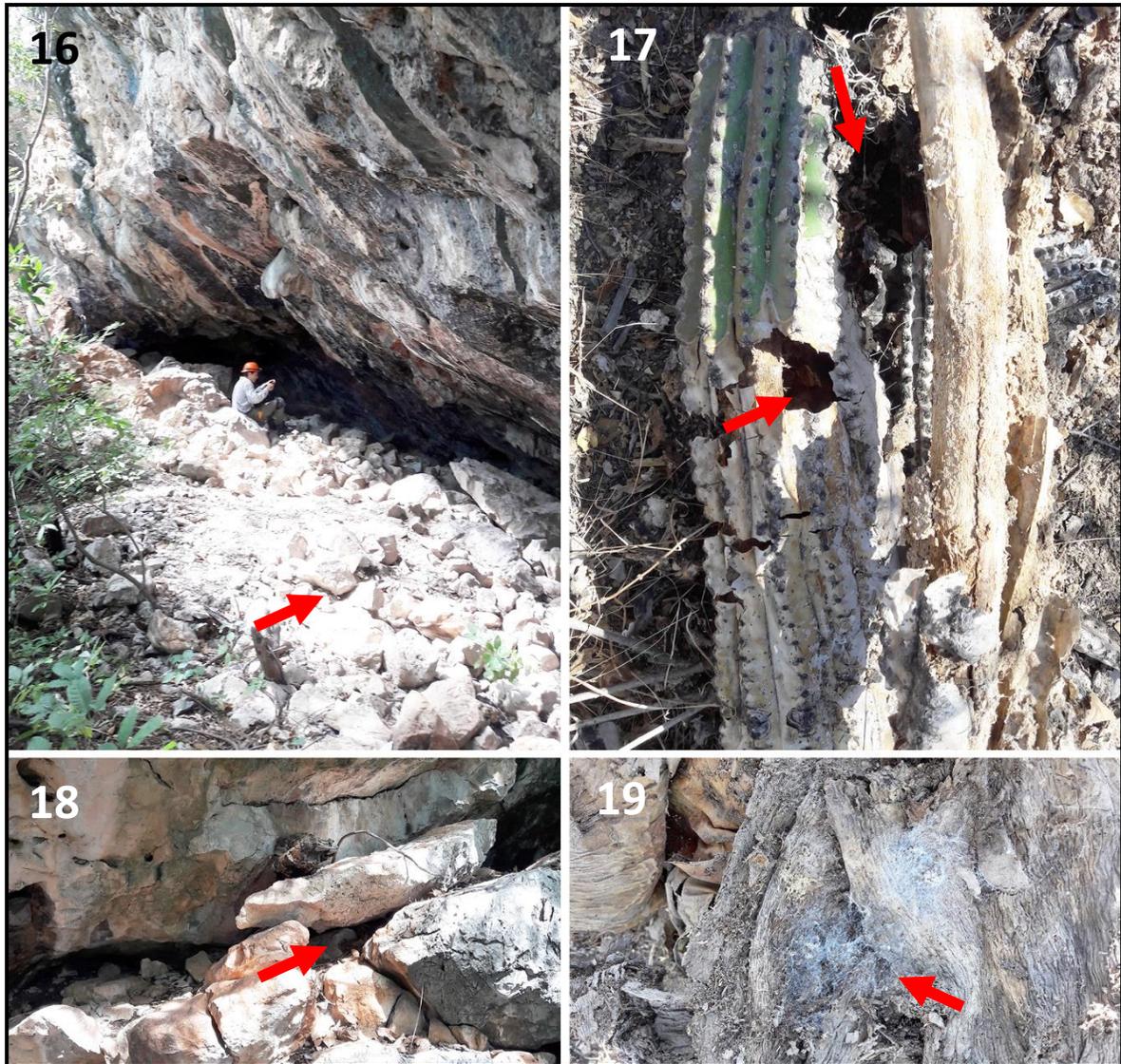
Especie	Registros	Estado	Fuente*
<i>Loxosceles boneti</i>	59	GRO, MOR, PUE	LIT, LATLAX, CNAN
<i>Loxosceles colima</i>	57	COL, GRO, JAL, MEX, MICH, NAY	LIT, LATLAX
<i>Loxosceles yucatanana</i>	44	CHIS, TAB, CAM, YUC, QR	LIT, CNAN
<i>Loxosceles baja</i>	38	BCS	LIT, LATLAX, CARCIB
<i>Loxosceles devia</i>	28	NL, TAMS	LIT, LATLAX, CARCIB
<i>Loxosceles malintzi</i>	26	GRO, MOR, PUE	LATLAX, CNAN
<i>Loxosceles apachea</i>	22	AGS, CHIH, DGO	LIT
<i>Loxosceles tenochtitlan</i>	20	CDMX, MEX, TLAX	LATLAX, CNAN
<i>Loxosceles tehuana</i>	18	CHIS, OAX	LIT, LATLAX
<i>Loxosceles chinateca</i>	17	OAX, VER	LIT, LATLAX
<i>Loxosceles misteca</i>	15	GRO, MICH, MOR	LIT, LATLAX, CNAN
<i>Loxosceles jaca</i>	13	HGO	LIT, LATLAX
<i>Loxosceles nahuana</i>	13	HGO	LIT, LATLAX
<i>Loxosceles sonora</i>	13	SIN, SON	LIT
<i>Loxosceles mulege</i>	13	BCS	LIT, LATLAX, CARCIB
<i>Loxosceles valdosa</i>	11	SLP, TAMS	LIT
<i>Loxosceles deserta</i>	11	BC, SON	LIT
<i>Loxosceles tenango</i>	10	HGO, SLP	LIT, LATLAX
<i>Loxosceles zapoteca</i>	10	GRO	LIT, LATLAX, CNAN
<i>Loxosceles belli</i>	10	COAH	LIT
<i>Loxosceles huasteca</i>	9	GTO, QRO, SLP	LIT
<i>Loxosceles seri</i>	7	SIN, SON	LIT
<i>Loxosceles tolantongo</i>	7	HGO	LATLAX
<i>Loxosceles aurea</i>	6	COAH, ZAC	LIT
<i>Loxosceles alamosa</i>	5	SON	LIT
<i>Loxosceles aranea</i>	4	QRO	LIT
<i>Loxosceles tlacolula</i>	4	OAX	LIT, LATLAX
<i>Loxosceles candela</i>	4	NL, TAMS	LIT
<i>Loxosceles reclusa</i>	4	TAMS	LIT, LATLAX
<i>Loxosceles coyote</i>	3	SON	LIT
<i>Loxosceles rothi</i>	3	BCS	LIT
<i>Loxosceles teresa</i>	3	TAMS	LIT
<i>Loxosceles manuela</i>	2	BC	LIT
<i>Loxosceles palma</i>	2	BC	LIT
<i>Loxosceles barbara</i>	1	BCS	LIT
<i>Loxosceles carmena</i>	1	BCS	LIT
<i>Loxosceles francisca</i>	1	BC	LIT
<i>Loxosceles insula</i>	1	COL	LIT
<i>Loxosceles luteola</i>	1	NL	LIT
<i>Loxosceles rufescens</i>	1	CHIH	LATLAX
Total	517		

Las especies distribuidas en México de *Loxosceles* en su mayoría prefieren hábitats secos como selvas bajas (e.g. *Loxosceles zapoteca*, Guerrero) o matorrales xerófilos (e.g. *Loxosceles tolantongo*, Hidalgo), aunque hay algunas especies como *Loxosceles tenango* Gertsch, 1973 (Hidalgo) y *Loxosceles yucatanana* (Yucatán), que se distribuyen en ambientes tropicales como bosques mesófilos y en selvas altas respectivamente (Figuras 12-15) (Valdez-Mondragón y cols. 2018a, b, Valdez-Mondragón y cols. 2019). Respecto a su microhábitat natural, algunas de las especies de *Loxosceles* se han encontrado dentro de cuevas, principalmente en zonas de penumbra (e.g. *Loxosceles chinateca*, *Loxosceles yucatanana* y *Loxosceles misteca*); sin embargo, también se tienen registros de estas especies fuera de las cuevas, particularmente en bosques secos, donde es común encontrarlas entre cortezas de cactus, opuntias y árboles secos, debajo de rocas, bajo las pencas secas de los agaves, sitios donde pueden construir refugios (Figuras 16-19) (Bonnet y cols. 1996, Cortez-Roldán 2018, Valdez-Mondragón y cols. 2018 a, b, Juárez-Sánchez 2019, Navarro-Rodríguez 2019, Solís-Catalán 2020).

Hasta el momento, y por citar algunas especies, se conocen que tres especies de *Loxosceles* se encuentran en ambientes antropizados, *Loxosceles aff. colima* para el estado de Jalisco, *Loxosceles malintzi* en el estado de Puebla y *L. tenochtitlan* en los estados de México, Tlaxcala y Ciudad de México (Figuras 20-24) (Cortez-Roldan 2018, Valdez-Mondragón y cols. 2018 a, 2018b, Valdez-Mondragón y cols. 2019).



Figuras 12-15. Ejemplos de hábitat de las arañas del género *Loxosceles* en México. **12.** Matorral xerófilo (*Loxosceles tolantongo*), Hidalgo, México. **13.** Matorral crasicaule (*Loxosceles apachea*), Durango, México. **14, 15.** Selva baja caducifolia (*Loxosceles zapoteca*), Guerrero, México. Fotos 12, 14 y 15 tomadas por A. Valdez-Mondragón. Foto 13 tomada por J. C. Valerdi-Tlachi.



Figuras 16-19. Ejemplos del microhábitat de las especies mexicanas del género *Loxosceles*. **16, 18.** Entrada de la cueva Agustín Lorenzo, Mexcaltepec (*Loxosceles zapoteca*), Guerrero, México. **17, 19.** Refugios dentro y sobre cactus del género *Pachycereus* (*Loxosceles malintzi*), Puebla, México. Las flechas indican los sitios de refugio de las especies del género *Loxosceles*. Fotos tomadas por A. Valdez-Mondragón.



Figuras 20-24. Especímenes vivos y microhábitat urbano de *Loxosceles tenochtilan*, especie sinantrópica de los estados de México, Tlaxcala y la Ciudad de México. **20-23.** Especímenes del centro de Huamantla, Tlaxcala, México. **24.** Microhábitat donde se recolectaron algunos especímenes de Tepeyanco, Tlaxcala, México. Las flechas rojas indican los lugares específicos donde se colectaron. Tomada de Valdez-Mondragón y cols. 2019.

2. ANTECEDENTES

2.1 Teoría del nicho ecológico y modelos de distribución potencial

Uno de los conceptos de mayor importancia en ecológica es el de nicho, acuñado a principios del siglo XX, con el objetivo de conocer cómo afectan los factores ambientales el área de distribución geográfica de las especies, así como la composición y estructura de las comunidades ecológicas (Maciel-Mata y cols. 2015). Formalmente el concepto de nicho ecológico se definió a partir del trabajo de Grinnell (1917), quien consideró el ambiente como un factor limitante en la distribución de especies. Por su parte, Elton (1927) lo definió como el lugar que ocupa un organismo en su entorno, es decir, describe su relación con los recursos y las interacciones con otras especies. Mientras que Hutchinson (1957) lo visualizó como un hipervolumen de n -dimensiones, donde se encuentran las condiciones bióticas y abióticas en las cuales una especie puede sobrevivir. Esto permite clasificar el aspecto geográfico-climático a través de n variables, identificando el espacio donde habita la especie o donde potencialmente la podríamos encontrar (Soberón y Peterson 2005, Soberón y cols. 2017).

Bajo esta perspectiva, Hutchinson distinguió dos tipos de nichos ecológicos: 1) el nicho fundamental, en donde se representan todas las condiciones abióticas en las que potencialmente puede encontrarse la especie, y 2) el nicho efectivo o realizado, definido como aquella fracción del hipervolumen en la cual las especies restringen su distribución, debido a interacciones bióticas con otras especies (Soberón 2007, Piña 2019). Para comprender estos dos conceptos de nicho, se debe tener en cuenta la ecología de las especies a estudiar, es decir, conocer las condiciones abióticas, bióticas y las regiones accesibles para la dispersión de las especies, así mismo, conocer la capacidad de regresar a la estabilidad después de una perturbación (incendios, inundaciones, deforestación, etc.) (resiliencia) (Soberón y Peterson 2005, Pliscoff 2011).

Considerando lo anterior, se parte del supuesto de que la especie está presente en el área donde se cumplen las condiciones: abióticas (A) y bióticas (B) favorables, y el área o espacio geográfico accesible para la especie (M) (Soberón y Peterson 2005, Soberón y cols. 2017, Mota-Vargas y cols. 2019). Si existe una zona que cumple con las características abióticas y bióticas necesarias, pero no hay registros de la especie, hablamos del nicho

fundamental (G_1) (Mota-Vargas y cols. 2019) (Figura 25). Pero si la especie está presente entonces nos referimos al nicho realizado (G_0) (Figura 25) (Soberón y Peterson 2005).

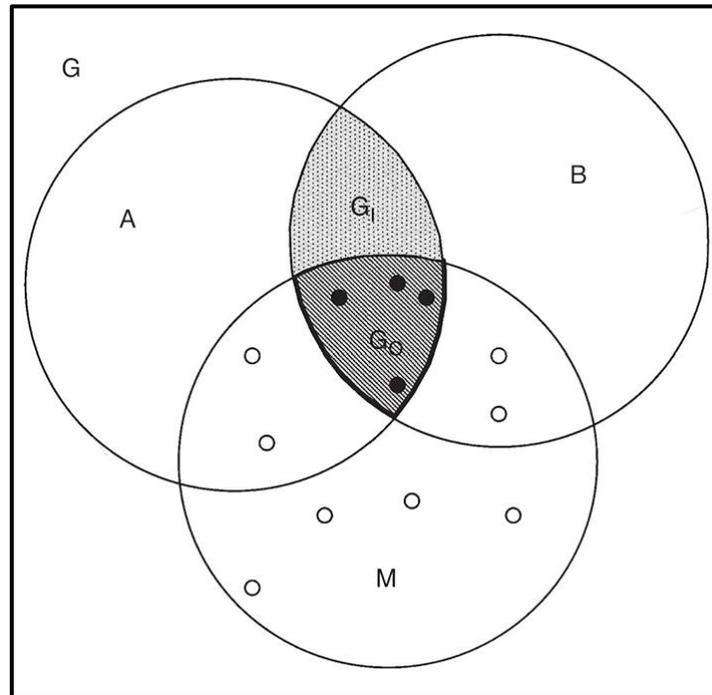


Figura 25. Diagrama de BAM. Condiciones abióticas (A), condiciones bióticas (B) y área de accesibilidad geográfica de la especie (M). La intersección de los tres conjuntos G_0 representa el área ocupada por la especie o el nicho realizado, mientras que G_1 representa el área potencial de invasión o nicho fundamental. Tomado y modificado de Soberón (2010).

Los Modelos de Nicho Ecológico (MNE) se consideran como aproximaciones limitadas a los nichos fundamentales (G_1) (descritos por Hutchinson), los cuales existen en la geografía, con base en ciertas características ambientales (descritas por Grinnell 1977) (Soberón y Peterson 2005, Soberón 2007, Mota-Vargas y cols. 2019). Los MNE se desarrollan en el espacio ecológico o ambiental (E, multidimensional) y se proyectan a un espacio geográfico (G, tridimensional) (Soberón y cols. 2017, Mota-Vargas y cols. 2019) y así surgen los Modelos de Distribución de Especies (MDE), en ellos se observa la posición geográfica de las especies dentro del planeta (coordenadas geográficas, localidades) considerando variables ambientales (ej. clima, topografía, etc.) (Soberón y cols. 2017, Mota-Vargas y cols. 2019). La correlación de los registros de presencia para la reconstrucción del nicho ecológico se conoce como la “Dualidad de Hutchinson” (Colwell y Rangel 2009, Aiello-Lammens y cols. 2015, Soberón y cols. 2017) (Figura 26). Esto nos ayuda a entender la diferencia entre los

MNE y MDE, usados erróneamente como sinónimos (Elith y Graham 2009, Elith y Leathwick 2009, Peterson y Soberón 2012).

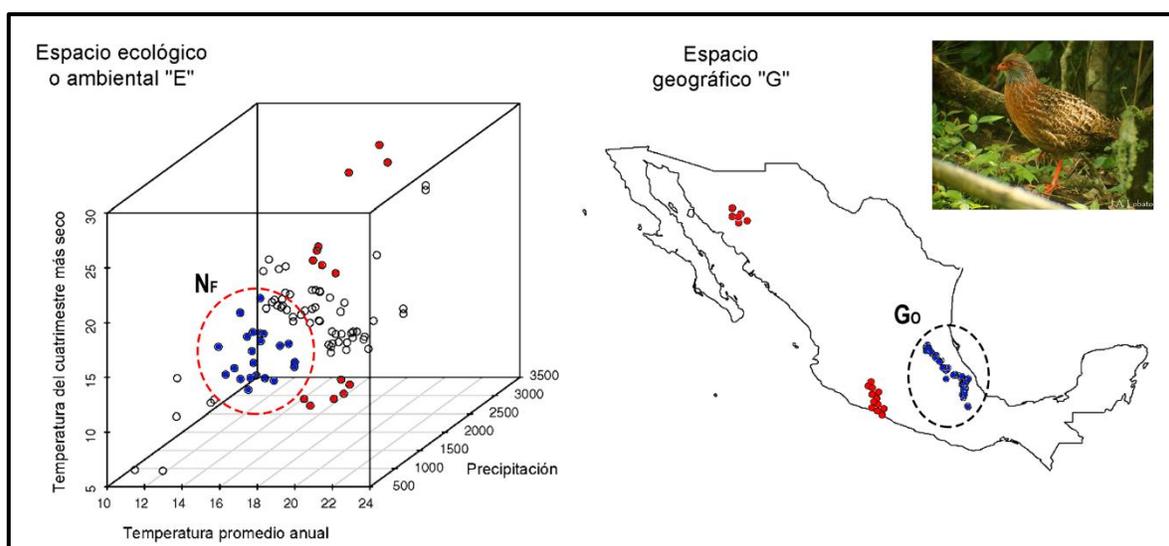


Figura 26. Representación de la dualidad de Hutchinson, la cual establece que cada lugar en el espacio E (hipervolumen, izquierda) corresponde a uno o varios sitios en el espacio G (puntos rojos), y que, un sitio en el espacio G (puntos azules) solo puede tener un sitio en el espacio E (círculo rojo). Esto muestra una correspondencia entre el área con mayor probabilidad de distribución (G_0) con las condiciones ambientales adecuadas para la sobrevivencia (nicho fundamental, N_F) de la especie. Los registros corresponden a una especie de perdicillo llamada Chivizcoyo (*Dendrortyx barbatus*). Tomado y modificado de Mota-Vargas y cols. (2019).

Los MNE y MDE han surgido como una excelente alternativa para delimitar las áreas potenciales de presencia de las especies (Guisan y Zimmermann 2000, López-Sandoval y cols. 2015), observar efectos del cambio climático e impacto humano (Sántiz y cols. 2016, Chico-Avelino 2019), en el mapeo de riesgo de enfermedades (Peterson y cols. 2002, Marques y cols. 2020) y en la elaboración de planes para la conservación de la biodiversidad (Mota-Vargas y Rojas-Soto 2012, Yáñez-Arenas y cols. 2012, Mota-Vargas y cols. 2013).

Existen dos enfoques para la estimación de los MNE, el mecanicista y el correlativo (Pablos y cols. 2010). Los enfoques mecanicistas modelan la respuesta de los individuos a variables ambientales como la temperatura, humedad y otros parámetros físicos, e infieren de ellos valores de aptitud de las diferentes combinaciones (Soberón y Peterson 2005, Soberón y Miller 2009). Los correlativos, por el contrario, se construyen relacionando los datos sobre la presencia de especies con conjuntos de datos de dimensiones climáticas, topográficas, edáficas, que se proyectan al espacio G, identificando áreas geográficas

ecológicamente similares a donde se encuentra la especie (Soberón y Peterson 2005, Soberón y Miller 2009).

Dentro de los enfoques correlativos existen algoritmos que utilizan diferentes datos biológicos para la creación de los modelos. Los algoritmos se pueden implementar de acuerdo con el tipo de datos que se tenga, ya que existen algoritmos que solo necesitan registros de presencia (Bioclim, ENFA, MVE y Domain) (Qiao y cols. 2018), presencia/ausencia (modelos lineales generalizados: GLM y modelos aditivos generalizados: GAM) (Candela y cols. 2016), presencia/pseudo-ausencias (árboles de regresión impulsado: BRT) (Elith y cols. 2008) y presencia/variables de entorno (características ambientales) algoritmos genéticos (GARP) y de máxima entropía (Maxent) (Qiao y cols. 2018, Mota-Vargas y cols. 2019). De esta manera, la selección del algoritmo dependerá en su mayor parte de los datos con los que se cuente. Esto es importante en términos de desempeño, hasta ahora no existe una base sólida sobre qué algoritmo es mejor elegir, por lo que se han desarrollado comparaciones entre ellos (Elith y cols. 2006, Ortega-Huerta y Peterson 2007, Tsoar y cols. 2007, Qiao y cols. 2015).

El algoritmo de Maxent se seleccionó para la elaboración de los MNE, ya que se ha demostrado con distintas simulaciones que genera buenas predicciones, aun cuando se utilizan muestras pequeñas (<10; Phillips y cols. 2006, Pearson y cols. 2007) y este algoritmo se ajustan a los datos disponibles para este estudio. El algoritmo de Maxent estima la distribución más uniforme (de ahí el concepto de máxima entropía) a lo largo del área de estudio, con la restricción de que, el valor esperado para cada variable ambiental en una distribución concuerda con su promedio empírico (valores promedio para el conjunto de datos de ocurrencia) (Phillips y cols. 2004, 2006). Esto permite modelar con pocos registros de presencia (Hernández y cols. 2006) y contrasta los puntos de presencia con las variables de fondo, es decir, muestra los datos ambientales de los píxeles de fondo (área de estudio), donde la especie no necesariamente ha sido detectada (background) (Merow y cols. 2013). Maxent ofrece una serie de ventajas, por lo que su uso se ha popularizado (Pearson y cols. 2007, Wisz y cols. 2008, Elith y cols. 2011). Phillips y cols. (2006) mencionan que el algoritmo permite utilizar variables continuas y categóricas, ajustando los modelos a condicionales con los datos de presencias y/o ausencias (Phillips 2004, Elith y cols. 2006,

Phillips y cols. 2006, Ortega-Huerta y Peterson 2008). De igual manera, Maxent asigna un valor de aporte al modelo a cada variable ambiental (análisis de Jackknife) multiplicado por una constante, y la divide posteriormente para asegurar valores de probabilidad entre 0 (menos adecuadas) y 1 (más adecuada) dentro del área de estudio (Illoldi-Rangel y Escalante 2008).

Este algoritmo se ha usado para comparar nichos ecológicos entre especies hermanas (Taucare-Ríos 2017, Manzanilla-Quñones y cols. 2019) y para comprender los requerimientos ecológicos de las especies, ya que, en la gran mayoría de las especies, no se conoce nada más que unas pocas ocurrencias geográficas (Costa y cols. 2002, Hirzel y cols. 2002, Peterson y cols. 2005). Por ello, se ha utilizado Maxent para encontrar poblaciones o especies desconocidas, interpolando información de las poblaciones conocidas y así proporcionar un marco para predecir la existencia de otras poblaciones de la misma especie (Raxworthy y cols. 2003, Bourg y cols. 2005). De igual manera, Maxent se ha usado para predecir la expansión de vectores biológicos (Peterson y cols. 2002, Altamiranda-Saavedra y cols. 2017, Chico-Avelino 2019) y de especies invasoras (Hoffmann 2001, Peterson y Robins 2003, Robertson y cols. 2004, Hinojosa-Díaz y cols. 2005). Actualmente los MNE y Maxent se han utilizado para la evaluación de los efectos del cambio climático en la distribución de especies, al ser posible proyectar modelos de nicho actuales a condiciones climáticas futuras (Pope y cols. 2002, Soberón y Peterson 2005). Estas predicciones asumen la distribución geográfica potencial de las especies y cómo cambiarán en las próximas décadas (Saupe y cols. 2011, Ortíz-Yusty y cols. 2014, Ruiz-Sánchez y cols. 2018), incluyendo proyecciones destinadas a reconstruir distribuciones en el pasado (pleistoceno o último máximo glacial) (Hugall y cols. 2002, Hilbert y cols. 2004, Martínez-Meyer y cols. 2004, Martínez-Meyer y Peterson 2006).

2.2 Cambio climático y su efecto en la distribución de las especies

El grupo de expertos sobre el cambio climático (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) define al cambio climático (CC) como una importante variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un tiempo prolongado

(décadas o incluso siglos) (IPCC 2001, 2002, Piña 2019). Los cambios climáticos han existido desde el inicio de la historia de la Tierra, han sido graduales o abruptos y se deben a diversas causas (Soon y Baliunas 2003), como procesos naturales, relacionados con los cambios en los parámetros orbitales, variaciones de la radiación solar, la deriva continental, periodos de vulcanismo intenso, procesos bióticos y/o impactos de meteoritos (Sánchez-Zavaleta 2016). En los últimos 400 mil años, la Tierra ha tenido alteraciones climáticas, teniendo varios periodos cálidos (interglaciares) y fríos (glaciales) (Figura 27) (Berner y Kothavala 2001). Aun cuando el clima ha variado a lo largo de toda la historia del planeta, de manera natural, la gran diferencia en las variaciones en el clima actual se debe al aumento de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a finales del siglo XIX con la Revolución Industrial, (Figura 27) (Compagnucci 2011, Sánchez-Zavaleta 2016, Piña 2019). Por lo que, se considera que el CC actual se debe a cambios antropogénicos y se relaciona principalmente con la intensificación de los GEI procedentes de la quema de combustibles fósiles (Piña 2019, Compagnucci 2011).

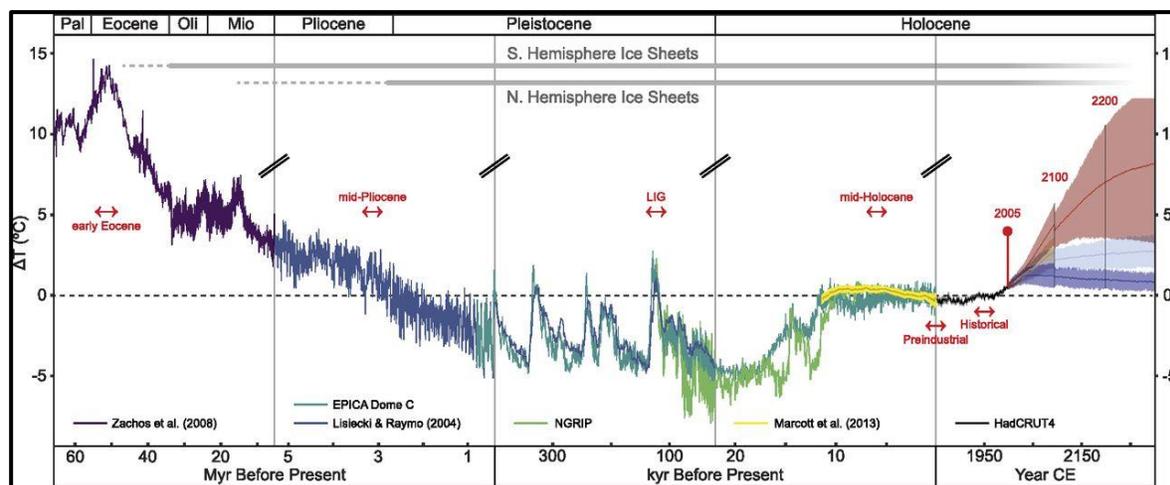


Figura 27. Tendencias de temperatura de los últimos 65 MA y posibles análogos geo-históricos para climas futuros del planeta. Se representan seis periodos geo-históricos (flechas rojas). Los patrones principales presentan una tendencia de enfriamiento a largo plazo y fluctuaciones periódicas impulsadas por cambios en la órbita del planeta. También se representan las tendencias de calentamiento recientes (1961-1990) y proyectadas al futuro (cuatro vías de emisión). Pal: Paleoceno, Oli: Oligoceno, Mio: Mioceno. Tomado y modificado de Burke y cols. (2018).

Para determinar la influencia del incremento del CO₂ antropogénico y de los factores ambientales se utilizan simulaciones del clima mediante modelos numéricos, llamados

modelos climáticos (Compagnucci 2011). Los modelos climáticos son herramientas integradoras del conocimiento climático actual, incorporando ciclos biogeoquímicos y ciclos atmosféricos (ozono estratosférico), y que han servido como base a las proyecciones de modelos climáticos futuros (Diffenbaugh y cols. 2013, Harris y cols. 2014). Estos modelos son cada vez más complejos y actualmente simulan el clima con más precisión que los usados a comienzos del IPCC (2007). Sin embargo, Lorenz (1964) menciona que las reales ecuaciones que rigen el clima carecen de resolución analítica, por lo cual, jamás podrán modelarse los climas con precisión absoluta. Es por ello que las ecuaciones del clima son la base de modelos para aproximarse a “escenarios” futuros, resaltando los cambios del CO₂, de otros gases de origen antropogénico y, en algunos se incorporan cambios en la actividad solar (Gitay y cols. 2002, Compagnucci 2011, Harris y cols. 2014, Rivera-Olmos y cols. 2017, Piña 2019).

Para representar estos escenarios, se han desarrollado herramientas como los Modelos de Circulación Global (MCG), los cuales son formulados a partir de algoritmos que representan los procesos físicos en la atmósfera, superficie terrestre y océanos (Braconnot 2012, Austria 2017). Los MCG son superficies climáticas interpoladas del clima actual e histórico y de las superficies reducidas de las proyecciones climáticas futuras (Hijmans y cols. 2005). Los MCG proveen estimados cuantitativos fiables del cambio climático futuro, particularmente a escalas continentales (Randall y cols. 2007), por lo que son una herramienta útil al momento de modelar la distribución de las especies en los diferentes escenarios de cambio climático. Estos escenarios consideran aspectos socioeconómicos, de desarrollo tecnológico, energético y de uso de suelo (Nazarenko y cols. 2015) y suelen representarse como vías de concentración de gases de efecto invernadero (RCP), que son la cantidad de energía que permanecerá en la Tierra en lugar de proyectarse al espacio, aumentando así la temperatura; los tres más importantes son: RCP-2.6, RCP-4.5 y RCP-8.5 (Figura 28) (Austria 2017).

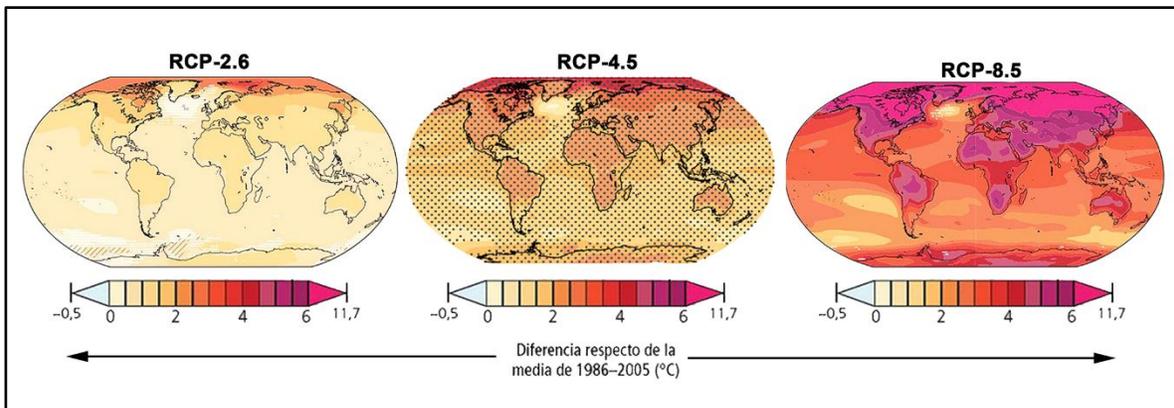


Figura 28. Modelo de Circulación Global, trayectoria de concentración representativa (Representative Concentration Pathway, RCP, por sus siglas en inglés). En las regiones en color rojo se predice que la temperatura será más alta que la temperatura promedio del siglo XX y en las regiones en azul, se pronostica que será más baja. Tomado y modificado de Utset (2020).

Los tres RCP reflejan el rango de valores de forzamiento radiactivo de gases de efecto invernadero del año 2100 que van de 2.6 a 8.5 Wm^{-2} (Nazarenko y cols. 2015): 1) el escenario de nivel de forzamiento más bajo RCP 2.6 “pico” (van Vuuren y cols. 2007), 2) un rango medio o estabilización del escenario RCP 4.5 “óptimo” (Thomson y cols. 2011) y 3) el escenario de gama alta o normal RCP 8.5 “catastrófico” (Riahi y cols. 2011).

En el escenario RCP 2.6, hay una disminución sustancial de la concentración de CO_2 , así como una disminución en la concentración de clorofluorocarburos (CFC) y otros gases traza; el óxido nitroso (N_2O) y el metano (CH_4) se mantienen constantes en los valores del año 2100 (Nazarenko y cols. 2015). El escenario RCP 4.5 se caracteriza por aumentos muy pequeños de las concentraciones de CO_2 y N_2O , y las proporciones de mezcla de estos dos gases de efecto invernadero se mantienen constantes; las concentraciones de CH_4 y CFC y otros gases traza disminuyen y se mantienen estables (Thomson y cols. 2011, Nazarenko y cols. 2015). Por último, en el escenario RCP 8.5, se duplica el aumento de la concentración de CO_2 y hay pequeñas disminuciones en las proporciones de mezcla de CH_4 , CFC y otros gases traza no influyen mucho un papel en el calentamiento global (Riahi y cols. 2011).

Las proyecciones del uso del suelo varían mucho en los diferentes RCP. La disminución en los pastizales se aplica en tres escenarios, excepto RCP 8.5, donde hay aumentos en las tierras de cultivo y pastizales debido al aumento de la población mundial

(Nazarenko y cols. 2015). Los RCP predicen un aumento de la temperatura media de la superficie terrestre de 1.4 a 5.8°C en el periodo de 1990-2100 (CCA 2008, Lira y cols. 2008, Nazarenko y cols. 2015).

El CC tendrá efectos sobre procesos ecosistémicos, propiciando cambios en la distribución (Beniston 1994, Smith 1997, Gray 2005, Gavilán 2008), abundancia (Hughes 2000, Peterson y cols. 2005, Root y cols. 2005, Parmesan 2006) y persistencia de especies y poblaciones (Walther y cols. 2002, Thomas y cols. 2004). Por ello, es uno de los grandes retos de la biología de la conservación. Aunque el cambio climático afecta a todos los organismos, a la fecha se han generado más estudios con organismos terrestres, en el área de botánica y en zoología con mamíferos y algunos artrópodos, en particular en algunos grupos de insectos y arañas de importancia médica (Saupe y cols. 2014). De manera más general, los métodos de MNE y MDE ofrecen la posibilidad de nuevas perspectivas sobre la ecología de distribución de las especies vectores, reservorios y transmisores de enfermedades.

Peterson y Shaw (2003) prevén que los cambios climáticos futuros afecten las condiciones ambientales actuales y con ello, exista un cambio en la distribución del género *Lutzomyia*, vector de la enfermedad de leishmaniasis cutánea en Sudamérica. Se estima que las condiciones ambientales están modificándose para la parte suroeste de Sudamérica, como son partes del sur de Brasil, norte de Argentina y oeste de Chile, cerca de las ciudades con mayor densidad poblacional. Estos cambios en la distribución también han sido reportados por Peterson (2009) en vectores de malaria en África, bajo los escenarios de cambio climático, observando un desplazamiento de la distribución potencial actual del mosquito *Anopheles gambiae*. Peterson (2009) predijo un aumento del 11.3% al 30.2% en el porcentaje de la población humana total que vive en áreas adecuadas para la especie en los próximos 50 años. Sin embargo, es probable que la idoneidad del vector de la malaria disminuya en África occidental, pero aumente en África oriental y meridional.

El aumento de la distribución también ha sido reportado con otros grupos de artrópodos, con las especies de chinches del género *Triatoma*, vectores del parásito *Trypanosoma cruzi* causante de la enfermedad de Chagas. Garza y cols. (2014) analizaron cómo el cambio climático afectara la propagación de este parásito en Norteamérica, mostrando que las especies de *Triatoma* presentarán un aumento en las áreas de idoneidad

ambiental hacia el norte y sur de su rango de distribución actual. Por lo que Garza y cols. (2014) recomiendan monitorear las áreas en las que actualmente no se ha detectado la enfermedad de Chagas, pero que pueden verse potencialmente afectadas en el futuro debido al cambio climático.

Por otra parte, las actividades antropogénicas son un factor importante que afectan a los MDE, en particular de aquellas especies de vectores, que representan un riesgo médico para los humanos. Gray y cols. (2009) proponen un posible aumento en la distribución de las garrapatas: *Ixodes ricinus*, *Dermacentor* spp. y *Rhipicephalus* spp. en Europa, afectando la biología de estos vectores y con ello, un riesgo de aumento de enfermedades, como la de Lyme y la encefalitis. Estas garrapatas viven en ambientes no antropizados y se ha demostrado que en escenarios de cambio climático y con base a condiciones antropogénicas, existe un aumento en su rango de distribución hacia el norte de Europa (Gray y cols. 2009). Por lo tanto, el cambio en la distribución actual de las especies en los escenarios de cambio climático no depende solo de las condiciones ambientales, sino que se ven afectadas también por factores antropogénicos (e.g. densidad poblacional).

Sin embargo, se requiere también del conocimiento biológico de las especies, ya que, esta es útil para hacer comparaciones en el aumento del rango de distribución en los distintos escenarios de cambio climático. Boorgula y cols. (2020) determinaron la distribución potencial con MNE y efectos del cambio climático en la distribución de la garrapata *Dermacentor variabilis*, una especie de importancia veterinaria y médica en el centro y este de Norteamérica. Demostrando así, que las variables de precipitación y temperatura son importantes para la supervivencia de las garrapatas, ya que, éstas están expuestas al ambiente durante la mayor parte de su ciclo de vida, causando problemas de salud pública en nuevas áreas (Saupe y cols. 2011, Boorgula y cols. 2020). Por lo que se debe tener en cuenta la biología (capacidad de dispersión) y la distribución espaciotemporal de las garrapatas, ya que interactúan con los huéspedes intermedios en la dinámica de las zoonosis, lo cual es de importancia para la planificación y manejo adecuado de enfermedades zoonóticas (Boorgula y cols. 2020).

Estos enfoques han permitido generar evidencias de que los nichos ecológicos evolucionan de manera lenta intra e interespecífica, lo que se ha nombrado como

conservadurismo de nicho (Wiens y Graham 2005, Eliosa-León y cols. 2010). El conservadurismo de nicho es la tendencia de las especies a mantener estables en el tiempo caracteres de sus nichos ecológicos en condiciones ambientales nuevas (Eliosa-León y cols. 2010). En el contexto del MNE, estos caracteres se refieren a las tolerancias fisiológicas y a variables ambientales que determinan sus distribuciones geográficas (Wiens y cols. 2010). Por lo tanto, los efectos del CC pueden ser visto desde esta perspectiva, teniendo tres patrones de respuesta ante el CC: 1) si las tolerancias térmicas y climáticas de las especies son lo suficientemente amplias se adecuarán a las nuevas condiciones ambientales, manteniendo sus áreas de distribución (Uribe-Botero 2015, Stranges y cols. 2019). 2) las especies con un alto nivel de conservadurismo deberán mantenerse en las áreas climáticamente estables, disminuyendo así las posibles áreas de distribución, en casos extremos, podrían llegar a extinguirse (Araújo y cols. 2006, Romo y cols. 2011). Y 3) las especies evolutivamente más tolerantes pueden potencialmente adaptarse a las nuevas condiciones y colonizar nuevas áreas de distribución, ampliando su rango geográfico (Peterson 2009, Logan y cols. 2014, Boorgula y cols. 2020, Ryding y cols. 2021).

2.3 Modelos de distribución potencial y de cambio climático en arañas del género *Loxosceles*

Los MNE y MDE han sido utilizados para predecir la distribución potencial de los organismos y para representar una aproximación al nicho ecológico de las especies de acuerdo con las dimensiones ambientales estudiadas (Guisan y Zimmermann 2000, Acosta 2008, Elith y Leathwick 2009). Actualmente ha aumentado el uso de MNE y MDE en estudios evolutivos sobre el conservadurismo y divergencia de nichos entre taxones relacionados, midiendo el grado de similitud del nicho climático (Warren y cols. 2008, Taucare-Ríos 2017).

En el género de arañas *Loxosceles* los trabajos de MNE abordan temas como los procesos de divergencia y conservadurismo de nicho ecológico, en particular con una especie del Mediterráneo. Planas y cols. (2014) combinaron enfoques filogeográficos y MNE para examinar la diversidad y los procesos evolutivos que promovieron la diversificación de

Loxosceles rufescens en el Mediterráneo. Mostraron que la diversidad genética actual de *L. rufescens* probablemente se originó por alopatría durante el Pleistoceno (Planas y cols. 2014). También se han usado en análisis de conservadurismo de nicho con *L. rufescens*. Taucare-Ríos y cols. (2018) asumen que los nichos climáticos no cambian y así formularon una hipótesis sobre las etapas y la dinámica de invasión de nichos ecológicos por parte de *L. rufescens*. Aunque para ambos trabajos de Planas y cols. (2014) y Taucare-Ríos y cols. (2018) se cree que las actividades antropogénicas afectan los patrones de distribución, aún hay un sesgo sobre si estas actividades ayudan a propagar a *L. rufescens* con bastante rapidez dentro de la cuenca del Mediterráneo.

Existen modificaciones en las distribuciones en escenarios de cambio climático dentro del género *Loxosceles*, al igual que en otros artrópodos (mosquitos y garrapatas), esta afectación en la distribución futura se ha documentado con *Loxosceles reclusa*, especie de importancia médica-toxicológica y de amplia distribución en Estados Unidos (EU). Saupe y cols. (2011) plantearon que *L. reclusa*, especie de hábitos sinantrópicos y cuya distribución abarca el sureste de EU, tendrá un incremento bajo escenarios de cambio climático con respecto a su distribución actual, abarcando zonas al norte de los Estados Unidos, en regiones donde la especie no ha sido registrada en los últimos 10 años. Por lo que este estudio podría ser de gran aporte para el diseño de estrategias de prevención de mordeduras de estas arañas en EU (Saupe y cols. 2011).

Por otro parte, también se han realizado aproximaciones de los nichos ecológicos de las especies de *Loxosceles* sudamericanas y mexicanas. Canals y cols. (2016) modelaron el nicho ecológico de la especie *Loxosceles laeta*, a partir de variables ambientales y de huella humana. Determinando así que *L. laeta* está asociada con altas temperaturas y tasas bajas de precipitación, sin embargo, la variable con mayor asociación a la distribución potencial es la huella humana (48.6%), lo que sugiere que se trata de una especie altamente invasiva, correspondiendo a la zona con más casos de loxoscelismo en Chile (Canals y cols. 2016). Esto proporciona información para la elaboración de mapas de riesgo de casos de loxoscelismo en Chile.

En México, los estudios de la caracterización del nicho ecológico de las especies de *Loxosceles* son poco informativos. Como es el trabajo de Dzul-Manzanilla y cols. (2014)

para las especies distribuidas en el estado de Guerrero. Los MDE muestran una amplia distribución las especies *L. boneti*, *L. misteca*, *L. zapoteca* y *L. colima* en el estado de Guerrero, lo que representaría un riesgo potencial de casos de loxoscelismo para el estado. Sin embargo, no hay información concreta de las variables ambientales que influyen en la distribución de estas especies, considerando que una de las cinco especies es sinantrópica, es decir, que habita ambientes urbanos o antropizados en el estado (*L. misteca*) y podrían representar un riesgo mayor de casos de loxoscelismo para la ciudad de Chilpancingo (Dzul-Manzanilla y cols. 2014).

Posteriormente, Cortez-Roldán (2018) realizó la actualización de los registros para las especies de *Loxosceles* y generó aproximaciones de MDE utilizando variables ambientales y de vegetación. Estas aproximaciones se realizaron a partir de un conjunto de registros de las especies, pero dado que muchas de las especies solo contaban con menos de cinco registros los modelos podrían ser poco representativos. El uso de registros a nivel de género es válido, sin embargo, también usarlos de manera individual aporta información del nicho ecológico de la especie (Costa y cols. 2002, Hirzel y cols. 2002, Peterson y cols. 2005, Dra. Roberta Marques, com. pers.). Los MDE están estrechamente relacionados con variables como: la vegetación, la estacionalidad de temperatura, el rango de temperatura anual y la isothermalidad (Cortez-Roldán 2018, Valdez-Mondragón y cols. 2019). Estos MDE muestran que las especies de *Loxosceles* se distribuyen en todas las provincias biogeográficas, con excepción de la provincia de la Sierra Madre Occidental, Soconusco y Oaxaca (Morrone 2004, 2005; Cortez-Roldan 2018). El tipo de vegetación que está asociada a estas provincias son de selva baja caducifolia, matorral xerófilo, y bosque espinoso, principalmente; sin embargo, también se encuentran la selva mediana y selva alta perennifolia, es donde se han reportado las especies de *L. zapoteca* y *L. yucatana*, respectivamente (Cortez-Roldán 2018).

Recientemente, se ha usado los MNE y MDE como información adicional en la delimitación de especies de *Loxosceles* en México, ya que aportan datos sobre las condiciones ambientales específicas de la especie. Valdez-Mondragón y cols. (2019) generaron MNE y MDE, utilizando variables ambientales y de vegetación para *L. tenochtitlan*. Mostraron en el MDE una distribución delimitada para la provincia del Faja

Volcánica Transmexicana, la cual se ha caracterizado por poseer altas montañas y un clima templado, con bosques de pinos, encinos o pino-encinos (Valdez-Mondragón y cols. 2019). Aunque el MDE mostró distribución al sur de los estados de Puebla, sur y norte del Estado de México y pequeñas regiones de los estados de Michoacán, Guanajuato y Querétaro, esto podría considerarse como una sobre-predicción del modelo, o que es posible que otras especies pueden distribuirse en estos estados (Valdez-Mondragón y cols. 2018a, 2019). Aun considerando que *L. tenochtitlan* es una especie sinantrópica, al igual que *L. reclusa*, ambas especies presentan una sinantropía parcial, es decir, los patrones de distribución no están definidos por las actividades antropogénicas (como es el caso de *L. laeta*, en Sudamérica), a pesar de que se distribuyen en las ciudades más pobladas de México y Estados Unidos, respectivamente (Saupe y cols. 2011, Valdez-Mondragón y cols. 2019).

La creación de MNE y MDE son útiles para estudiar la dinámica compleja del ambiente y las especies a lo largo del tiempo y así poder estimar los cambios de distribución de las especies plaga, vectores, en peligro de extinción, de importancia económica y médica. El estimar los cambios en la distribución de las especies de importancia médica, en particular del género *Loxosceles*, podría servir de apoyo en la elaboración de programas de prevención de casos de loxoscelismo en México (Dr. Héctor Cartas, com. pers.).

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En México, en años recientes, se han realizado investigaciones sobre el género *Loxosceles*, estas se han enfocado al uso de taxonomía integrativa (morfología tradicional, análisis moleculares, ultra-morfología y morfometría geométrica y lineal) para la descripción y delimitación de las especies. Sin embargo, existen algunos aspectos en cuanto a su distribución y diversidad que aún no se conocen. Tomando en cuenta que en México la mayoría de las especies se distribuyen en los estados con mayor densidad poblacional del país, es factible asumir un mayor riesgo de cuadros tóxicos debidos a mordeduras por arañas violinistas (loxoscelismo) en dichas regiones. Por lo anterior, es importante estudiar su distribución, en particular la distribución actual y futura de las cuatro especies de la región más densamente poblada del país: *L. malintzi*, *L. misteca*, *L. tenochtitlan* y *L. zapoteca*, cuyos registros se encuentran en el Estado de México, Guerrero, Morelos, Puebla, Tlaxcala y la Ciudad de México (INEGI 2020).

Los MDE proporcionarán información útil para conocer la distribución geográfica potencial de estas especies. Adicionalmente, las proyecciones a escenarios de cambio climático ayudarán a identificar posibles cambios en la distribución potencial actual (aumentos o reducciones) de estas especies de importancia médica-toxicológica. Conocer esta información será útil en el sector salud y ayudará a delimitar zonas propensas a casos de loxoscelismo, permitiendo así orientar a la población sobre los riesgos, prevención y tratamiento.

4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuáles son y serán los patrones de distribución potencial actual y futura de cuatro especies de arañas del género *Loxosceles* (*L. malintzi*, *L. misteca*, *L. tenochtitlan* y *L. zapoteca*) en la región Centro-Occidente de México?

5. OBJETIVOS

5.1 General

Identificar la variación en los patrones de distribución potencial actual y futura de cuatro especies de arañas del género *Loxosceles* (*L. malintzi*, *L. misteca*, *L. tenochtitlan* y *L. zapoteca*) en la región Centro-Occidente de México, con la finalidad de identificar aumentos o reducciones en las distribuciones para los años 2050 y 2080; y, en consecuencia, el riesgo de casos de loxoscelismo.

5.2 Particulares

1. Estimar la distribución potencial actual de las cuatro especies del género *Loxosceles* que habitan la región Centro-Occidente de México.
2. Generar predicciones en escenarios futuros de las cuatro especies de *Loxosceles*, considerando dos escenarios de cambio climático para los años 2050 y 2080.
3. Evaluar cambios (aumento, persistencia o reducción) entre la distribución potencial actual y la generada con los escenarios de cambio climático para los años 2050 y 2080, para cada una de las especies.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Área de estudio y trabajo de campo

Se realizó trabajo de campo para la obtención de registros de arañas del género *Loxosceles* en la región Centro-Occidente de México (Figura 29), abarcando las provincias biogeográficas de la Faja Volcánica Transmexicana (FVT), la Cuenca del Balsas (CB) y parte de las provincias de Tierras Bajas del Pacífico (TBP) y Sierra Madre del Sur (SMS). En la región se presentan las montañas más elevadas de México y predominan los climas templados con lluvias en el verano y semisecos en la parte suroeste de la región (CONEVyt 2015). La colecta de ejemplares se realizó en las localidades tipo descritas en la literatura y en localidades de ejemplares previamente colectados y depositados en la Colección Nacional de Arácnidos (CNAN), Instituto de Biología (IBUNAM), UNAM y en el Laboratorio de Aracnología (LATLAX) del Laboratorio Regional de Biodiversidad y Cultivo de Tejidos Vegetales (LBCTV), IBUNAM sede Tlaxcala.

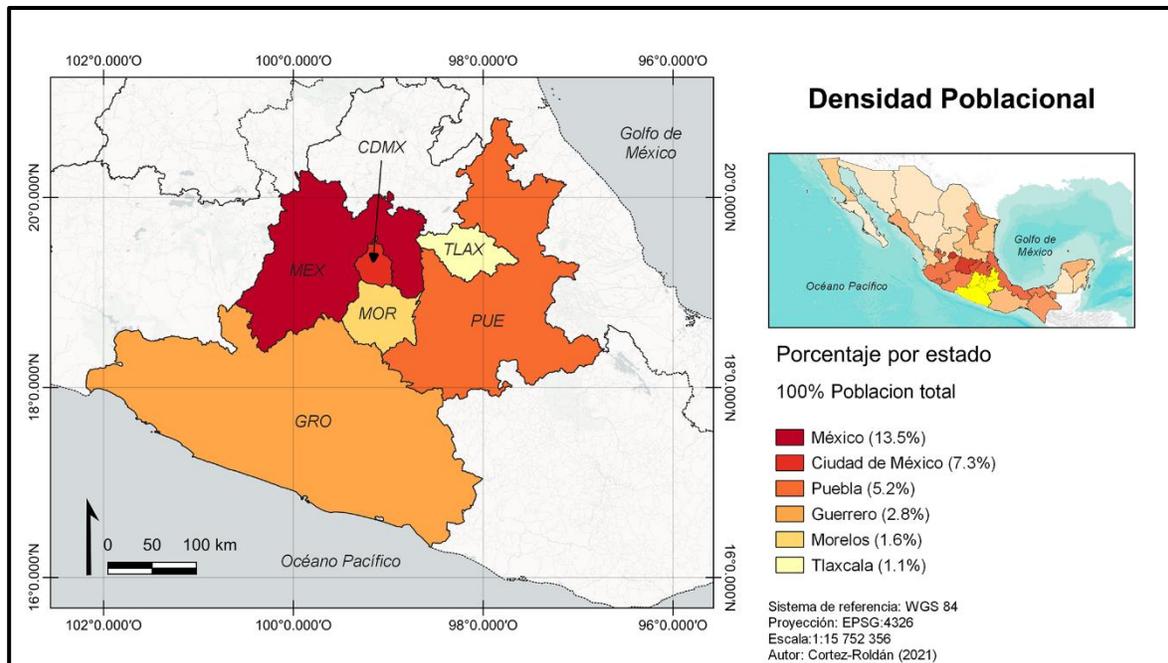


Figura 29. Localización geográfica de la región más densamente poblada del país. CDMX: Ciudad de México, GRO: Guerrero, MEX: Estado de México, MOR: Morelos, PUE: Puebla y TLAX: Tlaxcala.

La colecta se realizó de forma manual con pinzas aracnológicas y viales de plástico, depositándolos posteriormente en frascos con alcohol etílico al 80% etiquetados con sus metadatos. Ejemplares machos sub-adultos se transportaron vivos al laboratorio, con la finalidad de que alcancen su madurez sexual, esto para su precisa identificación taxonómica a nivel de especie.

Los especímenes colectados fueron procesados y depositados en la colección del LATLAX del LBCTV, Instituto de Biología UNAM-Tlaxcala. Se les asignó un código de colección, para facilitar su ubicación física y digital. De los ejemplares colectados se utilizaron hembras y machos adultos, esto facilita la identificación a nivel de especie. Para su separación e identificación, se utilizó un microscopio estereoscópico Zeiss Stemi 508 (país de origen: Guangdong, China). Se llevaron a cabo disecciones de pedipalpos de los machos y de receptáculos seminales de las hembras en alcohol etílico al 80%, digiriendo el tejido de los receptáculos seminales con hidróxido de potasio (KOH-10%) por 1 minuto para digerir tejido blando y de esta manera observar estructuras internas. Y con la clave taxonómica para especies norteamericanas de Gertsch y Ennik(1983) y literatura de especies recién descritas en México, trabajos como Valdez-Mondragón y cols. (2018) y Valdez-Mondragón y cols. (2019), se identificaron los ejemplares a nivel de especie.

6.2 Criterios de selección de especies de *Loxosceles* para los análisis

Para la selección de registros de cada una de las especies que fueron utilizados en los análisis, se consideraron los siguientes criterios: 1) Se utilizaron solamente las especies que se encuentran en la región Centro-Occidente, previamente identificadas morfológica y molecularmente (Navarro-Rodríguez 2019, Valdez-Mondragón y cols. 2019, Navarro-Rodríguez y Valdez-Mondragón 2020, Solís-Catalán 2020), especies cuya distribución abarca los estados con mayor densidad poblacional (INEGI 2020) (Figura 31); siendo además los estados que presentan el mayor número de casos confirmados de loxoscelismo en México (Dr. Héctor Cartas, comentario personal, 15 de enero de 2020). 2) Ejemplares identificados de manera precisa a nivel de especie. Se descartaron aquellas especies que actualmente se encuentran en revisión taxonómica o aquellas especies dudosas que podrían formar un complejo de especies (Ochoa y Flores 2006, Navarro-Rodríguez 2019). 3) Registros de ejemplares adultos (machos y hembras), ya que presentan caracteres diagnósticos para la precisa identificación a nivel de especie.

6.3 Bases de datos

Se revisaron ejemplares y georreferencias de las especies de *Loxosceles* depositados en las siguientes colecciones biológicas nacionales que son las que cuentan con el mayor número de ejemplares de colectas recientes:

1. Laboratorio de Aracnología (LATLAX) del Laboratorio Regional de Biodiversidad y Cultivo de Tejidos Vegetales (LBCTV), Instituto de Biología UNAM, sede Tlaxcala. El LATLAX resguarda la mayor colección biológica de arañas del género *Loxosceles* en México. Responsable: Dr. Alejandro Valdez Mondragón.
2. Colección Nacional de Arácnidos (CNAN), Instituto de Biología (IBUNAM), UNAM, México. La CNAN alberga un parte importante de la colección biológica de arañas del género *Loxosceles* en México. Responsable: Dr. Edmundo González Santillán.

Se conjuntaron los registros obtenidos de colecciones biológicas y colectas en campo en una base de datos en Excel, con la finalidad de ordenar los registros para la generación de los MNE. Así mismo, se descargó la base de datos de la CNAN de Portales Abiertos UNAM (<https://datosabiertos.unam.mx/>). Los registros se cotejaron con los ejemplares depositados en las dos colecciones consideradas, con el objetivo de tener su correcta identificación, así como sus coordenadas geográficas. Para corroborar las georreferencias, se utilizaron dos programas: 1) GeoLocate versión en línea, y 2) Google Earth v.7.1.5.1557. Las coordenadas geográficas que se encontraron en el Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM) se estandarizaron al mismo sistema de coordenadas WGS84.

Dado que la autocorrelación espacial puede sesgar los resultados de los modelos, se utilizó el filtrado espacial con un radio de 1 km², que es una solución sencilla para disminuir los efectos del sesgo de muestreo y la concentración de registros dentro de un mismo píxel de las coberturas usadas, esto se realizó en Excel y Qgis v.3.8 Zanzibar (Hijmans y van Etten, 2012, Boria y cols. 2014, Mota-Vargas y cols. 2019).

6.4 Selección de variables ambientales

Las variables ambientales climáticas utilizadas fueron descargadas de Cuervo-Robayo y cols. (2020), las cuales se derivan de datos de precipitación y temperatura (intervalo temporal de 1980-2009), esto para evitar errores de temporalidad con nuestros datos de ocurrencia (Dr. Lázaro Guevara, com. pers.). Estos datos climatológicos son los más actuales y de mayor resolución para el país a 30 segundos (~1km²) (Mota-Vargas y cols. 2019). Se excluyeron cuatro variables que muestran errores espaciales, ya que combinan información de precipitación y temperatura en la misma variable y eso da una discontinuidad entre pixeles vecinos (Escobar y cols. 2014): 1) temperatura media del trimestre más húmedo (BIO8), 2) temperatura media del trimestre más seco (BIO9), 3) precipitación del trimestre más cálido (BIO18) y 4) precipitación del trimestre más frío (BIO19); usando un total de 15 de las 19 variables climáticas (Tabla 2).

Tabla 2. Variables ambientales utilizadas en los modelos de nicho ecológico (Cuervo-Robayo y cols. 2020).

Variable	Descripción de variables
BIO1	Temperatura promedio anual
BIO2	Oscilación diurna de la temperatura
BIO3	Isotermalidad
BIO4	Estacionalidad de la temperatura
BIO5	Temperatura máxima del mes más cálido
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío
BIO7	Oscilación anual de la temperatura
BIO10	Temperatura media del trimestre más cálido
BIO11	Temperatura media del trimestre más frío
BIO12	Precipitación anual
BIO13	Precipitación del mes más húmedo
BIO14	Precipitación del mes más seco
BIO15	Estacionalidad de la precipitación
BIO16	Precipitación del trimestre más húmedo
BIO17	Precipitación del trimestre más seco

De este conjunto de variables climáticas, se realizó un análisis de correlación de Pearson para cada especie, ya que todas las variables ambientales derivan de dos temperatura y precipitación, por lo que pueden estar altamente correlacionadas (Quesada-Quirós y cols. 2017) y pueden no contribuir al modelo, aumentar el sobreajuste y reducir el rendimiento de la extrapolación (Steen y cols. 2017). Se descartaron una de cada par si su correlación era $r \geq 0.8$, también se consideró la biología de la especie para la selección de estas variables. Posteriormente se crearon subconjuntos de variables para cada especie, con el paquete “Kuenm” de R studio v.1.2.5042 (Cobos y cols. 2019; Marques y cols. 2020).

6.5 Áreas de calibración para los modelos

Para tener un adecuado desempeño del algoritmo de Maxent v.3.3.3 (Phillips 2004, Elith y cols. 2006, Phillips y cols. 2006, Ortega-Huerta y Peterson 2008), es necesario delimitar el área de calibración (M, según Soberón 2010), que corresponde a la región que ha sido

accesible a la especie durante períodos de tiempo relevantes (Barve y cols. 2011, Ortega-Andrade y cols. 2015, Mota-Vargas y cols. 2019). La M de cada una de las especies se construyó a partir de los registros de presencia en las provincias biogeográficas (Morrone y cols. 2017), esto considerando la capacidad de dispersión de las especies (Cramer y Maywright 2008, Mota-Vargas y cols. 2019, Marques y cols. 2020). Para las cuatro especies analizadas, se utilizaron las provincias biogeográficas de la Faja Volcánica Transmexicana (FVT) y la Cuenca del Balsas (CB) (Morrone y cols. 2017).

6.6 Modelos y transferencia a los escenarios de cambio climático

Se utilizó el algoritmo de Maxent v.3.3.3 para generar los MNE actuales y a futuro, con los subconjuntos de variables ambientales. Los parámetros para cada modelo se exploraron utilizando el paquete “Kuenm” de R studio v.1.2.5042. Se usó la significancia, el rendimiento (tasa de omisión) y la complejidad del modelo para elegir la configuración óptima de los parámetros entre los modelos candidatos (Marques y cols. 2020). Se probaron todas las combinaciones posibles de tipos de características lineales (l), cuadráticas (q), producto (p), umbral (t) y bisagra (h), así como el multiplicador de regularización (0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 1.0, 5.0 y 10.0) (Marques y cols. 2020). Esto debido a que Maxent tiene la capacidad de ajustar funciones de respuesta complejas al combinar varios tipos de funciones (e.g. lqpth, lqpt, etc.), lo que permite modelar respuestas discontinuas ajustadas a los modelos de regresión más flexibles (Phillips y Dudik 2004). Para los multiplicadores de regularización se utilizó una combinación de siete valores, estos influyen en el nivel de enfoque o cuán cercanamente se ajusta la distribución de salida obtenida. Los valores < 1.0 producen distribuciones más ajustadas a los registros de presencia y por otro lado utilizar valores > 1.0 producen una predicción más extendida y menos localizada. El usar combinaciones del multiplicador de regularización permite obtener desde modelos simples hasta más complejos (Phillips y cols. 2006). Los modelos se construyeron utilizando todas las combinaciones posibles entre los 16 y 42 subconjuntos de variables ambientales. La prueba de significancia se realizó mediante ROC parcial (Peterson y cols. 2008). Las curvas ROC (Receiver Operating Characteristic) representan la sensibilidad en función de los falsos positivos para distintos puntos de corte, es decir, se calculan las áreas parciales bajo la curva (AUC) para conocer el

rendimiento global de una prueba (Hanley y McNeil 1982, Fawcett 2004). Se utilizó un error de omisión aceptable de $E = 5\%$, y se evaluó la complejidad del modelo utilizando el criterio de información de Akaike con una corrección para tamaño de muestra pequeño (AICc), mediante un código derivado de Warren y Seirfett (2011).

Una vez identificados los modelos óptimos se hicieron 10 réplicas por Bootstrap, con salidas logísticas. Los modelos logísticos muestran la probabilidad de que la especie esté presente, condicionada a las variables ambientales (Phillips y Dudik 2008). Para hacer el mapa consenso y así obtener la mediana de las réplicas, en casos donde hubo más de un mejor modelo se utilizó la mediana de todas las réplicas obtener el modelo final. Los modelos que se generaron con Maxent por defecto están expresados en términos probabilísticos de condiciones adecuadas. Por lo anterior, los mapas consenso se reclasificaron en Qgis v.3.8 Zanzibar para crear mapas binarios de distribución potencial (0 ausencia – 1 presencia) (Costa, 2009; Jiménez-García y Peterson, 2019; Waltari y Guralnick, 2009).

Los MNE actuales y futuros se proyectaron al espacio geográfico (todo México) para estimar los MDE (Anexo I), sin embargo, por objetivos de este proyecto nos enfocaremos a discutir los resultados obtenidos para el área de muestreo, la región Centro-Occidente del país.

Para la transferencia de los modelos a escenarios de cambio climático se utilizó el algoritmo de Maxent (paquetería “Kuenm” en R studio). Para tener en cuenta la incertidumbre en el clima futuro, se consideraron dos vías de concentración representativas, RCP 4.5 (2050 y 2080) y RCP 8.5 (2050, 2080) (Anexo I, II), estos dos RCP brindan vistas inferiores y superiores de posibles emisiones futuras de gases de efecto invernadero, respectivamente. Los escenarios se seleccionaron por ser los empleados en la actualización para estudios de impacto, vulnerabilidad y adaptación en México y Centroamérica (Fernández y cols. 2016). El modelo de circulación global de donde se obtuvieron los escenarios es el MIROC-5, que se ha utilizado en diversos grupos de artrópodos y tiene un buen rendimiento en las proyecciones a escenarios de cambio climático futuros (Mammola y cols. 2017, Peterson y cols. 2017, Roslin y cols. 2017, Romero y cols. 2018, Liu y Shi 2020, Romero y cols. 2021). Los datos climáticos futuros se descargaron en una resolución

de 30 segundos ($\sim 1\text{km}^2$) de Climate Change, Agriculture, and Food Security (CCAFS; www.ccafs-climate.org). Sin embargo, es importante tener en cuenta el riesgo de las extrapolaciones en el momento de transferir a escenarios de cambio climático, ya que, los resultados pueden variar según las decisiones que se tomen, como es el uso de los MCG zonas con climas o condiciones no-análogas. Por lo que, se calculó la superficie de similitud ambiental multivariante (MESS) para cuantificar el grado de extrapolación (es decir, predicción a condiciones ambientales que difieren de los datos de entrenamiento), mostrando así valores negativos a la disimilitud con los datos de entrenamiento (Barbosa y cols. 2009, Elith y cols. 2010) (Anexo III). Este análisis se realizó en la paquetería de Ntbox en R Studio (Osorio-Olvera y cols. 2020).

Para facilitar la comparación entre las predicciones, se reclasificaron de salidas continuas (Maxent) a valores binarios (0 ausencia – 1 presencia). Todos los modelos se reclasificaron a píxeles de presencia/ausencia dentro de Qgis v.3.8 Zanzibar, utilizando valores de umbral que permitían un error de omisión de 0.5 según los datos de presencia disponibles. El cálculo del área presente prevista se realizó utilizando la función Zonal statistics y Raster Calculator en Qgis para determinar el área de superposición entre los MDE actuales y futuros (Saupe y cols. 2011).

7. RESULTADOS

7.1 Revisión del material biológico

Se revisaron 718 ejemplares de arañas del género *Loxosceles* de las cuatro especies estudiadas, provenientes de salidas a campo y depositados en colecciones científicas (Tabla 3), para la identificación taxonómica y para corroboración de georreferencias. De los 718 ejemplares se obtuvo una base total de 150 registros para las cuatro especies, sin embargo, después de realizar el proceso de filtrado se obtuvieron los registros finales para la generación de los MNE de las cuatro especies (Tabla 4).

Tabla 3. Ejemplares revisados de *Loxosceles* distribuidas en la región Centro-Occidente del país, depositados en la CNAN* y LATLAX*.

Estado**	Especie	Machos	Hembras	Juveniles	Total
GRO, MOR, PUE	<i>Loxosceles malintzi</i>	30	59	83	272
GRO, MOR	<i>Loxosceles misteca</i>	10	14	117	141
CDMX, MEX, TLAX	<i>Loxosceles tenochtitlan</i>	22	27	113	162
GRO	<i>Loxosceles zapoteca</i>	9	31	133	173
	Total	71	131	546	748

*LATLAX: Laboratorio de Aracnología, CNAN: Colección Nacional de Arácnidos. **CDMX: Ciudad de México, GRO: Guerrero, MEX: Estado de México, MOR: Morelos, PUE: Puebla, TLAX: Tlaxcala.

Tabla 4. Especies y registros de *Loxosceles* distribuidas en la región Centro-Occidente del país.

Especies	Autor (es) y año	Registros	Estados*	Fuente**
<i>Loxosceles malintzi</i>	Valdez-Mondragón, Cortez-Roldán, Juárez- Sánchez y Solís-Catalán, 2018	19	GRO, MOR, PUE	LATLAX, CNAN
<i>Loxosceles misteca</i>	Gertsch, 1958	8	GRO, MOR	CNAN, LATLAX
<i>Loxosceles tenochtitlan</i>	Valdez-Mondragón, y Navarro-Rodríguez 2019	20	CDMX, MEX, TLAX	LATLAX, CNAN, NAT
<i>Loxosceles zapoteca</i>	Gertsch, 1958	8	GRO	CNAN, LATLAX
Total		45		

*CDMX: Ciudad de México, GRO: Guerrero, MEX: Estado de México, MOR: Morelos, PUE: Puebla, TLAX: Tlaxcala. **LATLAX: Laboratorio de Aracnología, CNAN: Colección Nacional de Arácnidos, NAT: Naturalista.

7.2 Modelos y transferencias al cambio climático

Los conjuntos de variables seleccionadas para los modelos incluyen cinco y seis variables ambientales para cada especie de *Loxosceles*, teniendo un total de 16 y 42 subconjuntos de variables (Tabla 5). Posteriormente, estos subconjuntos se utilizaron para la creación de los modelos de nicho ecológico candidatos.

Tabla 5. Conjunto y subconjunto de variables climáticas utilizadas para los modelos de distribución de las cuatro especies del género *Loxosceles* de México.

Especies	Conjunto de variables	Subconjuntos de variables
<i>Loxosceles malintzi</i>	BIO 3, BIO 7, BIO 10, BIO 16, BIO17.	16
<i>Loxosceles misteca</i>	BIO 3, BIO 5, BIO 6, BIO 13, BIO 14 BIO 15.	42
<i>Loxosceles tenochtitlan</i>	BIO 2, BIO 5, BIO 6, BIO 14, BIO 15, BIO 16.	42
<i>Loxosceles zapoteca</i>	BIO 3, BIO 4, BIO 5, BIO 15, BIO 16, BIO 17	42

Se generaron los modelos candidatos por cada métrica establecida y cada subconjunto de variables. Se obtuvieron para cada especie entre uno y tres mejores modelos que cumplieron con los criterios de evaluación estadística (Tabla 6).

Tabla 6. Número de modelos candidatos y mejores modelos para cada una de las cuatro especies de *Loxosceles* de la región Centro-Occidente.

Especies	No. de modelos candidatos	No. de los mejores modelos
<i>Loxosceles malintzi</i>	1,360	3
<i>Loxosceles misteca</i>	3,570	2
<i>Loxosceles tenochtitlan</i>	3,570	1
<i>Loxosceles zapoteca</i>	3,570	1

Para cada una de las cuatro especies de *Loxosceles* de la región Centro-Occidente, se obtuvieron las métricas de los mejores modelos con respecto al: multiplicador de regularización (M), clases de entidad (FC; l = lineal, q = cuadrático, p = producto, t = umbral y h = bisagra) y conjuntos de variables ambientales (Set) (Tabla 7).

Tabla 7. Métricas de rendimiento de la configuración de los mejores modelos para cada una de las cuatro especies de *Loxosceles* de la región Centro-Occidente.

Especies	Configuración del modelo	p-valor p ROC	Tasa de omisión (5%)	Delta AICc	Umbral
<i>Loxosceles malintzi</i>	M_0.1_F_lqp_Set_2	0.0	0.0	0.000	0.096
	M_1_F_lqp_Set_13	0.0	0.0	1.908	0.037
	M_1_F_lqp_Set_3	0.0	0.0	1.908	0.037
<i>Loxosceles misteca</i>	M_0.1_F_lqp_Set_11	0.0	0.0	0.00	0.293
	M_0.1_F_lqp_Set_4	0.0	0.0	1.989	0.108
<i>Loxosceles tenochtitlan</i>	M_0.3_F_lq_Set_21	0.0	0.0	0.0	0.288
<i>Loxosceles zapoteca</i>	M_1_F_l_Set_19	0.0	0.0	0.000	0.020

7.3 Distribución potencial actual de las especies del género *Loxosceles* de la región Centro-Occidente

Los resultados de los MNE proyectados en el espacio geográfico muestran la distribución potencial de las cuatro especies (Figuras 30-33). Para *L. malintzi* observamos que la distribución abarca un total de 43 825.508 km² dentro de las provincias 1) Cuenca del Balsas (CB); abarcando los estados de Morelos, Puebla, Guerrero, Oaxaca, Estado de México y Michoacán, y 2) Sierra Madre del Sur (SMS) (Figura 33). Las variables utilizadas en la generación del modelo y su contribución al mismo se presentan en la tabla 8.

Tabla 8. Valores de las variables ambientales utilizadas en Maxent para la distribución potencial de *Loxosceles malintzi*.

Variables	Contribución (%)
Temperatura media del trimestre más cálido (BIO10)	60.2
Precipitación del trimestre más húmedo (BIO16)	21.1
Oscilación anual de la temperatura (BIO7)	12.5
Isotermalidad (BIO3)	6.2

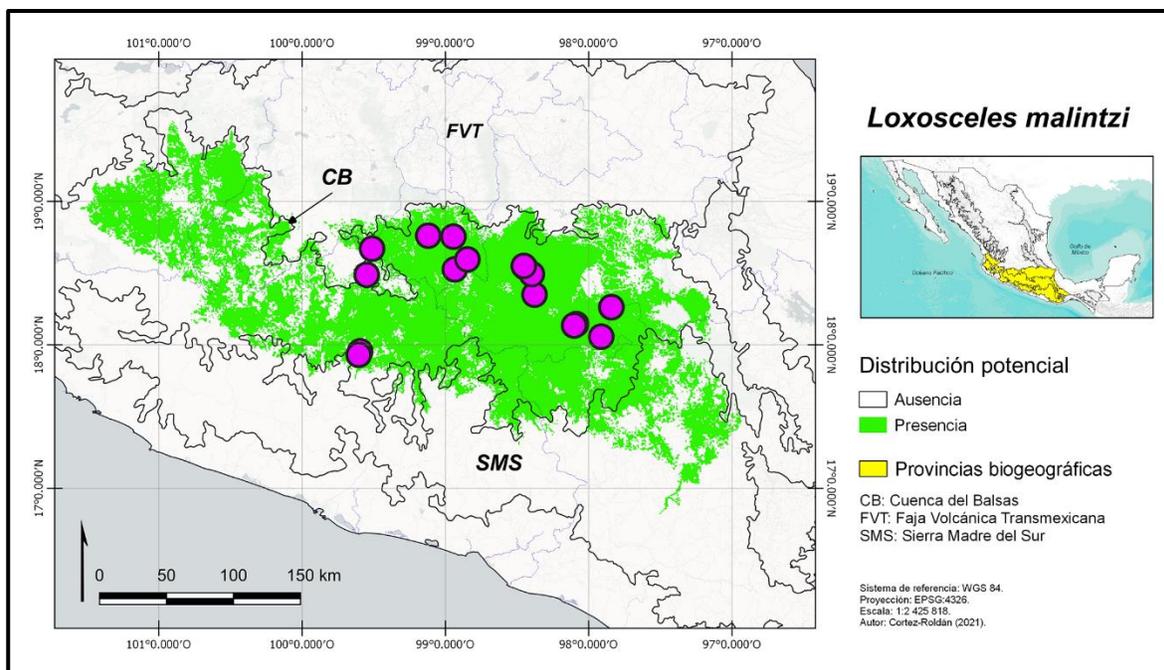


Figura 30. Distribución potencial de *Loxosceles malintzi*, bajo el algoritmo de Maxent. Distribución total: 43 825.508 km². Provincias biogeográficas (línea negra; Morrone y cols. 2017). Círculos morados: registros de *Loxosceles malintzi*, datos obtenidos de la CNAN, LATLAX y literatura.

La distribución potencial de *Loxosceles misteca* abarca un total de 71 997.320 km² dentro de las provincias CB y SMS (Figura 31). La distribución cubre un área que se extiende hacia las tierras bajas del Pacífico, abarcando los estados de Michoacán, Morelos, Guerrero y Puebla. Las variables utilizadas en la generación del modelo y su contribución al mismo se presentan en la tabla 9.

Tabla 9. Valores de las variables ambientales utilizadas en Maxent para la distribución potencial de *Loxosceles misteca*.

Variables	Contribución (%)
Precipitación del mes más húmedo (BIO13)	37.2
Precipitación del mes más seco (BIO14)	21.5
Temperatura mínima del mes más frío (BIO6)	19.6
Isotermalidad (BIO3)	12.2
Estacionalidad de la precipitación (BIO15)	9.5

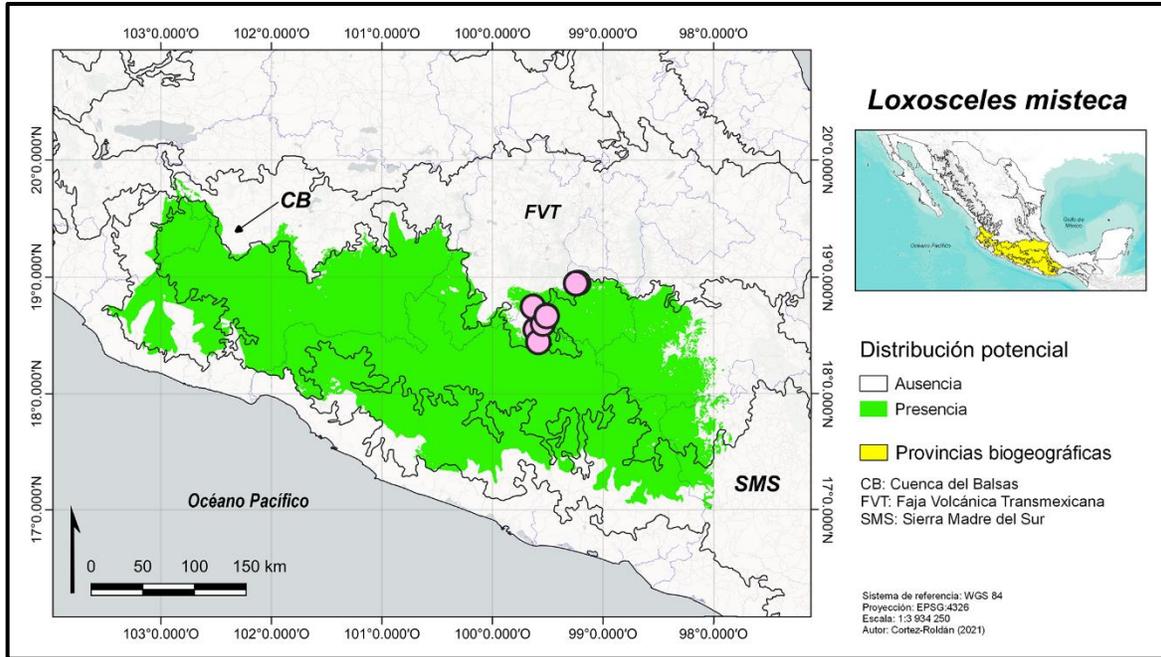


Figura 31. Distribución potencial de *Loxosceles misteca*, bajo el algoritmo de Maxent. Distribución total: 71 997.320 km². Provincias biogeográficas (línea negra; Morrone y cols. 2017). Círculos rosas: registros de *Loxosceles misteca*, datos obtenidos de la CNAN, LATLAX y literatura.

Loxosceles tenochtitlan tiene una distribución potencial de 28 836.642 km² dentro de la Faja Volcánica Transmexicana (FVT) y el Desierto Chihuahuense (DCH). La distribución comprende a los estados de Estado de México, Ciudad de México, Puebla, Hidalgo, Querétaro y Guanajuato, todos ellos pertenecientes a las provincias biogeográficas antes mencionadas (Figura 32). Las variables utilizadas en la generación del modelo y su contribución al mismo se presentan en la tabla 10.

Tabla 10. Valores de las variables ambientales utilizadas en Maxent para la distribución potencial de *Loxosceles tenochtitlan*.

Variables	Contribución (%)
Precipitación del mes más seco (BIO14)	41.8
Precipitación del trimestre más húmedo (BIO16)	28.1
Estacionalidad de la precipitación (BIO15)	14.2
Temperatura mínima del mes más frío (BIO6)	10.0
Temperatura máxima del mes más cálido (BIO5)	5.9

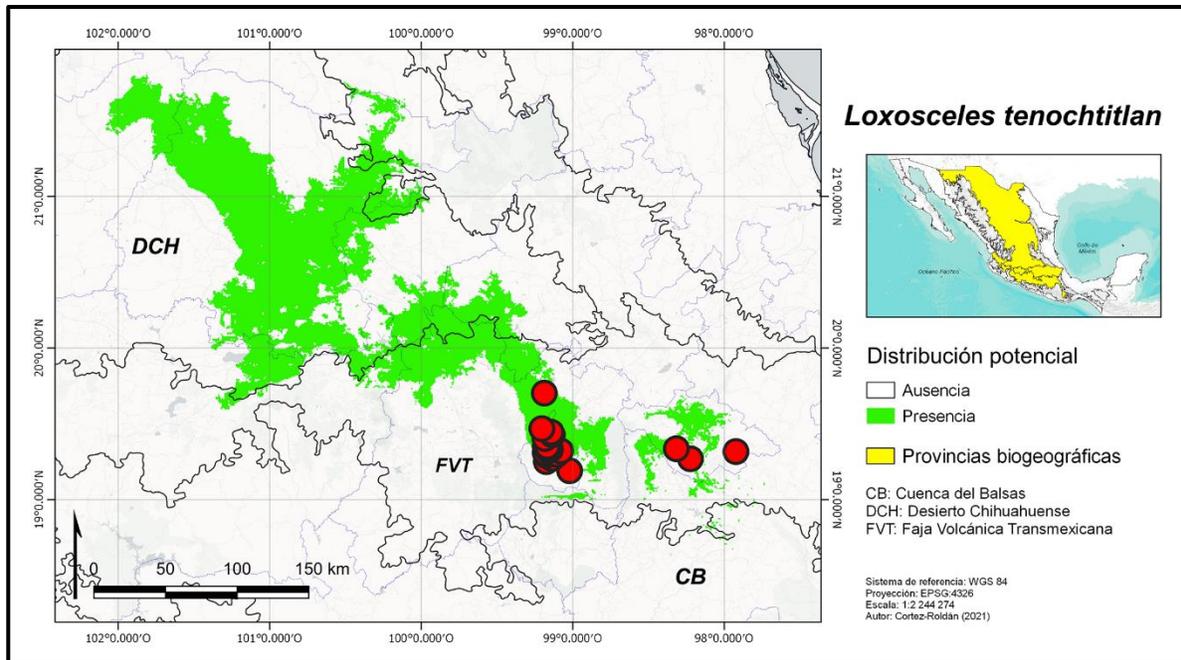


Figura 32. Distribución potencial de *Loxosceles tenochtitlan*, bajo el algoritmo de Maxent. Distribución total: 28 836.642 km². Provincias biogeográficas (Morrone y cols. 2017). Círculos rojos: registros de *Loxosceles tenochtitlan*, datos obtenidos de la CNAN, LATLAX y literatura.

Loxosceles zapoteca presenta una extensión de 57 911.413 km² en la distribución potencial presente en la provincia CB y norte de SMS (Figura 33). La distribución abarca los estados de Guerrero, Morelos, Puebla, Estado de México y Michoacán, todos ellos pertenecientes a las provincias biogeográficas CB y SMS. Las variables utilizadas en la generación del modelo y su contribución al mismo se presentan en la tabla 11.

Tabla 11. Valores de las variables ambientales utilizadas en Maxent para la distribución potencial de *Loxosceles zapoteca*.

Variables	Contribución (%)
Precipitación del mes más seco (BIO14)	46.8
Estacionalidad de la precipitación (BIO15)	24.2
Precipitación del trimestre más húmedo (BIO16)	22.6
Estacionalidad de la temperatura (BIO4)	6.4

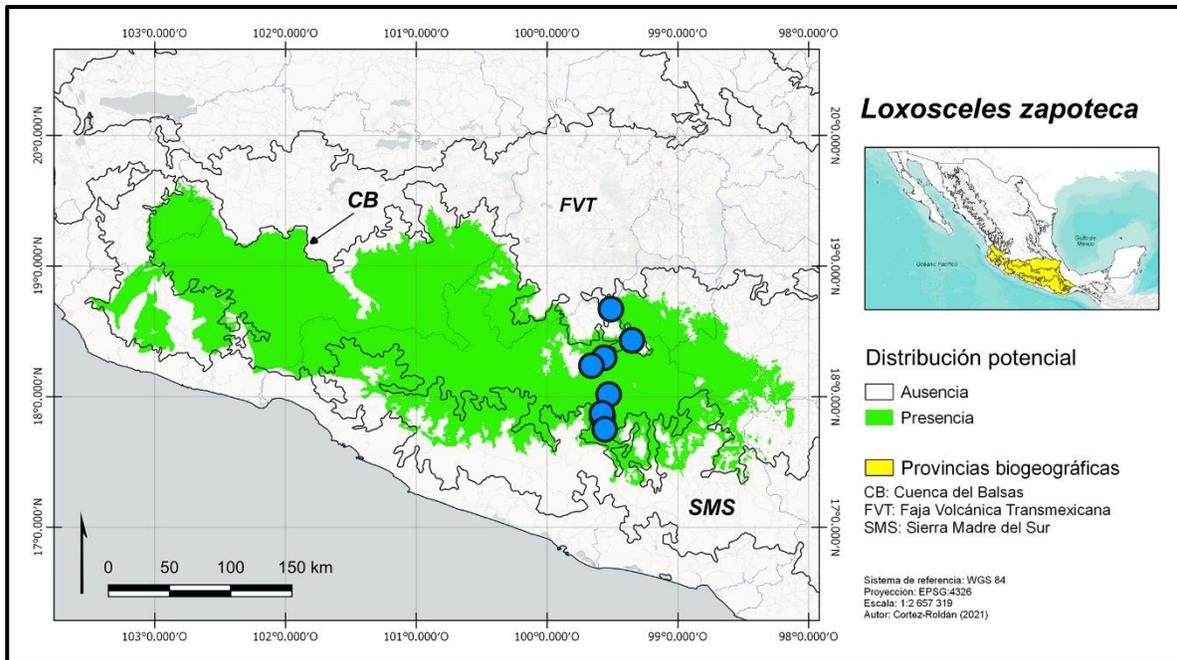


Figura 33. Distribución potencial de *Loxosceles zapoteca*, bajo el algoritmo de Maxent. Distribución total: 57 911.413 km². Provincias biogeográficas (Morrone y cols. 2017). Círculos rojos: registros de *Loxosceles tenochtitlan*, datos obtenidos de la CNAN, LATLAX y literatura.

7.4 Distribución potencial futura de las especies del género *Loxosceles* de la región Centro-Occidente con base en los escenarios de cambio climático.

Para la transferencia del MDE a ambos escenarios de cambio climático para los dos años no se observaron cambios en la distribución (Anexo II), sin embargo, detallamos los resultados obtenidos para las cuatro especies de *Loxosceles* en los escenarios RCP 4.5 (año 2050) y RCP 8.5 (año 2080). Estos dos escenarios muestran las condiciones ambientales futuras más bajas y altas de ambos RCP, respectivamente.

La distribución potencial futura de *L. malintzi* se mantiene dentro de la provincia CB. En el primer escenario RCP 4.5 (2050) las zonas con las condiciones ambientales adecuadas en el futuro son en el suroeste de CB (Figura 34, Tabla 12). En contraste, en el escenario RCP 8.5 (2080) hay una reducción de las áreas de distribución potencial actual en la parte suroeste de la provincia de la CB (Figura 35, Tabla 12). Esto se observa en las figuras 34 y 35, que existen zonas donde persistirá la distribución en los dos escenarios de cambio climático (azul), también se observa la disminución y el aumento de las áreas de distribución para los años 2050 y 2080.

Tabla 12. Superficie en Km² que abarca la distribución de *Loxosceles malintzi* en los escenarios RCP 4.5 y 8.5.

Escenario	Área actual	Pérdida	Ganancia	Persistencia
2050	36 829.42	6 996.09	34 640.21	2 189.21
2080	32 627.61	11 197.90	28 803.39	3 824.23

Para ambos escenarios, hay un aumento potencial en las áreas de distribución, principalmente hacia la región suroeste de la provincia de CB (Figuras 34, 35). Dado a que la distribución de *L. malintzi* parece estar restringida principalmente a temperaturas altas (22-32°C), también existe una disminución con respecto a la distribución actual, sin embargo, no tendrá un impacto en la disminución mayor al 30% en la distribución de la especie en ambos escenarios de cambio climático (Figuras 34, 35).

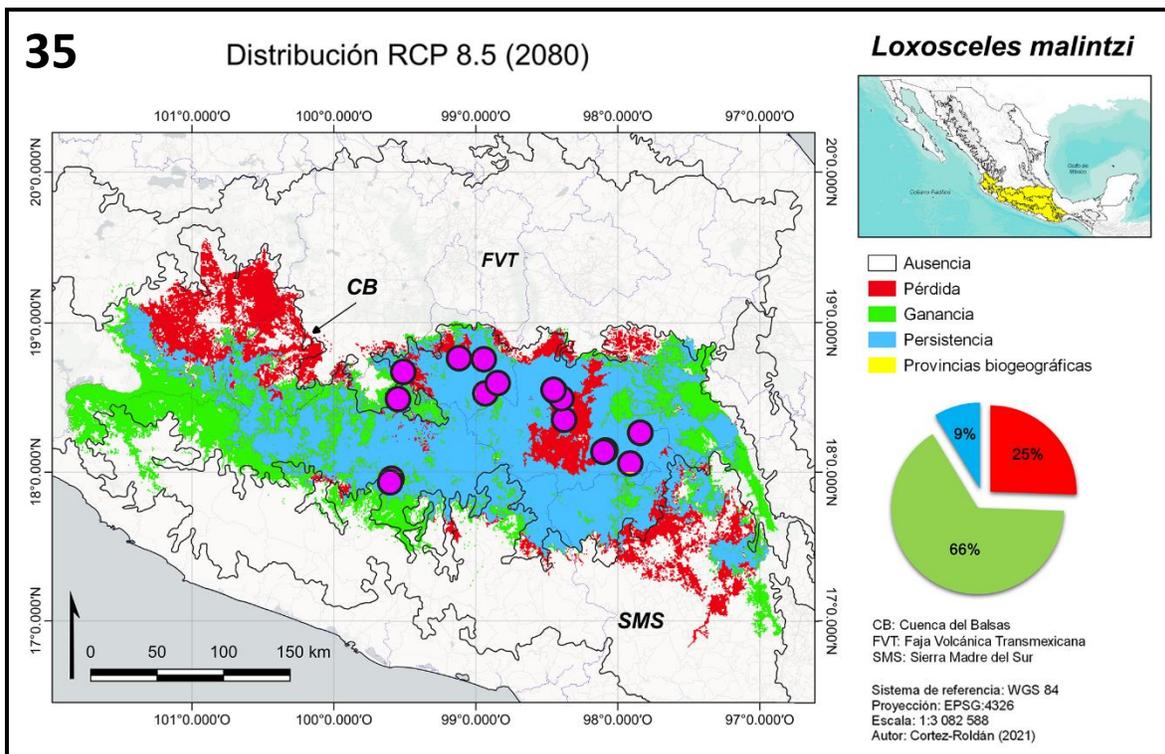
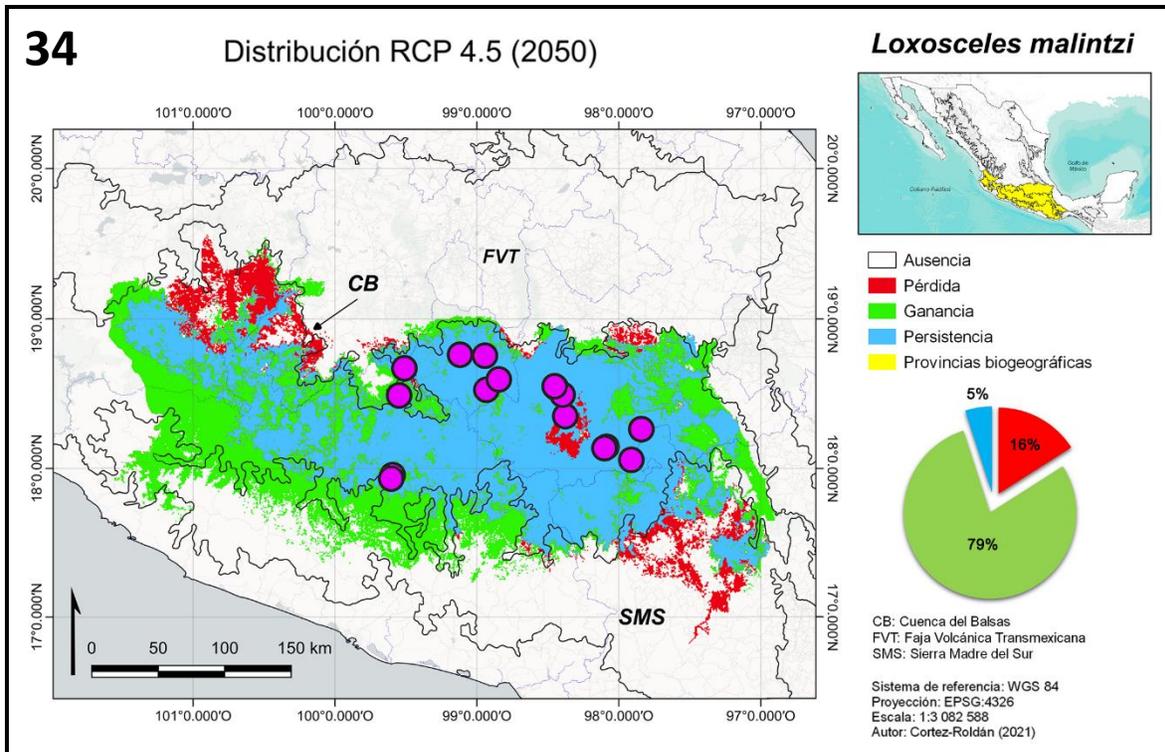


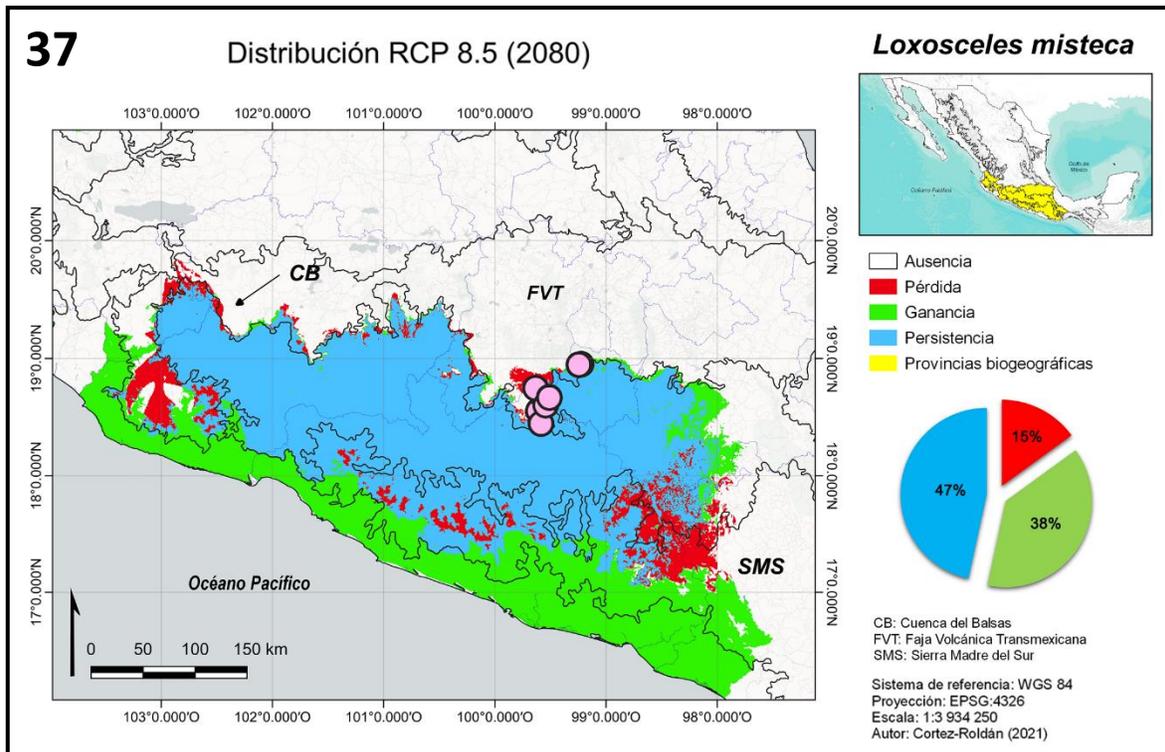
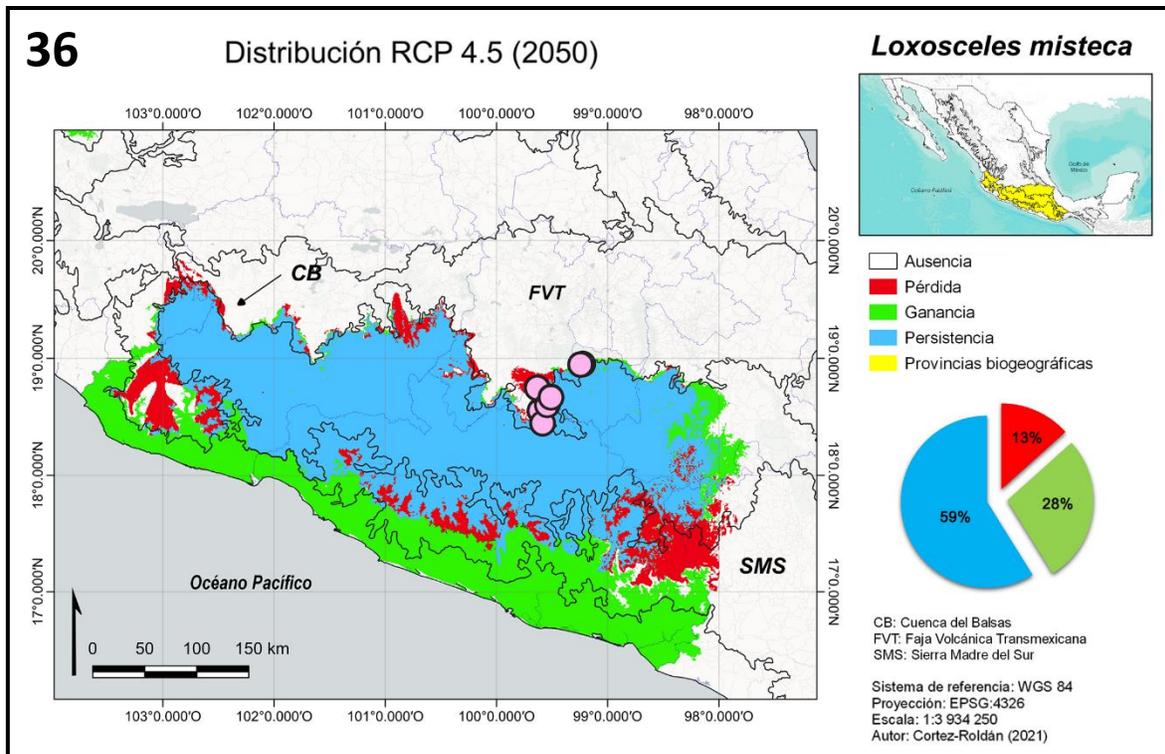
Figura 34-35. Distribución potencial de *Loxosceles malintzi* para ambos escenarios RCP 4.5 y 8.5. **34.** Distribución potencial para el año 2050 (RCP 4.5). **35.** Distribución potencial para el año 2080 (RCP 8.5). Provincias biogeográficas (Morrone y cols. 2017). Ambos esquemas muestran el porcentaje de pérdida, ganancia y persistencia de la distribución actual en los escenarios climáticos futuros.

Para el MDE de *L. misteca* se observó que la distribución potencial futura en el escenario RCP 4.5 (2050) existe un incremento hacia la zona noroeste de las TBP, zona donde tendrá más tendencia al cambio climático (Figura 36, Tabla 13). Para el escenario RCP 8.5 (2080) abarca la misma área que la proyección del RCP 4.5, solo con algunas tendencias al cambio en la parte noroeste y suroeste de la distribución potencial del RCP 4.5, es decir de la provincia de las TBP (Figura 37, Tabla 13). En las figuras 36 y 37 se muestran las zonas donde persistirá la distribución en los dos escenarios de cambio climático (azul), también se observa la disminución y el aumento de las áreas de distribución para los años 2050 y 2080.

Tabla 13. Superficie en Km² que abarca la distribución de *Loxosceles misteca* en los escenarios RCP 4.5 y 8.5.

Escenario	Área actual	Pérdida	Ganancia	Persistencia
2050	85 096.41	13 099.09	27 320.39	57 776.02
2080	87 425.30	15 427.98	39 493.09	47 932.21

Para ambos escenarios se muestra una posible persistencia de entre el 45-60% de la distribución futura con respecto a la actual, también se observa un incremento de entre el 25-40% en las áreas potenciales para la distribución. *Loxosceles misteca* muestra una posible disminución de las áreas con condiciones adecuadas del 13-15%, por lo que esta especie podría no verse afectada su distribución en ambos escenarios de cambio climático (Figuras 36, 37).



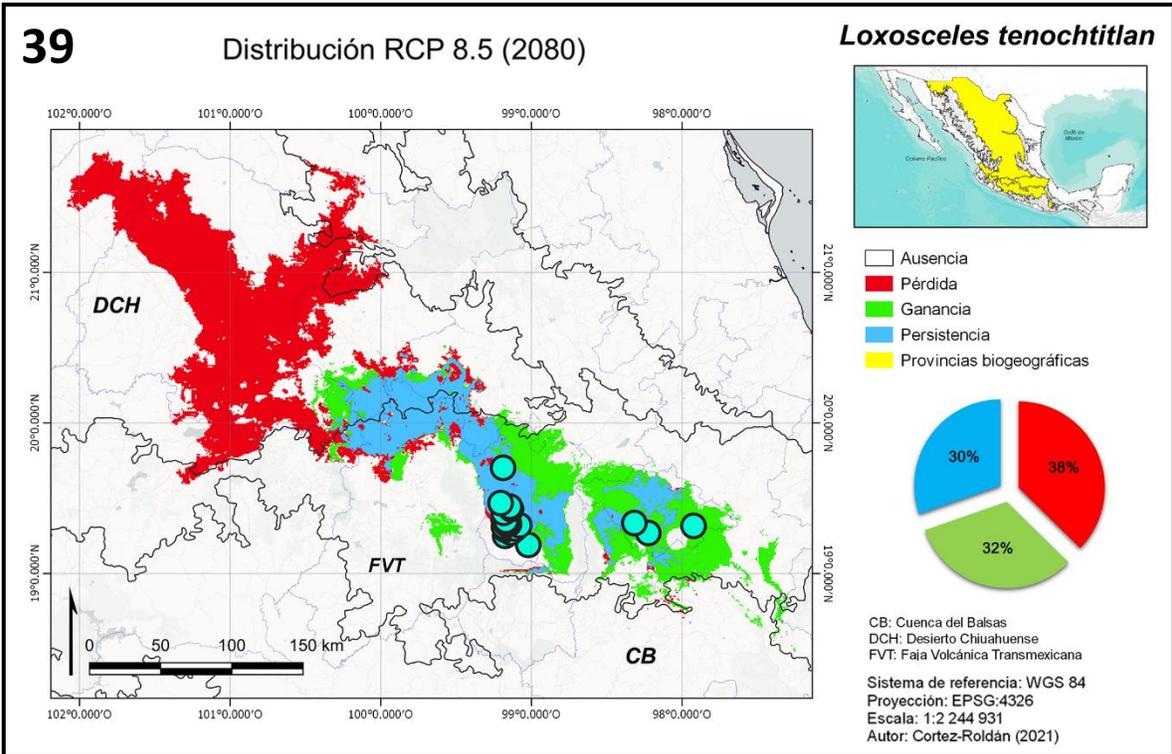
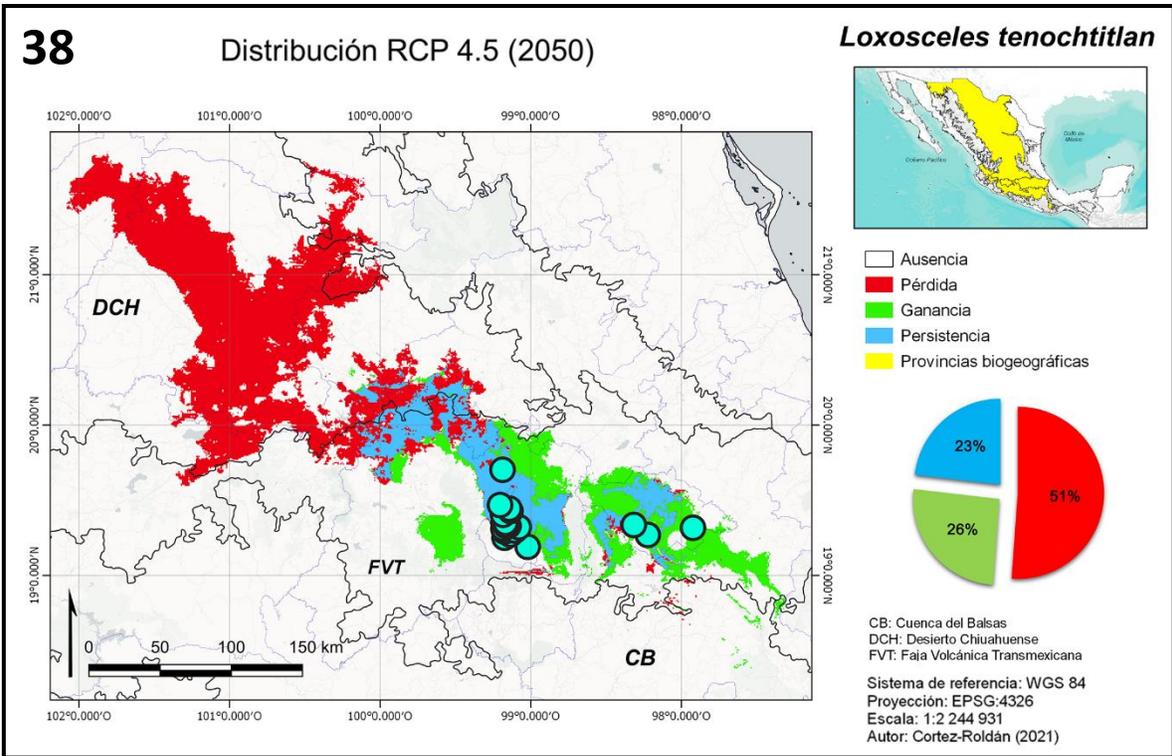
Figuras 36-37. Distribución potencial de *Loxosceles misteca* para ambos escenarios RCP 4.5 y 8.5. **36.** Distribución potencial para el año 2050 (RCP 4.5). **37.** Distribución potencial para el año 2080 (RCP 8.5). Provincias biogeográficas (Morrone y cols. 2017). Ambos esquemas muestran el porcentaje de pérdida, ganancia y persistencia de la distribución actual en los escenarios climáticos futuros.

La distribución potencial futura de *L. tenochtitlan* en el escenario RCP 4.5 (2050) se concentró en mayor proporción en áreas de la FVT, los cambios de distribución se presentan al suroeste del Desierto Chihuahuense (DCH) (Figura 38, Tabla 14). En el escenario RCP 8.5 (2080) incrementan las áreas de distribución en la parte centro de la FVT y con una disminución en la parte suroeste del DCH (Figura 39, Tabla 14). En las Figuras 38 y 39 se muestran las zonas donde la distribución no se verá afectada en los dos escenarios de cambio climático (azul), también se observa la disminución y el aumento de las áreas de distribución para los años 2050 y 2080.

Tabla 14. Superficie en Km² que abarca la distribución de *Loxosceles tenochtitlan* en los escenarios RCP 4.5 y 8.5.

Escenario	Área actual	Pérdida	Ganancia	Persistencia
2050	14 087.82	14 748.82	7 407.71	6 680.11
2080	18 064.98	10 771.67	9 319.40	8 745.58

La incertidumbre en condiciones futuras se distribuyó de manera similar a la de las condiciones actuales, es decir, en los dos escenarios de cambio climático ciertas áreas podrían mantener las condiciones ambientales actuales (20-30%). Los MDE muestran un posible aumento entre el 25-35% de las áreas de distribución para *L. tenochtitlan*, sin embargo, existe también una posibilidad de disminución de la distribución futura con respecto a la distribución actual (35-50%) (Figura 38, 39). Por lo tanto, esta especie podría restringir su distribución a zonas ambientalmente estables para ambos escenarios de cambio climático (Figuras 38, 39).



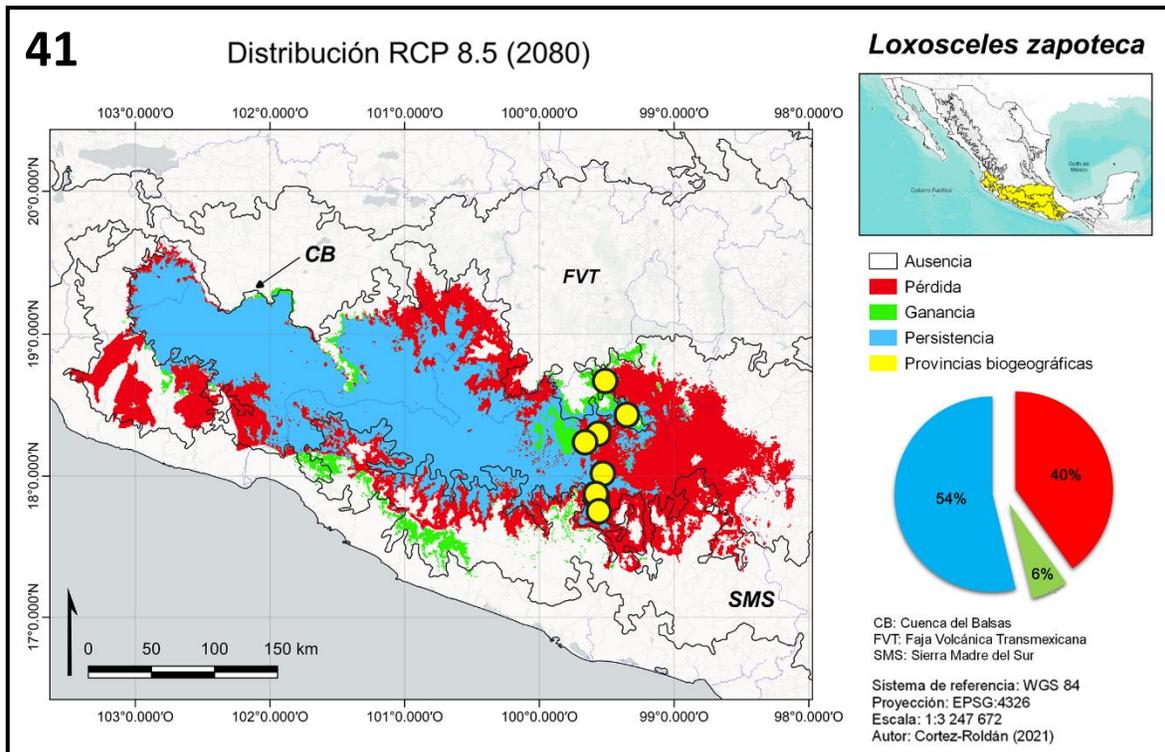
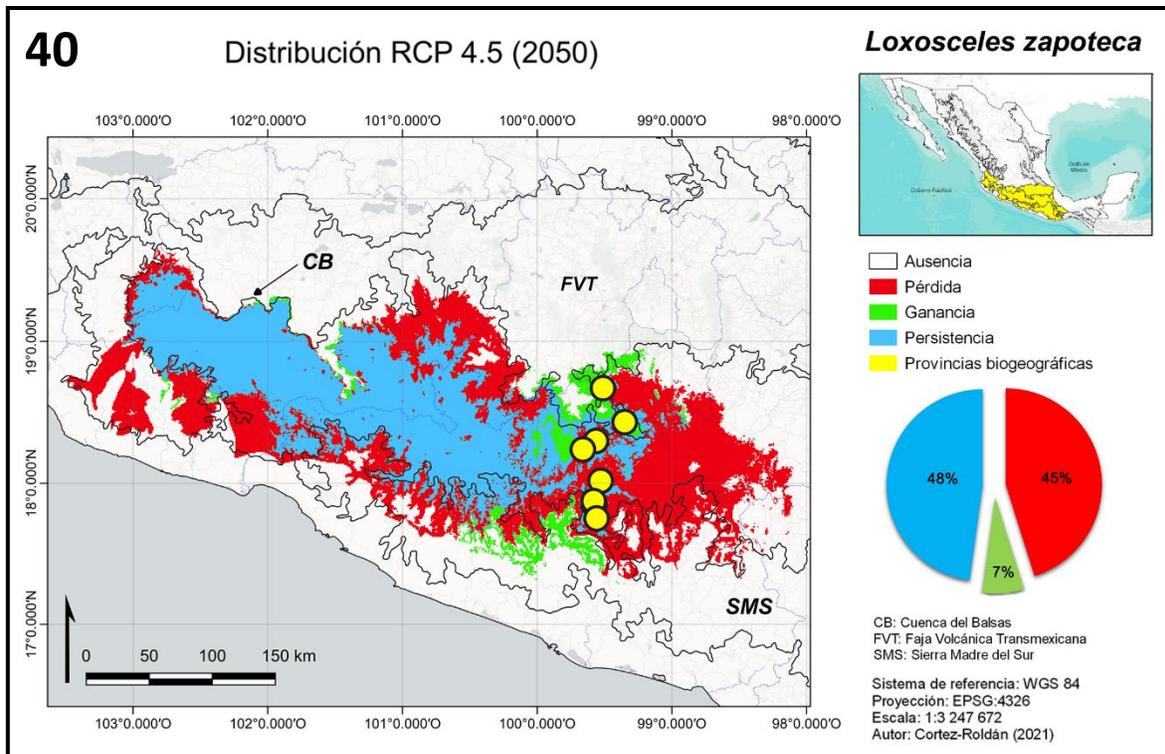
Figuras 38-39. Distribución potencial de *Loxosceles tenochtitlan* para ambos escenarios RCP 4.5 y 8.5. **38.** Distribución potencial para el año 2050 (RCP 4.5). **39.** Distribución potencial para el año 2080 (RCP 8.5). Provincias biogeográficas (Morrone y cols. 2017). Ambos esquemas muestran el porcentaje de pérdida, ganancia y persistencia de la distribución actual en los escenarios climáticos futuros.

En el MDE de *Loxosceles zapoteca* del escenario RCP 4.5 (2050) se observa en una reducción en las áreas con condiciones ambientales adecuadas para la especie con relación a las actuales (Figura 40, Tabla 15). Para el RCP 8.5 (2080) las áreas adecuadas presentan las mismas zonas que el RCP 4.5, solo con un incremento en la parte central de CB (Figura 41, Tabla 15). Las figuras 40 y 41 muestran las zonas donde la distribución es persistente en los dos escenarios de cambio climático (azul) con respecto a la distribución potencial actual, también se observa la disminución y el aumento de las áreas de distribución para los años 2050 y 2080.

Tabla 15. Superficie en Km² que abarca la distribución de *Loxosceles zapoteca* en los escenarios RCP 4.5 y 8.5.

Escenario	Área actual	Pérdida	Ganancia	Persistencia
2050	31 760.16	26 151.25	4 072.10	27 688.06
2080	34 708.77	23 202.65	3 530.72	31 178.05

Para esta especie, *L. zapoteca*, se observa que en ambos escenarios de cambio climático se podrían mantener las condiciones ambientales que se presentan en el MDE actual, conservando entre el 45-55% de las áreas de distribución. No obstante, observamos que podría presentar una disminución entre el 40-45% de la distribución, por lo que esta especie podría tener afectaciones en las zonas de distribución, restringiéndolas a áreas climáticamente estables (entre el 5-10%) en ambos escenarios de cambio climático (Figuras 40, 41).



Figuras 40-41. Distribución potencial de *Loxosceles zapoteca* para ambos escenarios RCP 4.5 y 8.5. **40.** Distribución potencial para el año 2050 (RCP 4.5). **41.** Distribución potencial para el año 2080 (RCP 8.5). Provincias biogeográficas (Morrone y cols. 2017). Ambos esquemas muestran el porcentaje de pérdida, ganancia y persistencia de la distribución actual en los escenarios climáticos futuros.

8. DISCUSIÓN

8.1 Modelos de distribución potencial actual de *Loxosceles*

En los MDE para las cuatro especies de *Loxosceles* analizadas, la mayoría de ellos predicen presencia en regiones de la República Mexicana o sitios aun no muestreados, donde las condiciones ambientales son adecuadas para el establecimiento de estas especies (Figuras 30-32) (Cortez-Roldán 2018, Valdez-Mondragón y cols. 2018 a, b, Juárez 2019).

Los MDE del Anexo I muestran para las cuatro especies áreas adecuadas para la distribución en otros sitios del país. Las cuatro especies presentan condiciones ambientales similares en la península de Baja California Sur (Provincia de Baja California), la costa de Sinaloa y Jalisco (Provincia de las Tierras Bajas del Pacífico), y en el suroeste de Chiapas (Provincia del Altiplano de Chiapas). Sin embargo, es poco probable que estas especies se encuentren en estos sitios debido a su dispersión limitada, y que en dichas predicciones se distribuyen generalmente otras especies de *Loxosceles*. Con otras especies, se ha observado que la capacidad de ampliar las áreas de distribución es consecuencia de las actividades antropogénicas, e.g. *Loxosceles rufescens* y *Loxosceles reclusa*, ambas especies introducidas en México. Planas y cols. (2014) y Taucare-Ríos y cols. (2018) muestran el potencial de expansión de la distribución a nivel global de *L. rufescens*, determinada principalmente por actividades antropogénicas.

A pesar de ello, estas predicciones para las cuatro especies a nivel nacional (Anexo I) pueden considerarse como sobre-predicciones, ya que se debe considerar que entre más alejada sea la distribución potencial del área de calibración (M), mayor es la incertidumbre y el riesgo de extrapolación en los MDE (Ortega-Andrade y cols. 2015). También se debe considerar que el uso de pocas variables ambientales para la caracterización del nicho ecológico podría generar un espacio ambiental poco restrictivo, causando una sobre-predicción de las áreas potenciales de distribución; por lo cual a la hora de elegir las variables ambientales se deben tener en cuenta la biología de las especies incluyendo su capacidad de dispersión (Mota-Vargas y cols. 2019).

Conocer la fenología de las especies nos permite además comprender la distribución de las arañas en los diferentes ambientes y en distintos periodos de tiempo (Foelix 2011, Enríquez 2016). Las variables ambientales como la estacionalidad de la temperatura y la precipitación juegan un papel importante en el ciclo de vida y distribución de las arañas (Cruz-Cárdenas y cols. 2014). La influencia de estas variables ambientales determina su actividad diaria e influyen en la fenología, en particular en organismos ectotermos como son las arañas (Aitchison 1984, Enríquez 2016). Los ciclos de vida de las arañas están regulados por la temperatura, precipitación y humedad relativa, por lo cual, las diferentes etapas de desarrollo (estadios) durante el año les permitirán aprovechar la abundancia de los recursos o mantenerse durante las condiciones adversas (Enríquez 2016).

De esta manera, las variables identificadas como más importantes en la construcción de los modelos en este trabajo fueron 1) estacionalidad de la temperatura, 2) isothermalidad, 3) estacionalidad de la precipitación, y 4) precipitación del trimestre más húmedo. Dichas variables ambientales han sido reportadas previamente como importantes para la distribución del género *Loxosceles* en el México (Cortez-Roldán, 2018, Valdez-Mondragón y cols. 2019). Estas cuatro variables influyen en la supervivencia de arañas *Loxosceles*, aumentando los tamaños poblacionales e incrementando la disponibilidad de alimento en los periodos de lluvia (Saupe y cols. 2011, Cruz-Cárdenas y cols. 2014, planas y cols. 2014, Canals y cols. 2016, Ferreti y cols. 2018). Esto ha reportado para algunas especies de opiliones (Jorge y cols. 2013), en la araña *Latonigena auricomis* Simon, 1893 (Simó y cols. 2014) y para especies de arañas migalomorfas del género *Stenoterommata* Holmberg, 1881 (Ferreti y cols. 2018); donde la isothermalidad, la estacionalidad de la temperatura y la variación en la precipitación estacional son factores importantes que influyen en la distribución de especies de arácnidos.

Si bien, la mayoría de las variables ambientales están a una resolución amplia (1 km²), el uso de estas variables a esta escala proporciona una relación positiva con las limitaciones ecológicas (disponibilidad de alimento y períodos relativos de humedad) cuando se trata de modelar especies particulares, como las cavernícolas y/o especializadas (Hijmans y cols. 2005, Mammola y cols. 2018).

Respecto a las especies estudiadas, para el caso de *L. malintzi*, las variables de temperatura como: 1) temperatura del trimestre más cálido, 2) oscilación de la temperatura y 3) isothermalidad, tuvieron un aporte mayor en la elaboración de los MNE en comparación con las variables de precipitación (Tabla 8). Esto se debe a que la especie está distribuida en la región más cálida de la provincia biogeográfica de la Cuenca del Balsas (CB). Valdez-Mondragón y cols. (2017) y Cortez-Roldan (2018) registraron a *L. malintzi* en esta provincia, donde las características ambientales son de climas semicálido y subhúmedo y cuya vegetación esta correlacionada con estas variables climáticas, tales como, las selvas bajas caducifolias, donde la especie ha sido registrada (INEGI 2017, Valdez-Mondragón y cols. 2017, Valdez-Mondragón y cols. 2018b).

Para *L. misteca*, las variables de precipitación como: 1) precipitación del mes más húmedo, 2) precipitación del mes más seco y 3) estacionalidad de la precipitación, tuvieron más presencia en la construcción de los MNE (Tabla 9). Esta especie tiene una distribución que abarca la región oeste de la CB, en su mayoría los registros han sido de cuevas y grutas ubicadas en las selvas secas y tropicales, incluida la selva baja caducifolia (Navarro-Rodríguez 2019, Valdez-Mondragón y cols. 2019). Las variaciones de temperatura y humedad influyen directamente en la disponibilidad de alimento dentro de las cuevas, por lo que, son variables importantes para la distribución de esta especie en esta zona (Cruz-Cárdenas y cols. 2014, Mammola y cols. 2018).

Para la especie *L. zapoteca* al igual que *L. misteca*, el tener variables limitantes como son: 1) precipitación del mes más seco, 2) estacionalidad de la precipitación y 3) precipitación del trimestre más húmedo nos habla de las condiciones ambientales que requiere *L. zapoteca* para su distribución (Tabla 11). *Loxosceles zapoteca* se ha reportado en condiciones climáticas estrechamente correlacionadas con el tipo de vegetación de la CB, como son las selvas bajas caducifolias y matorrales xerófilos (Cortez-Roldan 2018). Sin embargo, a pesar de que estas tres especies ocupan la misma zona de distribución, las condiciones ambientales son diferentes para las construcciones de los MNE, aportando información específica para la caracterización precisa del nicho ecológico y así generar MDE con mejor rendimiento para cada una de las especies (Tablas 7, 8, 9, 11, Figuras 30, 31, 33). Esto muestra una distribución

más restringida para *L. malintzi* dentro de la provincia de CB en comparación con *L. misteca* y *L. zapoteca*.

Los MDE construidos por Cortez-Roldán (2018), para las especies *L. malintzi*, *L. misteca* y *L. zapoteca*, muestran distribución en la provincia CB, dato que se corrobora con los MDE actuales generados en este trabajo, a pesar de que ambos trabajos tienen aproximaciones distintas. Cortez-Roldán (2018) generó MDE para distintas regiones del país, en caso particular la región del Centro-Occidente, donde se distribuyen estas tres especies, sin embargo, utilizó variables ambientales correlacionadas entre sí (e.g. altitud, uso de suelo y vegetación). Aunado a esto, no considera el área de calibración (M) en la construcción de los modelos, lo cual es importante para una adecuada caracterización del nicho ecológico de las especies y buen desempeño del algoritmo (Maxent) (Barve y cols. 2011, Mota-Vargas y cols. 2019).

En el caso de *L. tenochtitlan* las variables ambientales más representativas fueron: 1) oscilación diurna de la temperatura, 2) precipitación en mes más seco y 3) precipitación del mes más húmedo (Tabla 10). Esta especie se distribuye en la zona del Valle de México donde las temperaturas son entre los 20-30° C y las precipitaciones oscilan entre los 500 a 850 mm al año, por lo que las condiciones ambientales son adecuadas para su distribución (CONAGUA 2019; Figura 32). Esta abarca la provincia biogeográfica de la Faja Volcánica Transmexicana (FVT), donde las características ambientales pertenecen a bosques templados y fríos de pino-encino (Valle de México) (Cortez-Roldán 2018, Valdez-Mondragón y cols. 2018 a, b, Juárez-Sánchez 2019, Navarro-Rodríguez 2019, Solís-Catalán 2020).

Esta especie se considera de hábitos sinantrópicos, es decir, la distribución de *L. tenochtitlan* está asociada a los asentamientos humanos (Valdez-Mondragón y cols. 2019). Por ello, otros factores importantes que se deben considerar en la construcción de los MDE son los ambientes urbanizados y las actividades antropogénicas, ya que éstas juegan un papel importante en la distribución de las especies de arañas (Durán-Barrón y cols. 2009, Desales-Lara y cols. 2013, Rodríguez-Rodríguez y cols. 2015, Quijano-Ravel y Ponce-Saavedra 2016, Maldonado y cols. 2016).

Se ha observado una modificación en las variables ambientales en zonas urbanas, desarrollando un significativo calentamiento frente a las zonas naturales (Ferrelli y cols. 2016). Granados (2011) logró identificar en la región del Paso del Norte, Chihuahua el cambio de la temperatura superficial del suelo identificando aumento de temperatura promedio de 11°C entre los años 2000 y 2010. Además, pudo determinar que el aumento de las temperaturas se dio en aquellas áreas donde se sustituyeron las áreas forestales por superficies de concreto. De igual manera, las ciudades tienen menos percolación de agua de lluvia, puesto que la pavimentación impide la absorción de agua (Ferrelli y cols. 2016).

Estas modificaciones en las condiciones ambientales han favorecido el establecimiento de poblaciones de arañas dentro de los asentamientos humanos. Las arañas se han adaptado a los ambientes urbanizados, utilizando las áreas no perturbadas que se encuentran dentro de las viviendas o sus alrededores, como sótanos y áreas de almacén, ya que en estos lugares la temperatura y la humedad varían menos y pueden proveer condiciones óptimas para el desarrollo de presas potenciales (Durán-Barrón y cols. 2009).

El género *Loxosceles* presenta una alta asociación con los asentamientos humanos, ya que ha sido reportada en diversas investigaciones. Sandidge y Hopwood (2005) mencionan a *L. reclusa* como la especie más abundante en los hogares del centro y sur de Estados Unidos. Fischer y Vasconcelos-Neto (2005) reportan para Brasil que el 97% de las viviendas humanas muestreadas en el interior se encuentran a varias especies de *Loxosceles*. En México, se ha reportado a este género dentro de las viviendas ubicadas en ciudades y en áreas suburbanas. Durán-Barrón y cols. (2009) reportaron para la Ciudad de México y Estado de México solamente un ejemplar de *Loxosceles* en las 109 viviendas muestreadas. Hernández-Hernández y cols. (2015) en la ciudad de Chilpancingo señalan que el género *Loxosceles* se encontró en viviendas de la zona suburbana, reportando solamente un individuo. Las especies del género *Loxosceles* se han caracterizado por presentar densidades altas en sus poblaciones, e.g. Vetter y Barger (2004) reportan números de hasta 2 055 arañas *Loxosceles* capturadas en 6 meses en una casa de 270 m² en Kansas, Estados Unidos; sin embargo, en México aún faltan estudios que muestren datos sobre la densidad de individuos recolectados en las ciudades.

Al igual que *L. tenochtitlan*, se han reportado en ambientes antrópicos otras dos especies de este estudio, *L. malintzi* y *L. misteca* (Figuras 30-32). Para *L. malintzi* se han hecho muestreos cerca de los asentamientos humanos, en particular dentro de las casas, entre bloques de concreto apilados y en objetos almacenados, cerca de la vegetación nativa (selva baja caducifolia) (Valdez-Mondragón y cols. 2018b). Para *L. misteca* se han tenido también registros dentro de asentamientos humanos, por lo que Dzul-Manzanilla y cols. (2014) la consideran como una especie sinantrópica al igual que Cortez-Roldan (2018). Por lo cual, no se descarta la posibilidad de que la urbanización haya modificado la distribución de estas tres especies, ya que existe un cambio en las áreas naturales y con ello modificaciones en la temperatura y precipitación dentro de las zonas urbanas (Saupe y cols. 2011). No obstante, los MDE mostraron presencia de las especies en las zonas de la CB y FVT, provincias cuyas características fisiográficas, ambientales y biológicas permiten el establecimiento de *L. malintzi*, *L. misteca*, *L. tenochtitlan* y *L. zapoteca* (Figuras 30-33).

8.2 Distribución potencial futura con base en escenarios de cambio climático

Aunque las especies han respondido a los cambios climáticos a lo largo de su historia evolutiva, estas tasas de cambio son la principal preocupación en la distribución de las especies silvestres (Schneider y Root 1998). En el caso particular del género *Loxosceles*, se tienen propuestas de cómo el cambio climático (CC) afectará la distribución de las especies, como lo plantean Saupe y cols. (2011) para *L. reclusa*, especie del sureste de Estados Unidos. Sin embargo, en México este es el primer estudio donde se abordan los cambios de distribución debido al CC para especies de *Loxosceles*, aportando información de los posibles aumentos o reducciones de las distribuciones, y así poder determinar nuevas zonas de riesgo de casos de loxoscelismo, ante eventos futuros de cambio climático.

Para los MDE futuros de *L. malintzi* y *L. misteca*, existe un aumento en las áreas de distribución para los años 2050 y 2080 (Figuras 34-37, Anexo 2). Es probable que *L. misteca* y *L. malintzi* incrementen áreas de distribución hacia latitudes sureñas, en las áreas donde las temperaturas estén aumentando lo suficiente como para permitir que estas especies establezcan poblaciones y con ello exista un mayor riesgo de casos de loxoscelismo

(Martínez y cols. 2018, Ureta y cols. 2020). Existen pocos trabajos que mencionen un cambio en las condiciones ambientales hacia la parte sur de la región Neotropical, y con ello el impacto sobre las distribuciones de estas y otras especies, e.g. plantas herbáceas (Pérez 2017) y moluscos (Jiménez y cols. 2021). Sin embargo, se han realizado estudios para esta región con arácnidos, y con escorpiones de importancia medica-toxicológica en Sudamérica y México, donde muestran aumentos en la distribución para la zona sur de los MDE actuales (Martínez y cols. 2018, Ureta y cols. 2020).

Se ha reportado en Sudamérica, para especies de escorpiones del género *Tityus* Koch, 1836 un posible aumento en su distribución en Argentina, expandiéndose a latitudes sureñas (Martínez y cols. 2018). Este género es el causante del mayor número de intoxicaciones en humanos en Argentina debido a su picadura venenosa, por lo que los autores también prevén que las alteraciones climáticas amplíen las zonas de riesgo a las ciudades más pobladas de Argentina. Ureta y cols. (2020) planteó que podría existir un aumento en la distribución en nueve especies de escorpiones del género *Centruroides* Marx, 1860 en México. Este género es considerado como de importancia médica-toxicológica, lo que representa un problema de salud pública, por lo que un aumento en su distribución puede ser motivo de preocupación.

Por el contrario, en la región Neártica, se ha observado que los rangos de distribución de algunos arácnidos podrían aumentar y ocupar nuevas áreas hacia el norte si la temperatura aumenta aproximadamente 0.2 °C cada 10 años (Saupe y cols. 2011, Boorgula y cols. 2020). Tal es el caso de las garrapatas *Dermacentor variabilis* (Say, 1821), cuya distribución abarca los Estados Unidos, pero muestra una expansión de áreas adecuadas hacia el norte de Canadá. Esto es una evidencia de que el CC afectará la distribución de nuevas áreas en escenarios futuros (Boorgula y cols. 2020). Para el género *Loxosceles*, se observó que el cambio en la distribución en los escenarios climáticos futuros fue hacia la zona norte de Estados Unidos (Saupe y cols. 2011). Los efectos del cambio climático sobre *L. reclusa* sugiere un desplazamiento hacia latitudes al norte y una expansión hacia el este y oeste en el espacio geográfico, donde se cumplen las condiciones del nicho actual, lo que implicaría que esta especie tendrá la capacidad de colonizar nuevas áreas y con ello aumentar el riesgo de zonas de interacción humano-araña en los Estados Unidos (Saupe y cols. 2011).

Los MDE generados en este trabajo difieren con respecto al aumento de las áreas de distribución hacia el norte planteados por Saupe y cols. (2011). Esto podría deberse a que los modelos utilizados con *L. reclusa* se fundamentan en las altas tasas de crecimiento poblacional, cambios en el uso de suelo y la energía; esto en comparación con el presente trabajo donde se utilizó el MCG MIROC-5, el cual mejora la simulación del clima medio, la variabilidad, el CC debido al forzamiento radiactivo antropogénico, y presenta correcciones en los parámetros de la precipitación (Watanabe y cols. 2010). Sin embargo, otro factor importante en los patrones de distribución es la altitud, los cuales son muy similares a los propuestos por Saupe y cols. (2011). Los MDE de Saupe y cols. (2011) mostraron que la distribución de *L. reclusa* es hacia el noreste de la actual distribución, esta región abarca las grandes llanuras de Norteamérica, donde las altitudes van de los 0 a 2 000 msnm (Browne 2005), lo que implicaría que esta especie aumentara su distribución a lo largo de las grandes llanuras hasta el límite con las montañas rocosas. Este mismo patrón observamos en los MDE de las cuatro especies analizadas en este estudio, la distribución de cada una de ellas se concentra en las regiones donde las altitudes van de los 0 a 2 500 msnm (Cortez-Roldan 2018, Valdez-Mondragón y cols. 2018a, Valdez-Mondragón y cols. 2019).

La distribución para *L. malintzi* y *L. misteca* se verá delimitada hasta la provincia de la Faja Volcánica Transmexicana (FVT), donde las altitudes son mayores y las condiciones ambientales son de climas templados, totalmente diferentes a los nichos ecológicos modelados para estas especies. En el caso de *L. misteca*, los MDE futuros no muestran una disminución mayor al 30% de las áreas de distribución con respecto a los MDE actuales (Cortez-Roldán 2018, Valdez-Mondragón y cols. 2018a, Anexo 2). Sin embargo, para el caso de *L. misteca* se mantendrán las áreas de distribución, esto podría deberse a que la temperatura se mantendrá con valores similares a los actuales, esto para ambos escenarios de cambio climático.

Sin embargo, en el caso de *L. tenochtitlan* y *L. zapoteca*, se observa que en los MDE para los escenarios de cambio climático muestran una tendencia a disminuir en las áreas predichas en los MDE actuales (Figuras 38-41, Anexo 2). Para *L. tenochtitlan* la distribución abarcara parte de FVT, debido a que esta especie se ha registrado en altitudes entre los 2 240 a 2 500 msnm (Valdez-Mondragón y cols. 2019), por lo tanto, la distribución estará

delimitada hacia la provincia del Desierto Chihuahuense (DCH) donde la altitud sobrepasa los 3 000 msnm (CONABIO 1998, Arizaga y Hubp 2003). Para *L. zapoteca* esta disminución será similar, las áreas que conservarán las condiciones ambientales adecuadas en el futuro abarcarán altitudes de aproximadamente 1 500 msnm dentro de la CB. Regiones como el DCH (para *L. tenochtitlan*) y FVT (para *L. zapoteca*) presentará modificaciones en las condiciones ambientales, lo cual se traduce a menores áreas de ocupación para esta especie en los escenarios de CC, debido a que si hay un aumento en la temperatura podría reducir el rango de elevación en la distribución. Cabe señalar que esto se ha observado con poblaciones de aves y anfibios que habitan ambientes andinos y páramos, donde los rangos altitudinales son más estrechos y exhiben un mayor riesgo ante el CC (Blaustein y cols. 2010, Uribe-Botero 2015).

En relación con el CC, desde mediados del siglo XX se ha observado que la temperatura ha aumentado de manera no uniforme y a un ritmo acelerado (Houghton y cols. 2001, Solomon y cols. 2007, Cuervo-Robayo y cols. 2020). Este aumento incide sobre los patrones de temperatura y precipitación, importantes para la distribución de estas especies de *Loxosceles* y de otras especies más. En grupos de artrópodos como las mariposas del género *Boloria* Moore, 1900, se ha observado que al volverse más extremas las condiciones climáticas las distribuciones de las especies tienen a contraerse (Romo y cols. 2006, Romo y García-Barros 2013). Esto también se ha visto con otros arácnidos, como los escorpiones, que al extremarse las condiciones climáticas las distribuciones de las especies se contraen, lo que podría implicar una reducción de posibles accidentes de intoxicación con géneros de importancia médica-toxicológica como *Odontobuthus* Vachon, 1950, *Tityus* Koch, 1836 y *Centruroides* Marx, 1889 (Hosseinzadeh 2020, Lira y cols. 2020, Ureta y cols. 2020).

La existencia de áreas climáticamente favorables o no favorables por sí solas, no garantiza la supervivencia de las especies, habría que incorporar factores locales, como bióticos (e.g. interacciones interespecíficas) y abióticos (e.g. humedad relativa, radiación, cambio de uso de suelo, etc.) que afecten la distribución de las poblaciones (Romo y cols. 2013). Otros factores necesarios para considerar como limitantes en la distribución son: 1) la dependencia de un hábitat y/o un microhábitat especializado por lo que la capacidad de respuesta a los cambios climáticos futuros será distinta (Tablas 12-15, Figuras 34-41) (Bravo-

Cadena y cols. 2011) y 2) dependencia de los componentes de vulnerabilidad (sensibilidad, capacidad adaptativa y exposición) (Vié y cols. 2009).

En este caso de las capacidades de dispersión o de colonización de zonas nuevas o más favorables, varían dependiendo de las especies y su capacidad de respuesta a los cambios (Bravo-Cadena y cols. 2011). Hay especies que tienen una capacidad de dispersión mayor y con una gran amplitud de nicho (generalistas o euritópicas), beneficiándose de las modificaciones en el clima, por lo que podrían responder aumentando sus poblaciones e incluso aumentado su área de distribución geográfica (Martínez-Meyer y cols. 2004, Parra-Olea y cols. 2005, Vié y cols. 2009, Bravo-Cadena y cols. 2011). Sin embargo, existen otras especies con una reducida amplitud de nicho (especialistas o estenotópicas) y menor capacidad de dispersión, siendo afectadas drásticamente por las variaciones en la temperatura o precipitación, es decir, tienen una mayor sensibilidad al efecto del CC (Hill y cols. 2002, Vié y cols. 2009, Bravo-Cadena y cols. 2011, Schramm y cols. 2021). Se ha visto en arácnidos del orden de Amblypygi (género *Acanthophrynus*) que la vagilidad limitada restringe las áreas de distribución a las selvas tropicales caducifolias, implicando nichos ambientales estrechos, por lo que la colonización a nuevos hábitats y ambientes no será posible en los escenarios futuros (Schramm y cols. 2021).

En el caso de *Loxosceles*, se sabe que su capacidad de dispersión es baja, esto debido a que no tienen la capacidad de realizar *ballooning* como otros grupos de arañas (Linn 2002, Bonte y cols. 2009, Brunetta y Craig 2010, Foelix 2011). En este sentido, la respuesta al CC para este género dependerá de dos factores: 1) la capacidad de mantener poblaciones en su área de distribución actual a pesar de los cambios en las condiciones ambientales (persistencia), y 2) colonizar nuevas áreas climáticamente favorables en el futuro (dispersión) (Williams y cols. 2008, Bellard y cols. 2012). Por lo cual, en las cuatro especies de *Loxosceles* analizadas, la dispersión sería un factor limitante en su capacidad de respuesta a los cambios ambientales, ya que podría presentar mayores espacios geográficos con condiciones adecuadas, sin embargo, pueden ser inaccesibles por la baja capacidad de dispersión (Pearson y Dawson 2003, McMahon y cols. 2011).

Debido a lo anterior, el mecanismo de respuesta ante el CC se verá reflejado en la modificación de las áreas de distribución en ambos escenarios, con aumento o disminución de las zonas favorables para su establecimiento. Esto último, se observa en los MDE futuros para *L. tenochtitlan* y *L. zapoteca* mostrando una posible reducción en las áreas de distribución (Figuras 38-41). Ya que, esta disminución de las áreas favorables para la distribución se hipotetiza de igual manera para *Loxosceles reclusa* en EU. Saupe y cols. (2011) muestran que las regiones geográficas adecuadas para la distribución actual de *L. reclusa* pueden ser considerablemente diferente en el futuro, es decir, que el 5% del área que se considera adecuada en la actualidad se mantenga en el futuro, esto debido a que las condiciones ambientales se mantendrán estables en los escenarios de CC. Esto se podría atribuir de manera inicial a que los ambientes que en la actualidad parecen ser idóneos para *L. tenochtitlan* y *L. zapoteca*, sin embargo, en los escenarios de CC podría existir una pérdida de condiciones ambientales adecuadas para que ambas especies sigan colonizando más áreas de México, como lo propone Saupe y cols. (2011) para *L. reclusa*.

En diversos estudios se ha observado el impacto potencial del cambio climático en los rangos geográficos de los organismos, como en el grupo de arácnidos, los trabajos que abordan los cambios de la distribución bajo el contexto de CC se han realizado con garrapatas (*Dermacentor* e *Ixodes*) (Gray y cols. 2009, Boorgula y cols. 2020) y escorpiones (*Tityus*, *Odontobuthus* y *Centruroides*) (Martínez y cols. 2018, Hosseinzadeh 2020, Lira y cols. 2020, Ureta y cols. 2020). Se han plantado distintos cambios en la distribución con base a los escenarios de CC para los años 2050 y 2070. Ferreti y cols. (2018) encontraron que para el grupo de arañas migalomorfas del género *Stenoterommata*, el hábitat altamente adecuado aumentara en los años 2050 y 2070. Sin embargo, hay una especie de este género cuya área de distribución puede reducirse hasta un 50% para el año 2070 según las predicciones. Esta modificación podría deberse a variaciones en las condiciones ambientales futuras, como podrían ser la isothermalidad, la estacionalidad de la temperatura y la precipitación estacional.

Estudios sobre las influencias del CC relevantes para la ecología de las enfermedades zoonóticas o de los casos de intoxicación con animales de importancia médica en Norteamérica aún son escasos o nulos para algunas regiones del planeta (Saupe y cols. 2011, Boorgula y cols. 2020). Por lo anterior, hasta el momento se pueden proponer tres patrones

de respuesta de las especies de *Loxosceles* analizadas con relación a su distribución geográfica en México: 1) Habrá un cambio en la capacidad de ocupación de nuevas áreas conforme a las condiciones ambientales (Moffett y cols. 2007, Peterson 2009, Boorgula y cols. 2020). 2) Las especies presentan adaptación a las nuevas condiciones ambientales, por lo que no se observa cambios en la distribución. 3) Si no hay un desplazamiento o adaptación, las especies se reducirán a zonas idóneas para su supervivencia, en casos extremos, se podría llegar a la pérdida de especies a nivel local (Parra-Olea y cols. 2005, Araújo y cols. 2006, Romo y cols. 2011).

Las especies analizadas en este trabajo al ser organismos ectotermos y tener un amplio rango de tolerancia térmica, podrían presentar adaptabilidad al clima y con ello presentar procesos fisiológicos (e.g. regulación de la temperatura) que les ayuden a la supervivencia. Esto se ha visto en especies de *Loxosceles* de Norte y Sudamérica, reportando un rango de tolerancia de temperaturas entre 4.5-43.5°C (Bonnet 1996; Canals y cols. 2016; Vetter 2008, 2015). Tal es el caso de *L. reclusa*, quien mantiene actividad en temperaturas de 4.5°C a 45°C (Bonnet, 1996, Canals y cols. 2016, Vetter, 2008); *Loxosceles intermedia* Mello-Leitão, 1934, soporta temperaturas elevadas, mientras que *Loxosceles laeta* Nicolet, 1849 temperaturas más bajas (Sandidge y Hopwood, 2005; Magnelli y cols. 2016). De esta manera, se esperaría que las generaciones futuras de estas especies tengan como respuesta la regulación de la temperatura (adaptación fisiológica), haciendo que los individuos sean más tolerantes a nuevas condiciones climáticas, de modo que las futuras generaciones se adapten a estos entornos (Saupe y cols. 2011, Uribe-Botero 2015, Stranges y cols. 2019, Ryding y cols. 2021).

Aunque tenemos que tomar con cautela las proyecciones a los escenarios de CC y otros periodos de tiempo, ya que puede existir una variabilidad e incertidumbre en las condiciones climáticas asociado con el uso de los modelos de circulación global (MCG) (Elith y Leathwick 2009, Nogués-Bravo 2009, Collevatti y cols. 2013, Owens y cols. 2013, Chefaoui y Serrão 2017). El análisis MESS (Anexo III) no muestra condiciones climáticas diferentes (no análogas) para el área de calibración de los MNE y MDE en los diferentes escenarios de RCP para este estudio. Sin embargo, es importante identificar las áreas geográficas que contengan estas condiciones no análogas, ya que estas áreas podrían ser de

mayor incertidumbre en los modelos para las cuatro especies de *Loxosceles* (Williams y Jackson 2007, Guevara y cols. 2018, Guevara y cols. 2019).

Esto se observa en la región norte del país, donde las condiciones climáticas futuras podrían ser no-análogas, es decir, que para alguna variable climática los valores en el MCG podrían ser más extremas que en aquellas variables usadas para calibrar el modelo (e.g. más frías y con menos precipitación que las actuales) (Guevara y cols. 2019). Por lo tanto, las regiones donde las proyecciones geográficas tengan una mayor incertidumbre las predicciones generadas en los modelos futuros deben tomarse con cierta cautela. Dado que no se conoce aún con certeza el clima futuro, los MNE suelen utilizar más de un MCG para crear más de una hipótesis de la distribución potencial (Anderson 2013, Guevara y cols. 2018). Se recomienda usar otros MCG para las transferencias a escenarios de CC de estas cuatro especies, ya que se ha visto que el grado de no-analogía y extrapolación de los modelos puede variar considerablemente entre los MCG (Guevara y cols. 2018).

La magnitud de los efectos del cambio climático en las áreas de distribución no solo es determinada por las condiciones ecológicas, sino que puede verse influenciada por factores socioeconómicos, como la migración, asentamientos humanos, el cambio en el uso del suelo y de comportamiento humanos (Gray y cols. 2009); pudiendo establecer a estas cuatro especies en nuevos sitios del país, dado a que las condiciones ambientales podrían mantenerse iguales a las condiciones que se presentan en la actualidad (Anexo 1).

Las especies de *Loxosceles* representan un riesgo en la salud pública, por lo que un aumento en su distribución puede ser motivo de preocupación. Es por ello, que se necesita más trabajo de campo para incrementar los registros de las especies e incorporar otras variables no evaluadas en este trabajo en los MNE y MDE actuales y futuros (e.g. densidad poblacional, vegetación, radiación, humedad relativa, entre otras), esto para mejorar la caracterización del nicho ecológico de las especies y así poder identificar algunos otros factores que influyen en la distribución de las especies de *Loxosceles* en México.

9. CONCLUSIONES

1. Las variables climáticas de estacionalidad de la temperatura, isotermalidad, estacionalidad de la precipitación son los principales factores que influyen en la distribución de las cuatro especies de *Loxosceles* en la región Centro-Occidente de México.
2. La distribución actual de las especies de *Loxosceles* se verá afectada por el cambio climático: en *Loxosceles malintzi* podrían aumentar las áreas de distribución en los escenarios del 2050 (79%) y 2080 (66%), *Loxosceles misteca* y *Loxosceles zapoteca* podrían mantener las áreas con las condiciones ambientales actuales en ambos años, y para *Loxosceles tenochtitlan* las áreas adecuadas disminuirían un 51% (2050) y un 38% (2080).
3. El aumento en las temperaturas y la modificación de los patrones de precipitación de los escenarios para el 2050 y 2080, restringirán las áreas adecuadas para los MDE futuros de las cuatro especies de *Loxosceles*.
4. El incremento de la distribución en todos los escenarios de CC para las cuatro especies sería hacia latitudes sur y una disminución hacia el norte, modificando los patrones de distribución.
5. Los patrones de respuesta ante al CC están estrechamente relacionados con la capacidad de adaptación climática de cada una de las especies, mostrando tres patrones importantes: persistencia, ganancia y pérdida de áreas de distribución.

10.REFERENCIAS

- Acosta LE. 2008. Distribution of *Geraecormobius sylvarum* (Opiliones, Gonyleptidae): Range modeling based on bioclimatic variables. *The Journal of Arachnology*. 36(3): 574-582.
- Aiello-Lammens ME, Boria RA, Radosavljevic A, Vilela B. y Anderson RP. 2015. spThin: An R package for spatial thinning of species occurrence records for use in ecological niche models. *Ecography*. 38: 541–545.
- Aitchison CW. 1984. The phenology of winter-active spiders. *Journal of Arachnology*. 249-271.
- Altamiranda-Saavedra M, Arboleda S, Parra JL, Peterson AT y Correa MM. 2017. Potential distribution of mosquito vector species in a primary malaria endemic region of Colombia. *PLoS One*. 12(6): e0179093.
- Anderson RP. 2013. A framework for using niche models to estimate impacts of climate change on species distributions. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1297(1): 8-28.
- Araújo MB, Thuiller W y Pearson RG. 2006. Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe. *Journal of biogeography*. 33(10). 1712-1728.
- Arizaga MTG y Hubp JL. 2003. El relieve mexicano en mapas topográficos. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Arreola RR. 2013. Distribución potencial de *Scolytus mundus* Wood y su comportamiento bajo escenarios de cambio climático en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. Tesis Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM. Ciudad de México, México. 89 p.
- Austin MP. 2002. Spatial prediction of species distribution: an-interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecological Modelling*. 157: 101– 118.

- Austria LE. 2019. Distribución potencial en México de *Leucoptera coffeella* (Guérin-Meneville & Perrottet, 1842) (Lepidoptera: Lyonettidae). Tesis Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM. Ciudad de México, México. 47 p.
- Badino G. 2004. Cave temperatures and global climatic change. *International Journal of Speleology*. 33(1): 10.
- Badino G. 2010. Underground meteorology “What’s the weather underground?.” *Acta carsologica*. 39(3).
- Baldwin RA. 2009. Use of maximum entropy modeling in wildlife research. *Entropy*. 11(4): 854-866.
- Ballesteros-Barrera C. 2008. Efecto del cambio climático global en la distribución de especies del Desierto Chihuahuense. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F.
- Barbosa AM, Real R y Vargas JM. 2009. Transferability of environmental favourability models in geographic space: the case of the Iberian desman (*Galemys pyrenaicus*) in Portugal and Spain. *Ecological modelling*. 220(5): 747-754.
- Barrera A y Hoffman A. 1981. Notas sobre la interpretación de los artrópodos citados en el tratado curto, Historia de los insectos de la Nueva España, de Francisco Hernández. *Folia Entomológica Mexicana*. 49: 27-34.
- Barve N, Barve V, Jiménez-Valverde A, Lira-Noriega A, Maher SP, Peterson AT y Villalobos F. 2011. The crucial role of the accessible area in ecological niche modeling and species distribution modeling. *Ecological Modelling*. 222(11): 1810-1819.
- Beatty J. 1970. The spider genus *Ariadna* in the Americas (Araneae: Dysderidae). *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology*. 139: 433–517.
- Behroozian M, Ejtehadi H, Peterson AT, Memariani F y Mesdaghi M. 2020. Climate change influences on the potential distribution of *Dianthus polylepis* Bien. ex Boiss (Caryophyllaceae), an endemic species in the Irano-Turanian region. *PloS one*. 15(8): e0237527.

- Bellard C, Bertelsmeier C, Leadley P, Thuiller W y Courchamp F. 2012. Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology letters*. 15(4): 365-377.
- Bellard C, Bertelsmeier C, Leadley P, Thuiller W y Courchamp F. 2012. Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology letters*. 15(4): 365-377.
- Bernabò P, Latella L, Jousson O y Lencioni V. 2011. Cold stenothermal cave-dwelling beetles do have an HSP70 heat shock response. *Journal of Thermal Biology*. 36(3): 206-208.
- Binford GJ, Callahan MS, Bodner MR, Rynerson MR, Núñez PB, Ellison CE y Duncan RP. 2008. Phylogenetic relationships of *Loxosceles* and *Sicarius* spiders are consistent with Western Gondwanan vicariance. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 49: 538-553.
- Blaustein AR, Walls SC, Bancroft BA, Lawler JJ, Searle CL y Gervasi SS. 2010. Direct and indirect effects of climate change on amphibian populations. *Diversity*. 2(2): 281-313.
- Bonnet MS. 1996. The *Loxosceles* spider. *British Homoeopathic Journal*. 85(4): 205-213.
- Bonte D, Clercq ND, Zwertvaegher I y Lens L. 2009. Repeatability of dispersal behaviour in a common dwarf spider: evidence for different mechanisms behind short-and long-distance dispersal. *Ecological entomology*. 34(2): 271-276.
- Boorgula GD, Peterson AT, Foley DH, Ganta RR y Raghavan RK. 2020. Assessing the current and future potential geographic distribution of the American dog tick, *Dermacentor variabilis* (Say) (Acari: Ixodidae) in North America. *PloS one*, 15(8), e0237191.
- Boria RA, Olson LE, Goodman SM y Anderson RP. 2014. Spatial filtering to reduce sampling bias can improve the performance of ecological niche models. *Ecological Modelling*. 275: 73-77.
- Braconnot P, Harrison SP, Kageyama M, Bartlein PJ, Masson-Delmotte V, Abe-Ouchi A. 2012. Evaluation of climate models using palaeoclimatic data. *Nature Climate Change*. 2(6): 417-424.

- Bradley RS. 1999. Paleoclimatology: Reconstructing Climates of the Quaternary.
- Bravo-Cadena J, Sánchez-Rojas G y Gelviz-Gelvez SM. 2011. Estudio de la distribución de las especies frente al cambio climático. *Cuadernos de Biodiversidad*. 35: 12-18
- Brooker S, Hay SI y Bundy DA. 2002. Tools from ecology: ¿useful for evaluating infection risk models? *Trends Parasitology*. 18: 70–74.
- Browne RB. 2005. Encyclopedia of the Great Plains. *The Journal of American Culture*. 28(2): 232.
- Brunetta L y Craig CL. 2010. Spider silk: evolution and 400 million years of spinning, waiting, snagging, and mating. Yale University Press. New Haven, E.U. 320 p.
- Burke KD, Williams JW, Chandler MA, Haywood AM, Lunt DJ y Otto-Bliesner BL. 2018. Pliocene and Eocene provide best analogs for near-future climates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 115(52): 13288-13293.
- Cabrera-Espinoza LA y Valdez-Mondragón A. 2019. El género de arañas “viudas negras” *Latrodectus* (Araneae: Theridiidae) en México, ¿qué se conoce hasta ahora sobre su distribución? *Boletín de la Asociación Mexicana de Sistemática de Artrópodos (AMXSA)*. 3(2): 15-21.
- Canals M, Canals MJ y Taucare-Ríos A. 2015. Estimation of the potential distribution of the Chilean recluse spider *Loxosceles laeta* and the spitting spider *Scytodes globula* from preferred temperatures in the laboratory. *Parasitología Latinoamericana*, (2015). 64 (1): 22- 29.
- Canals M, Taucare-Ríos A, Solís R y Moreno L. 2016. Dimorfismo sexual y morfología funcional de las extremidades de *Loxosceles laeta* (Nicolet, 1849). *Gayana (Concepción)*. 80(2): 161-168.
- Candela L, Castelli D, Coro G, Pagano P y Sinibaldi F. 2016. Species distribution modeling in the cloud. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*. 28(4): 1056-1079.

- Chaim OM, Trevisan-Silva D, Chaves-Moreira D, Wille ACM, Ferrer VP, Matsubara FH y Veiga SS. 2011. Brown spider (*Loxosceles* genus) venom toxins: tools for biological purposes. *Toxins*. 3(3): 309-344.
- Cheddadi R, de Beaulie JL, Jouzel J, Andrieu-Ponel VJ, Laurent M, Reille M, Raynaud D y Bar-Hem A. 2005. Similarity of vegetation dynamics during interglacial periods. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 12(39): 13939-13943.
- Chefaoui RM y Serrão EA. 2017. Accounting for uncertainty in predictions of a marine species: integrating population genetics to verify past distributions. *Ecological Modelling*. 359: 229-239.
- Chen IC, Hill JK, Ohlemüller R, Roy DB y Thomas CD. 2011. Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. *Science*. 333(6045): 1024-1026.
- Chico-Avelino M. 2020. Effect of Socio-Environmental variables in the distribution and potential risk Of *Triatoma* (Hemiptera: Reduviidae). *Revista Médica de la Universidad Veracruzana*. 19(1): 19-38.
- Cobos ME, Peterson AT, Osorio-Olvera L, y Jiménez-García D. 2019. An exhaustive analysis of heuristic methods for variable selection in ecological niche modeling and species distribution modeling. *Ecological Informatics*, 53, 100983.
- Coetzee BW, Robertson MP, Erasmus BF, Van Rensburg BJ y Thuiller W. 2009. Ensemble models predict Important Bird Areas in southern Africa will become less effective for conserving endemic birds under climate change. *Global Ecology and Biogeography*. 18(6): 701-710.
- Collevatti RG, Terribile LC, de Oliveira G, Lima-Ribeiro MS, Nabout JC, Rangel TF y Diniz-Filho JAF. 2013. Drawbacks to palaeodistribution modelling: the case of South American seasonally dry forests. *Journal of Biogeography*. 40(2): 345-358.

- Collins WD, Bitz CM, Blackmon ML, Bonan GB, Bretherton CS, Carton JA, Smith RD. 2006. The community climate system model version 3 (CCSM3). *Journal of Climate*.19: 2122–2143.
- Colwell RK y Rangel TF. 2009. Hutchinson's duality: the once and future niche. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 106(2): 19651-19658.
- Compagnucci RH. 2011. Historia del cambio climático o calentamiento global. *Contribuciones Científicas GAEA*. 23: 13-19.
- CONABIO. 1998. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, “Curvas de nivel para la República Mexicana”. Escala 1:250000. Extraído del Modelo Digital del Terreno. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEG). México.
- CONAGUA. 2019. Reporte del clima en México: Reporte anual 2019. Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua Tlalpan, Ciudad de México. 79 p.
- CONEVyT. 2015. Comisión Nacional de Educación para la Vida y Trabajo. Regiones de México. Ciencias Sociales. Secretaría de Educación Pública pp. 73-95.
- Corcuera P y Jiménez ML. 2008. Las arañas de México. *Ciencia*. Enero-Marzo: 58-63.
- Cortez-Roldán MR. 2018. Arañas de Importancia Médica: Distribución y Modelaje de Nicho Ecológico de las especies de arañas violinistas del género *Loxosceles* Heineken y Lowe, 1832 (Araneae, Sicariidae) de México. Tesis Licenciatura, Facultad de Agrobiología, UAT, Tlaxcala, México. 90 p.
- Costa J, Dornak LL, Almeida CE y Peterson AT. 2014. Distributional potential of the *Triatoma brasiliensis* species complex at present and under scenarios of future climate conditions. *Parasites & vectors*. 7(1): 1-10.
- Costa J, Peterson AT y Beard CB. 2002. Ecologic niche modeling and differentiation of populations of *Triatoma brasiliensis* Neiva, 1911, the most important Chagas' disease vector in northeastern Brazil (Hemiptera, Reduviidae, Triatominae). *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 67: 516–520.

- Covington MD y Perne M. 2015. Consider a cylindrical cave: A physicist's view of cave and karst science. *Acta Carsologica*. 44(3).
- Cramer KL y Maywright AV. 2008. Cold temperature tolerance and distribution of the brown recluse spider *Loxosceles reclusa* (Araneae, Sicariidae) in Illinois. *The Journal of Arachnology*. 36(1): 136-139.
- Cruz-Cárdenas G, López-Mata L, Villaseñor JL y Ortiz E. 2014. Potential species distribution modeling and the use of principal component analysis as predictor variables. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 85(1): 189-199.
- Cuervo-Robayo AP, Escobar LE, Osorio-Olvera LA, Nori J, Varela S, Martínez-Meyer E y Peterson AT. 2017. Introducción a los análisis espaciales con énfasis en modelos de nicho ecológico. *Biodiversity Informatics*. 12: 45-57.
- Cuervo-Robayo AP, Ureta C, Gómez-Albores MA, Meneses-Mosquera AK, Téllez-Valdés O y Martínez-Meyer E. 2020. One hundred years of climate change in Mexico. *Plos one*. 15(7): e0209808.
- Davis MB y Shaw RG. 2001. Range shifts and adaptive responses to Quaternary climate change. *Science*. 292(5517): 673-679.
- Dawson TP, Jackson ST, House JI, Prentice IC y Mace GM. 2011. Beyond predictions: biodiversity conservation in a changing climate. *Science*. 332(6025): 53-58.
- de Moura J, Felicori L, Moreau V, Guimarães G, Dias-Lopes C, Molina L y Fleury C. 2011. Protection against the toxic effects of *Loxosceles intermedia* spider venom elicited by mimotope peptides. *Vaccine*. 29(45): 7992-8001.
- de Santi-Ferrara GI, Fernandes-Pedrosa MDF, Junqueira-de-Azevedo I, Gonçalves-de-Andrade RM, Portaro FC, Manzoni-de-Almeida D y Tambourgi DV. 2009. SMase II, a new sphingomyelinase D from *Loxosceles laeta* venom gland: molecular cloning, expression, function and structural analysis. *Toxicon*. 53(8): 743-753.
- Delić T, Trontelj P, Zakšek V y Fišer C. 2016. Biotic and abiotic determinants of appendage length evolution in a cave amphipod. *Journal of Zoology*. 299(1): 42-50.

- Desales-Lara MA, Francke OF y Sánchez-Nava P. 2013. Diversidad de arañas (Arachnida: Araneae) en hábitats antropogénicos. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 84(1): 291-305.
- Diffenbaugh NS, Scherer M y Trapp RJ. 2013. Robust increases in severe thunderstorm environments in response to greenhouse forcing. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 110(41): 16361-16366.
- Dobson A y Foufopoulos F. 2001. Emerging infectious pathogens of wildlife. *Phil Trans R Soc Lond B*. 356: 1001-1012.
- Domínguez-Villar D, Lojen S, Krklec K, Baker A y Fairchild IJ. 2015. Is global warming affecting cave temperatures? Experimental and model data from a paradigmatic case study. *Climate Dynamics*. 45(3): 569-581.
- Domínguez-Villar D. 2012. Heat flux. In: Fairchild, IJ, Baker, A (eds) *Speleothem Science. From Processes to Past Environments*. Chichester: Wiley-Blackwell, pp. 204–205.
- Dormann CF. 2007. Promising the future? Global change projections of species distributions. *Basic and applied ecology*. 8(5): 387-397.
- Duncan RP, Rynerson MR, Ribera C y Binford GJ. 2010. Diversity of *Loxosceles* spiders in Northwestern Africa and molecular support for cryptic species in the *Loxosceles rufescens* lineage. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 55: 234-248.
- Durán-Barrón CG, Francke OF y Pérez-Ortiz TM. 2009. Diversidad de arañas (Arachnida: Araneae) asociadas con viviendas de la ciudad de México (Zona Metropolitana). *Revista mexicana de biodiversidad*. 80(1). 55-69.
- Dzul-Manzanilla FA, Herrera LH, Juárez OV, Leyva ET, Gutiérrez C y Castro JTL. 2014. Arañas de Importancia Médica en el estado de Guerrero. *Entomología Mexicana*. 1: 909-913.
- Eliosa-León HR, Nieto-Montes de Oca A y Navarro-Carbajal MDC. 2010. Conservadurismo filogenético del nicho ecológico un enfoque integral de la evolución. *Ciencias*. 98(098).

- Elith J y Graham CH. 2009. Do they? How do they? WHY do they differ? On finding reasons for differing performances of species distribution models. *Ecography*. 32(1): 66-77.
- Elith J y Leathwick JR. 2009. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*. 40: 677-697.
- Elith J, Graham CH, Anderson RP, Dudík M, Ferrier S, Guisan A, Hijmans RJ, Huettmann F, Leathwick JR, Lehmann A, Li J, Lohmann LG, Loiselle BA, Manion G, Moritz C, Nakamura M, Nakazawa Y, McC M, Overton J, Peterson AT, Phillips S, Richardson K, Scachetti-Pereira R, Schapire RE, Soberón J, Williams S, Wisz MS y Zimmermann NE. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29:129-151.
- Elith J, Kearney M y Phillips S. 2010. The art of modelling range-shifting species. *Methods in ecology and evolution*. 1(4): 330-342.
- Elith J, Leathwick JR y Hastie T. 2008. A working guide to boosted regression trees. *Journal of Animal Ecology*. 77(4): 802-813.
- Elith J, Phillips SJ, Hastie T, Dudík M, Chee YE y Yates CJ. 2011. A statistical explanation of Maxent for ecologists. *Diversity and distributions*. 17(1): 43-57.
- Elton CS. 1927. The nature and origin of soil-polygons in Spitsbergen. *Quarterly Journal of the Geological Society*. 83(1-5): 163.
- Enríquez EEE. 2016. Influencia de las variables ambientales en la fenología de *Pardosa aff. sierra* y *Pardosa sura* (Lycosidae: Araneae) en ambientes méxico y xérico, respectivamente, de la Sierra del Aguaje, Sonora. Tesis Maestría, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur. 75 p.
- Escobar LE, Lira-Noriega A, Medina-Vogel G y Peterson AT. 2014. Potential for spread of the white-nose fungus (*Pseudogymnoascus destructans*) in the Americas: use of Maxent and NicheA to assure strict model transference. *Geospatial health*, 221-229.

- Espinosa-García FJ y Villaseñor JL. 2017. Biodiversity, distribution, ecology, and management of non-native weeds in Mexico: a review. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 88: 76-96.
- Fawcett T. 2004. ROC graphs: Notes and practical considerations for researchers. *Machine learning*. 31(1): 1-38.
- Fernández A, Zavala J, Romero R, Conde AC y Trejo I. 2016. Actualización de los escenarios de cambio climático para estudios impactos, vulnerabilidad y adaptación en México y Centroamérica. México, CDMX: Centro de Ciencias de la Atmosfera, UNAM. <https://doi.org/10.7818/ecos.2016.25-1.20>
- Ferrelli F, Bustos ML y Piccolo MC. 2016. La expansión urbana y sus impactos sobre el clima y la sociedad de la ciudad de Bahía Blanca, Argentina.
- Ferretti NE, Arnedo M y González A. 2018. Impact of climate change on spider species distribution along the La Plata River basin, southern South America: projecting future range shifts for the genus *Stenoterommata* (Araneae, Mygalomorphae, Nemesiidae). *Annales Zoologici Fennici*. 55(1–3): 123-133.
- Ficetola GF, Thuiller W y Miaud C. 2007. Prediction and validation of the potential global distribution of a problematic alien invasive species—the American bullfrog. *Diversity and distributions*. 13(4): 476-485.
- Fischer ML y Vasconcellos-Neto J. 2005. Microhabitats occupied by *Loxosceles intermedia* and *Loxosceles laeta* (Araneae: Sicariidae) in Curitiba, Paraná, Brazil. *Journal of Medical Entomology*. 42(5): 756-765.
- Foelix RF. 2011. Biology of spiders. Tercera Edición. Oxford University Press, U.S.A. 426 p.
- Foley DH, Rueda LM, Peterson AT y Wilkerson RC. 2008. Potential distribution of two species in the medically important *Anopheles minimus complex* (Diptera: Culicidae). *Journal Medical Entomology*. 45: 852–860.

- Fukushima CS, de Andrade RMG y Bertani R. 2017. Two new Brazilian species of *Loxosceles* Heineken & Lowe, 1832 with remarks on amazonica and rufescens groups (Araneae, Sicariidae). *ZooKeys*. (667): 67.
- Gavilán RG. 2008. La vegetación de alta montaña. En Avances en biogeografía, M. Redondo, M. Palacios, F. López, T. Santamaría y D. Sánchez (eds.). Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Geografía e Historia, Madrid. 165-174 p.
- Gertsch WJ y Ennik F. 1983. The spider genus *Loxosceles* in North America, Central America, and the West Indies (Araneae, Loxoscelidae). *Bulletin of the American Museum of Natural History*. 175: 264-360.
- Gertsch WJ. 1958. The spider genus *Loxosceles* in North America, Central America, and the West Indies. *American Museum Novitates*. 1907: 1-46.
- Gertsch WJ. 1967. The spider genus *Loxosceles* in South America (Araneae, Scytodidae). *Bulletin of the American Museum of Natural History*. 136(3): 117-174.
- Gitay H, Suárez A, Watson RT y Dokken DJ. 2002. Climate change and biodiversity. Intergovernmental Panel of Climate Change.
- Gómez JWL. 2011. Regeneración natural de nueve especies maderables en un bosque intervenido de la Amazonia Boliviana. *Acta Amazonica*. 41(1): 135-142.
- Granados JLS. 2011. Efectos del crecimiento urbano sobre el sistema climático en la Región Paso del Norte (1975 y 2010). 200 años de urbanización en México: memorias del XII Seminario-Taller Internacional de la Red Mexicana de Ciudades hacia la Sustentabilidad. pp. 289.
- Gray JS, Dautel H, Estrada-Peña A, Kahl O y Lindgren E. 2009. Effects of climate change on ticks and tick-borne diseases in Europe. *Interdisciplinary perspectives on infectious diseases*. 2009(593232): 12.
- Gray PA. 2005. Impacts of climate change on diversity in forested ecosystems: Some examples. *The Forestry Chronicle*. 81(5): 655-661.
- Grinnell J. 1917. The niche-relationships of the California Thrasher. *The Auk*. 34(4): 427-433.

- Guevara L, Gerstner BE, Kass JM y Anderson RP. 2018. Toward ecologically realistic predictions of species distributions: A cross-time example from tropical montane cloud forests. *Global Change Biology*. 24(4): 1511-1522.
- Guevara L, León-Paniagua L, Ríos J y Anderson RP. 2018. Variación entre Modelos de Circulación Global para reconstrucciones de distribuciones geográficas del Último Máximo Glacial: relevancia para la filogeografía. *Ecosistemas*. 27(1): 62-76.
- Guevara L, Morrone JJ y León-Paniagua L. 2019. Spatial variability in species' potential distributions during the last glacial maximum under different global circulation models: Relevance in evolutionary biology. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*. 57(1): 113-126.
- Guisan A y Thuiller W. 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology letters*. 8(9): 993-1009.
- Guisan A y Zimmermann NE. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological modelling*. 135(2-3): 147-186.
- Hanley JA y McNeil BJ. 1982. The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve. *Radiology*. 143: 29-36
- Hannah L, Midgley G, Hughes G y Bomhard B. 2005. The view from the Cape: extinction risk, protected areas, and climate change. *BioScience*. 55(3): 231-242.
- Harris JBC, Dwi Putra D, Gregory SD, Brook BW, Prawiradilaga DM, Sodhi NS, Wei D y Fordham DA. 2014. Rapid deforestation threatens mid-elevational endemic birds, but climate change is most important at higher elevations. *Diversity and Distributions*. 1-13.
- Hernández PA, Graham CH, Master LL y Albert DL. 2006. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography*. 29(5): 773-785.
- Hijmans R, Cameron S, Parra J, Jones P y Jarvis A. 2005. Very high-resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25: 1965-1978.

- Hill JK, Thomas CD, Fox R, Telfer MG, Willis SG, Asher J y Huntley B. 2002. Responses of butterflies to twentieth century climate warming: implications for future ranges. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*. 269(1505): 2163-2171.
- Hirzel AH, Hausser J, Chessel D y Perrin N. 2002. Ecological-niche factor analysis: ¿how to compute habitat-suitability maps without absence data?. *Ecology*. 83(7): 2027-2036.
- Hosseinzadeh MS. 2020. Potential distribution and effects of climate change on the risk of scorpion sting with endemic and medically important scorpion *Odontobuthus doriae* (Thorell, 1876) (Arachnida: Scorpionidae: Buthidae) in Iran. *Zoology and Ecology*. 30(1): 109-115.
- Houghton JT, Ding YDJG, Griggs DJ, Noguier M, van der Linden PJ, Dai X y Johnson CA. 2001. Climate change 2001: the scientific basis. The Press Syndicate of the University of Cambridge.
- Hugall A, Moritz C, Moussalli A y Stanistic J. 2002. Reconciling paleodistribution models and comparative phylogeography in the Wet Tropics rainforest land snail *Gnarosophia bellendenkerensis* (Brazier 1875). *PNAS* 99(9): 6112–6117.
- Hughes L. 2000. Biological consequences of global warming: ¿is the signal already apparent?. *Trends in ecology & evolution*. 15(2): 56-61.
- Huntley B. 1999. Climatic change and reconstruction. *Journal of Quaternary Science: Published for the Quaternary Research Association*. 14(6): 513-520.
- Hutchinson GE. 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposia of Quantitative Biology*. 22: 415-427.
- Illoldi-Rangel P y Escalante T. 2008. De los modelos de nicho ecológico a las áreas de distribución geográfica. *Biogeografía*. 3: 7-12.
- INEGI 2017. Guía para la interpretación de cartografía: uso del suelo y vegetación: escala 1:250 000: serie VI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. 204 p.

- INEGI. 2020. Censo de Población y Vivienda 2020. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística y Geografía: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>, acceso: (12/05/2021).
- IPCC. 2007. Climate Change 2007. Impacts, adaptation, and vulnerability (Working Group II Report), United Nations Environment Programme. En línea: <http://www.ipcc.ch/ipccreports/assessments-reports.htm>, acceso: (20/05/2021).
- IPCC. 2013. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC. 2014. Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea y L.L. White (eds.)]. Organización Meteorológica Mundial. Ginebra, Suiza, 34p.
- Islebe G. 1999. La paleoecología: Bases y su aplicación. *Foresta Veracruzana*, Universidad Veracruzana, Xalapa, México. 1(2): 47-50.
- Jackson JB, Kirby MX, Berger WH, Bjorndal KA, Botsford LW, Bourque BJ y Warner RR. 2001. Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science*. 293(5530): 629-637.
- Jiménez LM, Simões N y Yáñez-Arenas C. 2021. Where is the genus *Elysia* in the Western Atlantic? Potential distribution, species richness and representativity in Marine Protected Areas. *Journal of Molluscan Studies*. En prensa.
- Jiménez-García D y Peterson AT. 2019. Climate change impact on endangered cloud forest tree species in Mexico. *Revista mexicana de biodiversidad*. 90: e902781.

- Johnson NK y Cicero C. 2002. The role of ecologic diversification in sibling speciation of *Empidonax flycatchers* (Tyrannidae): Multigene evidence from mtDNA. *Molecular Ecology* 11(10): 2065–2081.
- Jorge C, López-Carrión N, Grismado C y Simó M. 2013. On the taxonomy of *Latonigena auricomis* (Araneae, Gnaphosidae), with notes of geographical distribution and natural history. *Iheringia. Série Zoologia*. 103: 66-71.
- Joyner TA, Lukhnova L, Pazilov Y, Temuralyeva G, Hugh-Jones ME. 2010. Modeling the potential distribution of *Bacillus anthracis* under multiple climate change scenarios for Kazakhstan. *PLoS ONE*. 5: e9596.
- Juárez A. R. 2019. Distribución potencial y efecto del cambio climático de *Nicotiana glauca* (Solanaceae) una especie invasora en México. Tesis Licenciatura, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM, México, México. 36 p.
- Juárez-Sánchez AR. 2019. Arañas de importancia médica: Estudio ultra morfológico de estructuras somáticas y diagnósticas de arañas violinistas del género *Loxosceles* Heineken y Lowe, 1832 (Araneae, Sicariidae) de México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Agrobiología, UAT, Tlaxcala, México.
- Lafferty KD. 2009. The ecology of climate change and infectious diseases. *Ecology*. 90(4): 888-900.
- Laurent JM, Bar-Hem A, François L, Ghislain M y Cheddadi R. 2004. Refining vegetation simulation models: From plant functional types to bioclimatic affinity groups of plants. *Journal of Vegetation Science*. 15: 739- 746.
- Lencioni V, Bernabò P y Latella L. 2010. Cold resistance in two species of cave-dwelling beetles (Coleoptera: Cholevidae). *Journal of Thermal Biology*. 35(7): 354-359.
- Linn CD. 2001. The effect of male size on travel ability in the golden orbweaving spider *Nephila clavipes*: implications for sexual size dimorphism. *Department of Psychology, Tulane University*. 30(1): 93-100.

- Lips K. R., Burrowes P. A., Mendelson III J. R. y Parra-Olea G. (2005). Amphibian declines in Latin America: widespread population declines, extinctions, and impacts 1. *Biotropica: The Journal of Biology and Conservation*. 37(2): 163-165.
- Lira AFDA, Badillo-Montaña R, Lira-Noriega A y de Albuquerque CMR. 2020. Potential distribution patterns of scorpions in north-eastern Brazil under scenarios of future climate change. *Austral Ecology*. 45(2): 215-228.
- Lira R, Téllez O y Dávila P. 2009. The effects of climate change on the geographic distribution of Mexican wild relatives of domesticated Cucurbitaceae. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 56(5): 691-703.
- Liu Y. y Shi J. 2020. Predicting the Potential Global Geographical Distribution of Two *Icerya* Species under Climate Change. *Forests*, 11(6), 684.
- López-Sandoval JA, López-Mata L, Cruz-Cárdenas G, Vibrans H, Vargas O y Martínez M. 2015. Modelado de los factores ambientales que determinan la distribución de especies sinantrópicas de *Physalis*. *Botanical Sciences*. 93(4): 755-764.
- Lorenz EN. 1964. The problem of deducing the climate from the governing equations. *Tellus*. 16(1): 1-11.
- Lubchenco J. 2020. National Oceanic and Atmospheric Administration. Obtenido de National Oceanic and Atmospheric Administration: <https://www.noaa.gov/> accessed on (15/04/2020).
- Maciel-Mata CA, Manríquez-Morán N, Octavio-Aguilar P y Sánchez-Rojas G. 2015. El área de distribución de las especies: revisión del concepto. *Acta universitaria*. 25(2): 03-19.
- Maestre FT. 2006. Análisis y modelización de datos espacialmente explícitos en Ecología. *Revista Ecosistemas*. 15(3).
- Magalhaes IL, Brescovit AD y Santos AJ. 2017. Phylogeny of Sicariidae spiders (Araneae: Haplogynae), with a monograph on Neotropical *Sicarius*. *Zoological Journal of the Linnean Society*. 179(4): 767-864.

- Magnelli LM, Peña HE, Castillo GA y Ortiz CR. 2016. Loxoscelismo local y sistémico. *Acta Médica Grupo Ángeles*. 14(1): 36-38.
- Maldonado CJ, Gutiérrez CDA y Ponce-Saavedra J. 2016. Comparación de la riqueza de arañas saltarinas (Araneae: Salticidae) en dos sitios contrastantes en grado de antropización en Morelia Michoacán, México. En: REFAMA Libro de Resúmenes del II Congreso de Fauna Nativa en Ambientes Antropizados. Red Temática Biología, Manejo y Conservación de Fauna Nativa en Ambientes Antropizados. Querétaro, Qro. México. pp. 62.
- Mammola S, Goodacre SL e Isaia M. 2018. Climate change may drive cave spiders to extinction. *Ecography*. 41(1): 233-243.
- Manzanilla-Quiñones U, Delgado-Valerio P, Hernández-Ramos J, Molina-Sánchez A, García-Magaña JJ y Rocha-Granados MDC. 2019. Similaridad del nicho ecológico de *Pinus montezumae* y *P. pseudostrobus* (Pinaceae) en México: implicaciones para la selección de áreas productoras de semillas y de conservación. *Acta botánica mexicana*. (126).
- Marques R, Krüger RF, Peterson AT, de Melo LF, Vicenzi N y Jiménez-García D. 2020. Climate change implications for the distribution of the babesiosis and anaplasmosis tick vector, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. *Veterinary research*. 51(1): 1-10.
- Marshall CE, Glegg GA y Howell KL. 2014. Species distribution modelling to support marine conservation planning: The next steps. *Marine Policy*. 45: 330-332.
- Martínez PA, Andrade MA y Bidau CJ. 2018. Potential effects of climate change on the risk of accidents with poisonous species of the genus *Tityus* (Scorpiones, Buthidae) in Argentina. *Spatial and spatio-temporal epidemiology*. 25: 67-72.
- Martínez-Meyer E, Peterson AT y Hargrove WW. 2004. Ecological niches as stable distributional constraints on mammal species, with implications for Pleistocene extinctions and climate change projections for biodiversity. *Global Ecology and Biogeography*. 13(4): 305-314.

- McCarty JP. 2001. Ecological consequences of recent climate change. *Conservation biology*. 15(2): 320-331.
- McMahon SM, Harrison SP, Armbruster WS, Bartlein PJ, Beale CM, Edwards ME y Prentice IC. 2011. Improving assessment and modelling of climate change impacts on global terrestrial biodiversity. *Trends in Ecology & Evolution*. 26(5): 249-259.
- Merow C, Smith MJ, Silander JA. 2013. A practical guide to Maxent for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*. 36: 1058-1069.
- Merrill RM, Gutiérrez D, Lewis OT, Gutiérrez J, Díez SB y Wilson RJ. 2008. Combined effects of climate and biotic interactions on the elevational range of a phytophagous insect. *Journal of Animal Ecology*. 77(1): 145-155.
- Moffett A, Shackelford N y Sarkar S. 2007. Malaria in Africa: vector species niche models and relative risk maps. *PLoS One*. 2(9): e824.
- Moore GW y Nicholas G. 1964. Out of phase seasonal temperature fluctuations in Cathedral Cave, Kentucky. *Geological Society of America*. 76: 313.
- Morrone JJ, Escalante T y Rodríguez-Tapia G. 2017. Mexican biogeographic provinces: Map and shapefiles. *Zootaxa*. 4277(2): 277-279.
- Morrone JJ. 2004. Panbiogeografía, componentes bióticos y zonas de transición. *Revista Brasileira de Entomología*. 48(2): 149-162.
- Morrone JJ. 2005. Hacia una síntesis biogeográfica de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 76(2): 207-252.
- Mota-Vargas C y Rojas-Soto OR. 2012. The importance of defining the geographic distribution of species for conservation: The case of the Bearded Wood-Partridge. *Journal for Nature Conservation*. 20(1): 10-17.
- Mota-Vargas C, Encarnación-Luévano A, Ortega-Andrade HM, Prieto-Torres DA, Peña-Peniche A y Rojas-Soto OR. 2019. Una breve introducción a los modelos de nicho ecológico. La biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y

- metodológicos para su estudio. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Libermex, Ciudad de México. pp. 39-63.
- Mota-Vargas C, Rojas-Soto OR, Lara C, Castillo-Guevara C y Ballesteros-Barrera C. 2013. Geographic and ecological analysis of the Bearded Wood Partridge *Dendrortyx barbatus*: some insights on its conservation status. *Bird Conservation International*. 23(3): 371-385.
- Muscarella R, Galante PJ, Soley-Guardia M, Boria RA, Kass JM, Uriarte M y Anderson RP. 2014. ENMeval: An R package for conducting spatially independent evaluations and estimating optimal model complexity for Maxent ecological niche models. *Methods in Ecology and Evolution*. 5: 1198–1205.
- Navarro-Racines C, Tarapues J, Thornton P, Jarvis A y Ramirez-Villegas J. 2020. High-resolution and bias-corrected CMIP5 projections for climate change impact assessments. *Scientific data*. 7(1): 1-14.
- Navarro-Rodríguez CI y Valdez-Mondragón A. 2020. Description of a new species of *Loxosceles* Heineken & Lowe (Araneae, Sicariidae) recluse spiders from Hidalgo, Mexico, under integrative taxonomy: morphological and DNA barcoding data (CO1+ ITS2). *European Journal of Taxonomy*. (704).
- Navarro-Rodríguez CI. 2019. Delimitación de las especies mexicanas de arañas del género *Loxosceles* Heineken y Lowe (Araneae, Sicariidae) del Centro Occidente de México con evidencia molecular y morfológica. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. Centro Tlaxcala de Biología de la Conducta, Universidad Autónoma de Tlaxcala, Tlaxcala, México.
- Nazarenko L, Schmidt GA, Miller RL, Tausnev N, Kelley M, Ruedy R y Zhang J. 2015. Future climate change under RCP emission scenarios with GISS ModelE2. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*. 7(1): 244-267.
- Nentwig W, Pantini P y Vetter RS. 2017. Distribution and medical aspects of *Loxosceles rufescens*, one of the most invasive spiders of the world (Araneae: Sicariidae). *Toxicon*. 132: 19–28.

- Nogués-Bravo D. 2009. Predicting the past distribution of species climatic niches. *Global Ecology and Biogeograph.* 18(5): 521-531.
- Novak T, Šajna N, Antolinc E, Lipovšek S, Devetak D y Janžekovič F. 2014. Cold tolerance in terrestrial invertebrates inhabiting subterranean habitats. *International Journal of Speleology.* 43(3): 3.
- Ortega-Andrade HM, Prieto-Torres DA, Gómez-Lora I y Lizcano DJ. 2015. Ecological and geographical analysis of the distribution of the mountain tapir (*Tapirus pinchaque*) in Ecuador: importance of protected areas in future scenarios of global warming. *PloS one.* 10(3): e0121137.
- Ortega-Huerta MA y Peterson AT. 2008. Modeling ecological niches and predicting geographic distributions: a test of six presence-only methods. *Revista Mexicana de Biodiversidad,* 79(1), 205-216.
- Ortíz-Yusty C, Restrepo A y Páez VP. 2014. Distribución potencial de *Podocnemis lewyana* (Reptilia: Podocnemididae) y su posible fluctuación bajo escenarios de cambio climático global. *Acta Biológica Colombiana.* 19(3): 471-481.
- Osorio-Olvera L, Falconi M y Soberón J. 2016. Sobre la relación entre idoneidad del hábitat y la abundancia poblacional bajo diferentes escenarios de dispersión. *Revista mexicana de biodiversidad.* 87(3): 1080-1088.
- Osorio-Olvera L, Lira-Noriega A, Soberón J, Peterson AT, Falconi M, Contreras-Díaz RG y Barve N. 2020. ntbox: an R package with graphical user interface for modelling and evaluating multidimensional ecological niches. *Methods in Ecology and Evolution.* 11(10): 1199-1206.
- Owens HL, Campbell LP, Dornak LL, Saupe EE, Barve N, Soberón J y Peterson AT. 2013. Constraints on interpretation of ecological niche models by limited environmental ranges on calibration areas. *Ecological modelling.* 263: 10-18.
- Pablos NS, Barbosa AM, Freiría FM y Real R. 2010. Los modelos de nicho ecológico en la herpetología ibérica: pasado, presente y futuro. *Boletín de la Asociación Herpetológica Española.* (21): 2-24.

- Palma-Ordaz S y Delgadillo-Rodríguez J. 2014. Potential distribution to eight alien species with invasive nature in the state of Baja California, Mexico. *Botanical Sciences*. 92(4): 587-597.
- Papes M y Peterson AT. 2003. Predicting the potential invasive distribution for *Eupatorium adenophorum* Spreng in China. *J Wuhan Bot Research*. 21: 137–142.
- Parmesan C y Yohe G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*. 421(6918): 37-42.
- Parmesan C. 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 37: 637-669.
- Parra-Olea G, Martínez-Meyer E y de León GPP. 2005. Forecasting Climate Change Effects on Salamander Distribution in the Highlands of Central Mexico 1. *Biotropica: The Journal of Biology and Conservation*. 37(2): 202-208.
- Pearson RG y Dawson TP. 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: ¿are bioclimate envelope models useful?. *Global ecology and biogeography*. 12(5): 361-371.
- Pearson RG, Raxworthy CJ, Nakamura M y Peterson AT. 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of biogeography*. 34(1): 102-117.
- Pérez SA. 2017. Distribución potencial y efecto del cambio climático sobre *Sonchus oleraceus*. Tesis Licenciatura, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM, México, México. 74 p.
- Peterson A y Vieglais D. 2001. Predicting species invasions using ecological niche modeling: new approaches from bioinformatics attack a pressing problem. *BioScience*. 51: 363–371.
- Peterson AT y Shaw J. 2003. *Lutzomyia* vectors for cutaneous leishmaniasis in Southern Brazil: ecological niche models, predicted geographic distributions, and climate change effects. *International journal for parasitology*, 33(9), 919-931.

- Peterson AT, Campbell LP, Moo-Llanes DA, Travi B, González C, Ferro MC y Shaw JJ. 2017. Influences of climate change on the potential distribution of *Lutzomyia longipalpis sensu lato* (Psychodidae: Phlebotominae). *International journal for parasitology*. 47(10-11): 667-674.
- Peterson AT, Ortega-Huerta MA, Bartley J, Sánchez-Cordero V, Soberón J, Buddemeier RH y Stockwell DR. 2002. Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. *Nature*. 416(6881): 626-629.
- Peterson AT, Papeş M, Reynolds MG, Perry ND, Hanson B, Regnery RL y Carroll DS. 2006. Native-range ecology and invasive potential of *Cricetomys* in North America. *Journal of Mammalogy*. 87(3): 427-432.
- Peterson AT, Stewart A, Mohamed KI y Araújo MB. 2008. Shifting global invasive potential of European plants with climate change. *PLoS one*. 3(6): e2441.
- Peterson AT, Tian H, Martínez-Meyer E, Soberón J, Sánchez-Cordero V y Huntley B. 2005. Modeling distributional shifts of individual species and biomes. *Climate change and biodiversity*. 211-228.
- Peterson AT. 2003. Predicting the geography of species invasions via ecological niche modeling. *The quarterly review of biology*. 78(4): 419-433.
- Peterson AT. 2006. Uses and requirements of ecological niche models and related distributional models. *Biodiversity Informatics*. 3: 59-7.
- Peterson AT. 2009. Shifting suitability for malaria vectors across Africa with warming climates. *BMC Infectious Diseases*. 9: 59.
- Peterson AT. y Soberón JM. 2012. Species distribution modeling and ecological niche modeling: getting the concepts right. *Natureza & Conservação*. 10(2): 102-107.
- Phillips S, Anderson R y Sphapire R. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(2006): 231-259.

- Phillips SJ y Dudík M. 2004. A maximum entropy approach to species distribution modeling. Proceedings of the 21st International Conference on Machine Learning, Baniff, Canada.
- Phillips SJ y Dudík M. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*. 31(2): 161-175.
- Piña TJ. 2019. Proyecciones de nicho ecológico en escenarios de cambio climático como herramienta de análisis de vulnerabilidad de *Quercus hintonii*, especie endémica del Estado de México. Tesis Licenciatura, Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad Morelia, UNAM, Michoacán, México. 91 p.
- Pipan T, Petrič M, Šebela S y Culver DC. 2019. Analyzing climate change and surface-subsurface interactions using the Postojna Planina Cave System (Slovenia) as a model system. *Regional environmental change*. 19(2): 379-389.
- Planas E y Ribera C. 2014. Uncovering overlooked island diversity: colonization and diversification of the medically important spider genus *Loxosceles* (Arachnida: Sicariidae) on the Canary Islands. *Journal of Biogeography*, 41: 1255–1266.
- Plasencia-Vázquez AH, Escalona-Segura G y Esparza-Olguín LG. 2014. Modelación de la distribución geográfica potencial de dos especies de psitácidos neotropicales utilizando variables climáticas y topográficas. *Acta zoológica mexicana*. 30(3): 471-490.
- Plissock P y Fuentes-Castillo T. 2011. Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista de Geografía Norte Grande*. (48): 61-79.
- Prentice IC, Guiot J, Huntley B, Jolly D y Cheddadi R. 1996. Reconstructing biomes from palaeoecological data: a general method and its application to European pollen data at 0 and 6 ka. *Climate Dynamics*. 12: 185-194.
- Pressey RL. 1994. Ad hoc reservations: ¿forward or backward steps in developing representative reserve systems?. *Conservation biology*. 8(3): 662-668.

- Qiao H, Feng X, Escobar LE, Peterson AT, Soberón J, Zhu G y Papeş M. 2018. An evaluation of transferability of ecological niche models. *Ecography*. 42(3): 521-534.
- Qiao H, Lin C, Jiang Z y Ji L. 2015. Marble algorithm: a solution to estimating ecological niches from presence-only records. *Scientific reports*. 5(1): 1-10.
- Quesada-Quirós M, Acosta-Vargas LG, Arias-Aguilar D y Rodríguez-González A. 2017. Modelación de nichos ecológicos basado en tres escenarios de cambio climático para cinco especies de plantas en zonas altas de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 14(34), 01-12.
- Quijano-Ravell y Ponce-Saavedra (2016). Géneros de Salticidos (Arachnida: Salticidae: Araneae) urbanos de “Ciudad Caucel”, comisaría de Mérida, Yucatán, México. En: REFAMA Libro de Resúmenes del II Congreso de Fauna Nativa en Ambientes Antropizados. Red Temática Biología, Manejo y Conservación de Fauna Nativa en Ambientes Antropizados. Querétaro, Qro. México. pp. 61.
- Randall DA, Wood RA, Bony S, Colman R, Fichfet T, Fyfe J y Taylor KE. 2007. Climate models and their evaluation. En *Climate change (2007). The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC (FAR) (589-662 pp.)*. Cambridge University Press.
- Riahi K, Rao S, Krey V, Cho C, Chirkov V, Fischer G y Rafaj P. 2011. RCP 8.5—A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic change*. 109(1): 33-57.
- Richardson AD, Keenan TF, Migliavacca M, Ryu Y, Sonnentag O y Toomey M. 2013. Climate change, phenology, and phenological control of vegetation feedbacks to the climate system. *Agricultural and Forest Meteorology*. 169: 156-173.
- Riechert SE y Lockley T. 1984. Spiders as biological control agents. *Annual Review of Entomology*. 29(1): 299-320.
- Rivera-Olmos SR, Espinosa CG, Izquierdo CV, Zavala AT y Cruz FJG. 2011. Cambio Climático Global a través del tiempo geológico. *Investigación Universitaria*

- Multidisciplinaria: Revista de Investigación de la Universidad Simón Bolívar.* (10): 12.
- Rizzo V, Sánchez-Fernández D, Fresneda J, Cieslak A y Ribera I. 2015. Lack of evolutionary adjustment to ambient temperature in highly specialized cave beetles. *BMC Evolutionary Biology.* 15(1): 1-9.
- Rodríguez-Rodríguez SE, Solís-Catalán KP y Valdez-Mondragón A. 2015. Diversity and seasonal abundance of anthropogenic spiders (Arachnida: Araneae) in different urban zones of the city of Chilpancingo, Guerrero, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad.* 86(4): 962-971.
- Romero G, Gonçalves-Souza T, Roslin T, Marquis R, Marino N, Novotny V y Koricheva J. 2021. Climate variability and drought modulate the role of structural refuges for arthropods: a global experiment. Authorea Preprints.
- Romero GQ, Gonçalves-Souza T, Kratina P, Marino NA, Petry WK, Sobral-Souza T y Roslin T. 2018. Global predation pressure redistribution under future climate change. *Nature Climate Change,* 8(12), 1087-1091.
- Romo H, García-Barros E y Munguira ML. 2006. Distribución potencial de trece especies de mariposas diurnas amenazadas o raras en el área ibero-balear (Lepidoptera: Papilionoidea & Hesperioidea). *Boletín Asociación Española de Entomología.* 30(3-4): 25-49.
- Romo H, Sanabria P y García-Barros E. 2013. Predicción de los impactos del cambio climático en la distribución sobre las especies de Lepidoptera. El caso del género *Boloria* Moore, 1900 en la Península Ibérica (Lepidoptera: Nymphalidae). *SHILAP Revista de lepidopterología.* 41(162): 267-286.
- Root TL y Schneider SH. 2002. Climate change: overview and implications for wildlife. *Wildlife responses to climate change: North American case studies.* 10(2002): 765-766.

- Root TL, MacMynowski DP, Mastrandrea MD y Schneider SH. 2005. Human-modified temperatures induce species changes: joint attribution. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 102(21): 7465-7469.
- Root TL, Price JT, Hall KR, Schneider SH, Rosenzweig C y Pounds JA. 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*. 421(6918): 57-60.
- Roslin T, Hardwick B, Novotny V, Petry WK, Andrew NR, Asmus A y Slade EM. 2017. Higher predation risk for insect prey at low latitudes and elevations. *Science*, 356(6339), 742-744.
- Ruiz-Sánchez E, Clark LG, Mejia-Saules T y Lorea-Hernández F. 2018. A new species of *Merostachys* (Poaceae: Bambusoideae: Bambuseae: Arthrostylidiinae) with the northernmost distribution of the genus. *Phytotaxa*. 344(1): 31-38.
- Ryding S, Klaassen M, Tattersall GJ, Gardner JL y Symonds MR. 2021. Shape-shifting: changing animal morphologies as a response to climatic warming. *Trends in Ecology & Evolution*. 36(11): 1036-1048.
- Sánchez-Zavaleta CA. 2016. Evolución del concepto de cambio climático y su impacto en la salud pública del Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*. 33: 128-138.
- Sandidge JS y Hopwood JL. 2005. Brown recluse spiders: a review of biology, life history and pest management. *Transactions of the Kansas Academy of Science*. 108(3): 99-108.
- Sandidge JS y Hopwood JL. 2005. Brown recluse spiders: a review of biology, life history and pest management. *Transactions of the Kansas Academy of Science*. 108(3): 99-108.
- Sántiz EC, Lorenzo C, Carrillo-Reyes A, Navarrete DA e Islebe G. 2016. Effect of climate change on the distribution of a critically threatened species. *Therya*. 7(1): 147-159.
- Saupe EE, Hendricks JR, Portell RW, Dowsett HJ, Haywood A, Hunter SJ y Lieberman BS. 2014. Macroevolutionary consequences of profound climate change on niche

- evolution in marine molluscs over the past three million years. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 281(1795): 20141995.
- Saupe EE, Papes M, Selden PA, Vetter RS. 2011. Tracking a medically important spider: climate change, ecological niche modeling, and the brown recluse (*Loxosceles reclusa*). *PloS one*, 6(3): 17-31.
- Schramm FD, Valdez-Mondragón A y Prendini L. 2021. Volcanism and palaeoclimate change drive diversification of the world's largest whip spider (Amblypygi). *Molecular Ecology*. 30(12): 2872-2890.
- Šebela S, Turk J y Pipan T. 2015. Cave micro-climate and tourism: towards 200 years (1819–2015) at Postojnska jama (Slovenia). *Cave and Karst Science*. 42(2): 78-85.
- Shcheglovitova M y Anderson R. 2013. Estimating optimal complexity for ecological niche models: A jackknife approach for species with small simple sizes. *Ecological Modelling*. 269(2013): 9-17.
- Simó M, Guerrero JC, Giuliani L, Castellano I y Acosta LE. 2014. A predictive modeling approach to test distributional uniformity of Uruguayan harvestmen (Arachnida: Opiliones). *Zoological Studies*. 53(1): 1-13.
- SINAVE. 2016. Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica: Comportamiento de la intoxicación por veneno de arañas en el Estado de México. *Boletín Epidemiológico*. 33(24): 1-64.
- Sinclair SJ, White MD y Newell GR. 2010. How useful are species distribution models for managing biodiversity under future climates?. *Ecology and Society*. 15(1).
- Soberón J y Miller CP. 2009. Evolución de los nichos ecológicos. *Miscelánea Matemática*. 49: 83-99.
- Soberón J y Nakamura M. 2009. Niches and distributional areas: concepts, methods, and assumptions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 106(2): 19644-19650.

- Soberón J, Osorio-Olvera L y Peterson T. 2017. Diferencias conceptuales entre modelación de nichos y modelación de áreas de distribución. *Revista mexicana de biodiversidad*. 88(2): 437-441.
- Soberón JM y Peterson AT. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species distributional areas. *Biodiversity Informatics*. 2: 1-10.
- Soberón JM. 2007. Grinnellian and Eltonian niches and geographic distribution of species. *Ecology letters*. 10: 115-123.
- Soberón JM. 2010. Niche and area of distribution modeling: a population ecology perspective. *Ecography*. 33(1): 159-167.
- Solís-Catalán KP. 2020. Análisis morfométrico de estructuras sexuales y somáticas de las especies mexicanas de arañas del género *Loxosceles* Heineken y Lowe (Araneae, Sicariidae) del Centro-Occidente de México. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. Centro Tlaxcala de Biología de la Conducta, Universidad Autónoma de Tlaxcala, Tlaxcala, México. 124p.
- Solomon S, Manning M, Marquis M y Qin D. 2007. Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC (Vol. 4). Cambridge university press.
- Soon W y Baliunas S. 2003. Proxy climatic and environmental changes of the past 1000 years. *Climate Research*. 23(2): 89-110.
- Steen V, Sofaer HR, Skagen SK, Ray AJ y Noon BR. 2017. Projecting species' vulnerability to climate change: ¿which uncertainty sources matter most and extrapolate best?. *Ecology and Evolution*. 7(21): 8841-8851.
- Stockwell DR. y Peterson AT. 2002. Effects of sample size on accuracy of species distribution models. *Ecological modelling*. 148(1): 1-13.
- Stranges S, Cuervo-Robayo AP, Martínez-Meyer E, Morzaria-Luna HN y Reyes-Bonilla H. 2019. Distribución potencial bajo escenarios de cambio climático de corales del género *Pocillopora* (Anthozoa: Scleractinia) en el Pacífico oriental tropical. *Revista mexicana de biodiversidad*. 90.

- Tabor GM. 2002. Defining Conservation Medicine. In: Aguirre AA, Ostfeld RS, Tabor GM, Pearl MC (eds). Conservation Medicine. Ecological Health in Practice. Oxford University Press, New York, USA, Pp 8-16.
- Tahami MS, Zamani A, Sadeghi S y Ribera C. 2017. A new species of *Loxosceles* Heineken y Lowe, 1832 (Araneae: Sicariidae) from Iranian caves. *Zootaxa*. 4318: 377-387.
- Tanser FC, Sharp B y Le Sueur D. 2003. Potential effect of climate change on malaria transmission in Africa. *The Lancet*. 362(9398): 1792-1798.
- Taucare-Ríos A, Nentwig W, Bizama G y Bustamante RO. 2018. Matching global and regional distribution models of the recluse spider *Loxosceles rufescens*: to what extent do these reflect niche conservatism. *Medical and veterinary entomology*.
- Taucare-Ríos A. 2017. Comparando el nicho ambiental en el género *Metepeira* F.O. Pickard-Cambridge: un caso de diferenciación de nicho entre especies hermanas. *Revista Chilena de Entomología*. 42: 59-72.
- Thomas CD, Cameron A, Green RE, Bakkenes M, Beaumont LJ, Collingham YC y Williams SE. 2004. Extinction risk from climate change. *Nature*. 427(6970): 145-148.
- Thomson AM, Calvin KV, Smith SJ, Kyle GP, Volke A, Patel P y Edmonds JA. 2011. RCP4. 5: a pathway for stabilization of radiative forcing by 2100. *Climatic change*. 109(1): 77-94.
- Thuiller W, Lavorel S, Araújo MB, Sykes MT y Prentice IC. 2005. Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 102(23): 8245-8250.
- Ureta C, González EJ, Ramírez-Barrón M, Contreras-Félix GA y Santibáñez-López CE. 2020. Climate change will have an important impact on scorpion's fauna in its most diverse country, Mexico. *Perspectives in Ecology and Conservation*. 18(2): 116-123.

- Uribe-Botero E. 2015. El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina. UNCEPAL.
- Utset A. 2020. ClimaRisk. Obtenido de ClimaRisk: <https://climarisk.com/climate-models/>, acceso: (20/04/2020).
- Valdez-Mondragón A, Cortez-Roldán MR, Juárez-Sánchez AR y Solís-Catalán KP. 2018b. A new species of *Loxosceles* Heineken & Lowe (Araneae, Sicariidae), with updated distribution records and biogeographical comments for the species from Mexico, including a new record of *Loxosceles rufescens* (Dufour). *ZooKeys*. 802: 39-66.
- Valdez-Mondragón A, Cortez-Roldán MR, Juárez-Sánchez AR, Solís-Catalán P y Navarro-Rodríguez CI. 2018a. Arañas de Importancia Médica: Arañas violinistas del género *Loxosceles* en México, ¿qué sabemos acerca de su distribución y biología hasta ahora? *Boletín de la Asociación Mexicana de Sistemática de Artrópodos (AMXSA)*. 2(1): 14-24.
- Valdez-Mondragón A, Navarro-Rodríguez CI, Solís-Catalán KP, Cortez-Roldán MR, Juárez-Sánchez AR. 2019. Under an integrative taxonomic approach: the description of a new species of the genus *Loxosceles* (Araneae, Sicariidae) from Mexico City. *ZooKeys* 892: 93–133.
- Van Vuuren DP, Den-Elzen MG, Lucas PL, Eickhout B, Strengers BJ, Van Ruijven B y Van Houdt R. 2007. Stabilizing greenhouse gas concentrations at low levels: an assessment of reduction strategies and costs. *Climatic change*. 81(2): 119-159.
- Vetter RS y Barger DK. 2002. An infestation of 2,055 brown recluse spiders (Araneae: Sicariidae) and no envenomations in a Kansas home: implications for bite diagnoses in nonendemic areas. *Journal of Medical Entomology*. 39(6): 948-951.
- Vetter RS, Cushing PE, Crawford RL y Royce LA. 2003. Diagnoses of brown recluse spider bites (loxoscelism) greatly outnumber actual verifications of the spider in four western American states. *Toxicon*. 42: 413–418.

- Vetter RS. 2008. Spiders of the genus *Loxosceles* (Araneae, Sicariidae): a review of biological, medical, and psychological aspects regarding envenomations. *The Journal of Arachnology*. 36: 150–163.
- Vetter RS. 2015. The Brown Recluse Spider. Cornell University Press, Ithaca and London, Comstock Publishing Associates. 186 pp.
- Vidé JM. 1990. La percepción del clima en las ciudades. *Revista de geografía*, 27-33.
- Vié JC, Hilton-Taylor C y Stuart SN. 2009. Wildlife in a changing world: an analysis of the 2008 IUCN Red List of threatened species. IUCN.
- Waltari E y Guralnick RP. 2009. Ecological niche modelling of montane mammals in the Great Basin, North America: examining past and present connectivity of species across basins and ranges. *Journal of Biogeography*. 36(1): 148-161.
- Walther GR, Post E, Convey P, Menzel A, Parmesan C, Beebee TJ y Bairlein F. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature*. 416(6879): 389-395.
- Walther GR. 2010. Community and ecosystem responses to recent climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 365(1549): 2019-2024.
- Warren DL y Seifert SN. 2011. Ecological niche modeling in Maxent: the importance of model complexity and the performance of model selection criteria. *Ecological applications*. 21(2): 335-342.
- Warren DL, Glor RE y Turelli M. 2008. Environmental niche equivalency versus conservatism: quantitative approaches to niche evolution. *Evolution: International Journal of Organic Evolution*. 62(11): 2868-2883.
- Watanabe M, Suzuki T, O'ishi R, Komuro Y, Watanabe S, Emori S y Kimoto M. 2010. Improved climate simulation by MIROC5: Mean states, variability, and climate sensitivity. *Journal of Climate*. 23(23): 6312-6335.
- Wickler W y Seibt U. 1986. Aerial dispersal by ballooning in adult *Stegodyphus mimosarum*. *Naturwissenschaften*. 73: 628-629.

- Wiens JJ y Graham CH. 2005. Niche conservatism: integrating evolution, ecology, and conservation biology. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 36: 519-539.
- Wiens JJ, Ackerly DD, Allen AP, Anacker BL, Buckley LB, Cornell HV y Stephens PR. 2010. Niche conservatism as an emerging principle in ecology and conservation biology. *Ecology letters*. 13(10): 1310-1324.
- Williams JW y Jackson ST. 2007. Novel climates, no-analog communities, and ecological surprises. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 5(9): 475-482.
- Williams P, Gibbons D, Margules C, Rebelo A, Humphries C y Pressey R. 1996. A comparison of richness hotspots, rarity hotspots, and complementary areas for conserving diversity of British birds. *Conservation Biology*. 10(1): 155-174.
- Williams SE, Shoo LP, Isaac JL, Hoffmann AA y Langham G. 2008. Towards an integrated framework for assessing the vulnerability of species to climate change. *PLoS biology*. 6(12): e325.
- Wisn MS, Hijmans RJ, Li J, Peterson AT, Graham CH, Guisan A y NCEAS Predicting Species Distributions Working Group. 2008. Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and distributions*. 14(5): 763-773.
- Woodward FI. 1987. Stomatal numbers are sensitive to increases in CO₂ from pre-industrial levels. *Nature*. 327(6123): 617-618.
- World Spider Catalog (2021). World Spider Catalog. Version 22.0. Natural History Museum Bern, en línea: <http://wsc.nmbe.ch>, acceso: (29/12/2021).
- Yan H, Feng L, Zhao Y, Feng L, Zhu C, Qu Y. y Wang H. 2020. Predicting the potential distribution of an invasive species, *Erigeron canadensis* L., in China with a maximum entropy model. *Global Ecology and Conservation*. 21: e00822.
- Yáñez-Arenas C, Mandujano S, Martínez-Meyer E, Pérez-Arteaga A y González-Zamora A. 2012. Modelación de la distribución potencial y el efecto del cambio de uso de

suelo en la conservación de los ungulados silvestres del Bajo Balsas, México. *Therya*. 3(1): 67-80.

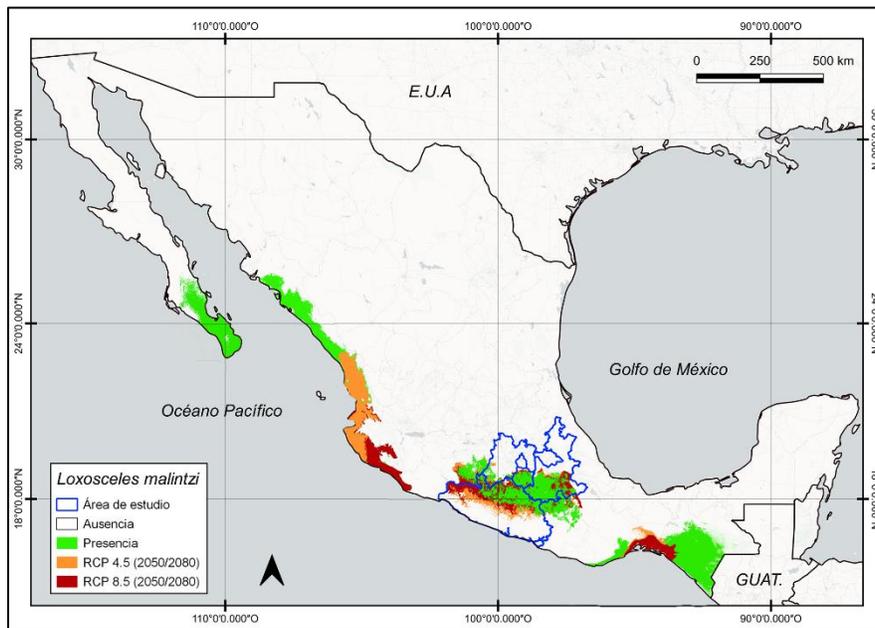
Yáñez-Arenas C, Peterson AT, Rodríguez-Medina K y Barve N. 2016. Mapping current and future potential snakebite risk in the new world. *Climatic change*. 134(4): 697-711.

Yost AC, Petersen SL, Gregg M y Miller R. 2008. Predictive modeling and mapping sage grouse (*Centrocercus urophasianus*) nesting habitat using Maximum Entropy and a long-term dataset from Southern Oregon. *Ecological Informatics*. 3(6): 375-386.

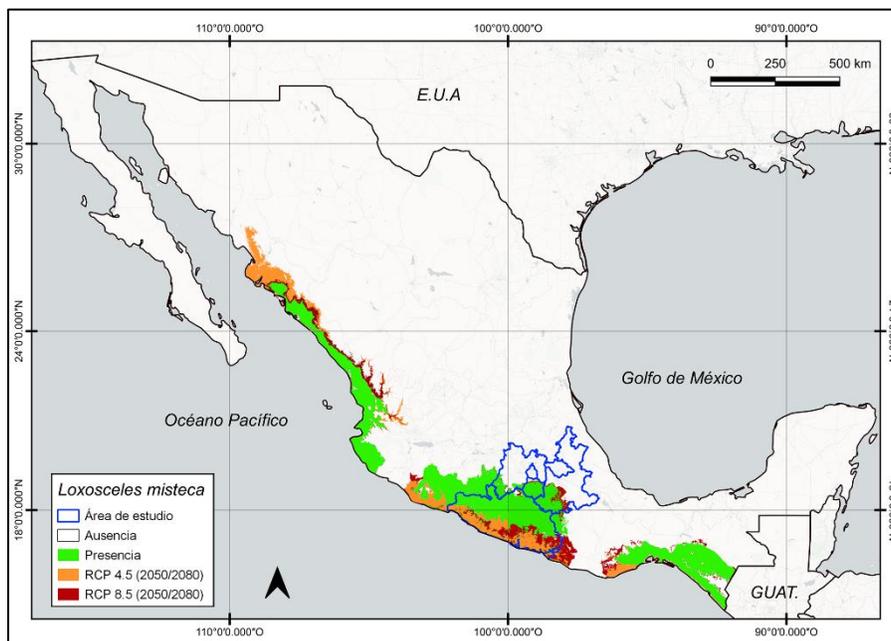
11. ANEXOS

Anexo I. Mapas de distribución potencial y de los escenarios de cambio climático a nivel país de las cuatro especies de *Loxosceles* consideradas en el estudio.

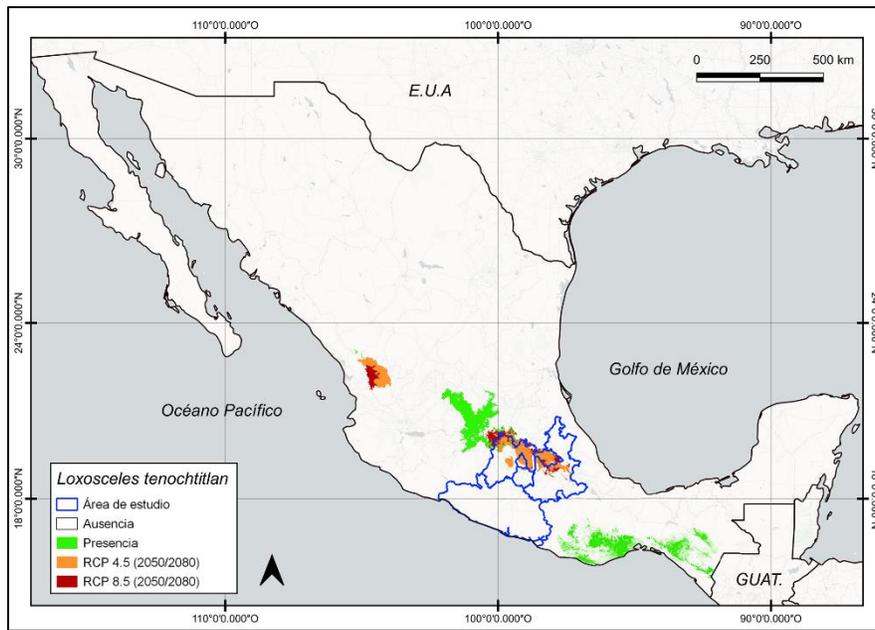
Loxosceles malintzi



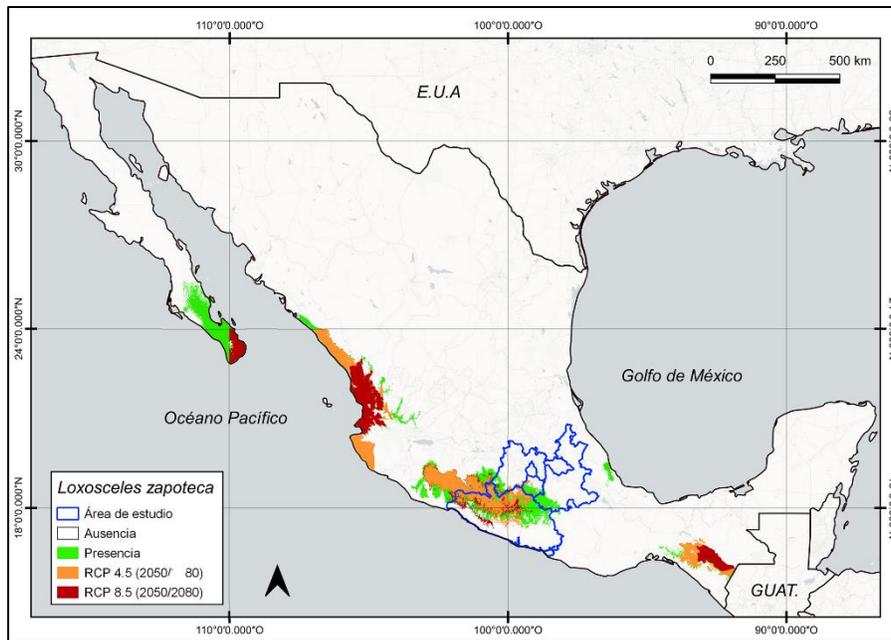
Loxosceles misteca



Loxosceles tenochtitlan

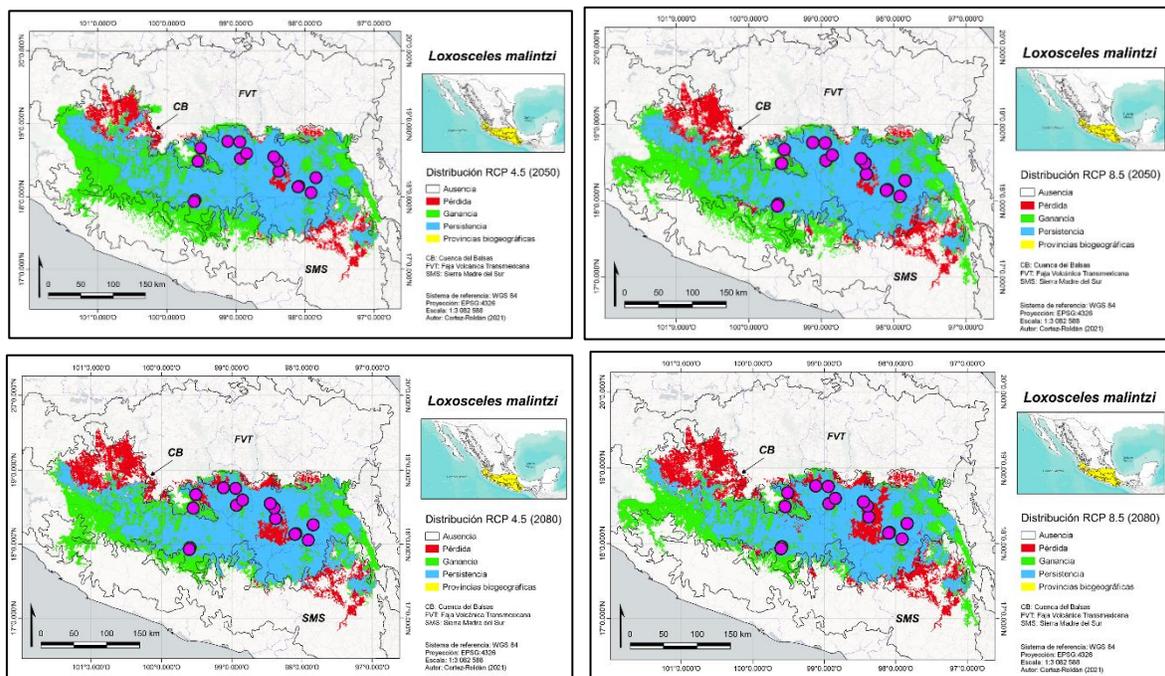


Loxosceles zapoteca

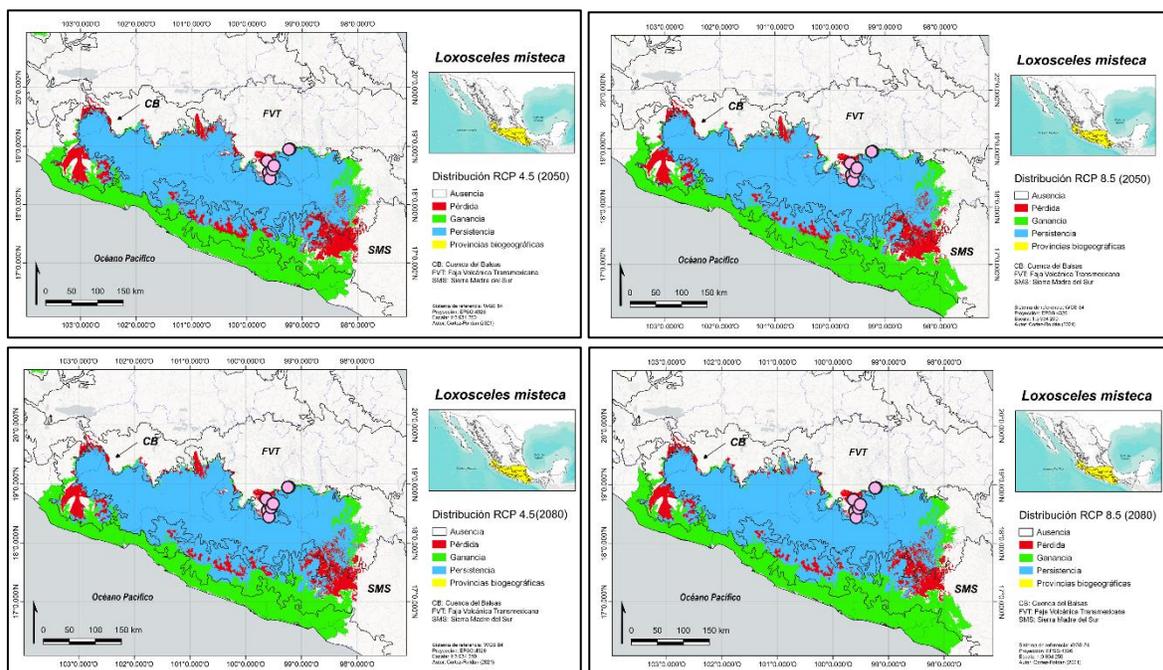


Anexo II. Mapas de distribución potencial futura para los escenarios de cambio climático: RCP 4.5 (2050 y 2080) y 8.5 (2050 y 2080) de las cuatro especies de *Loxosceles*.

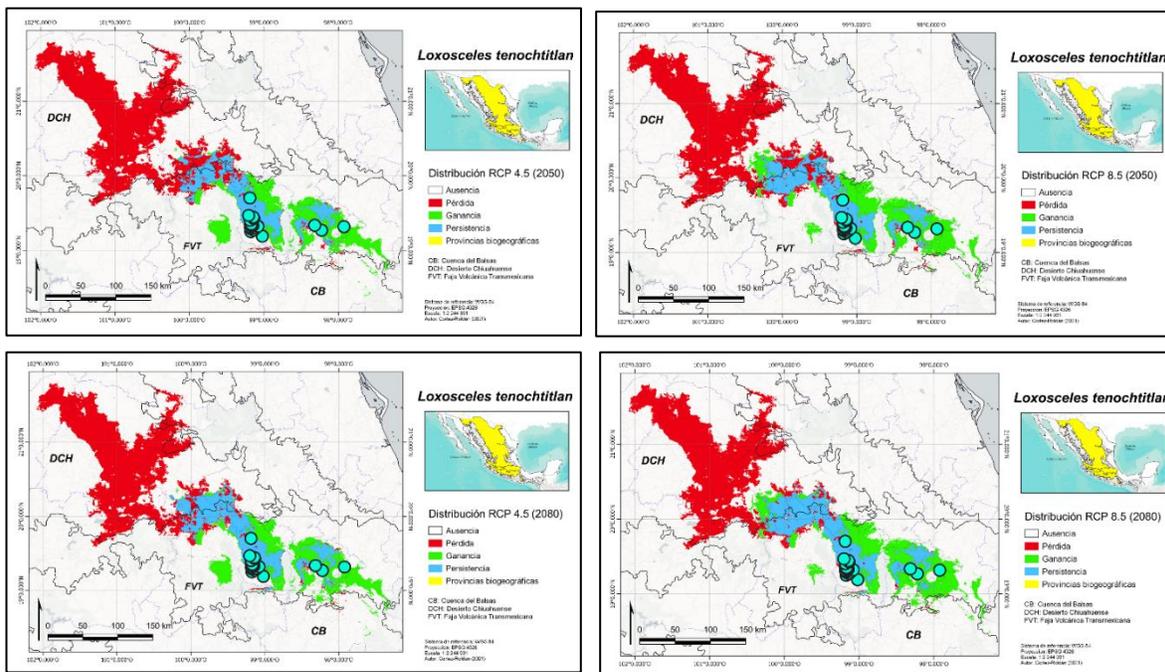
Loxosceles malintzi



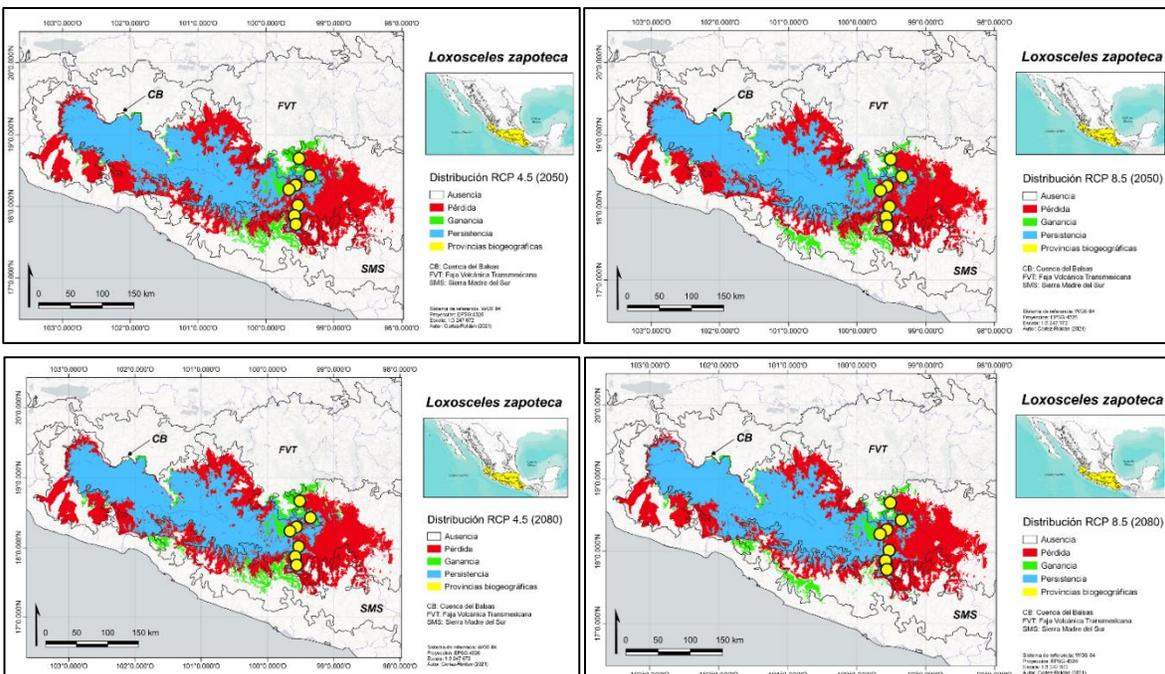
Loxosceles misteca



Loxosceles tenochtitlan

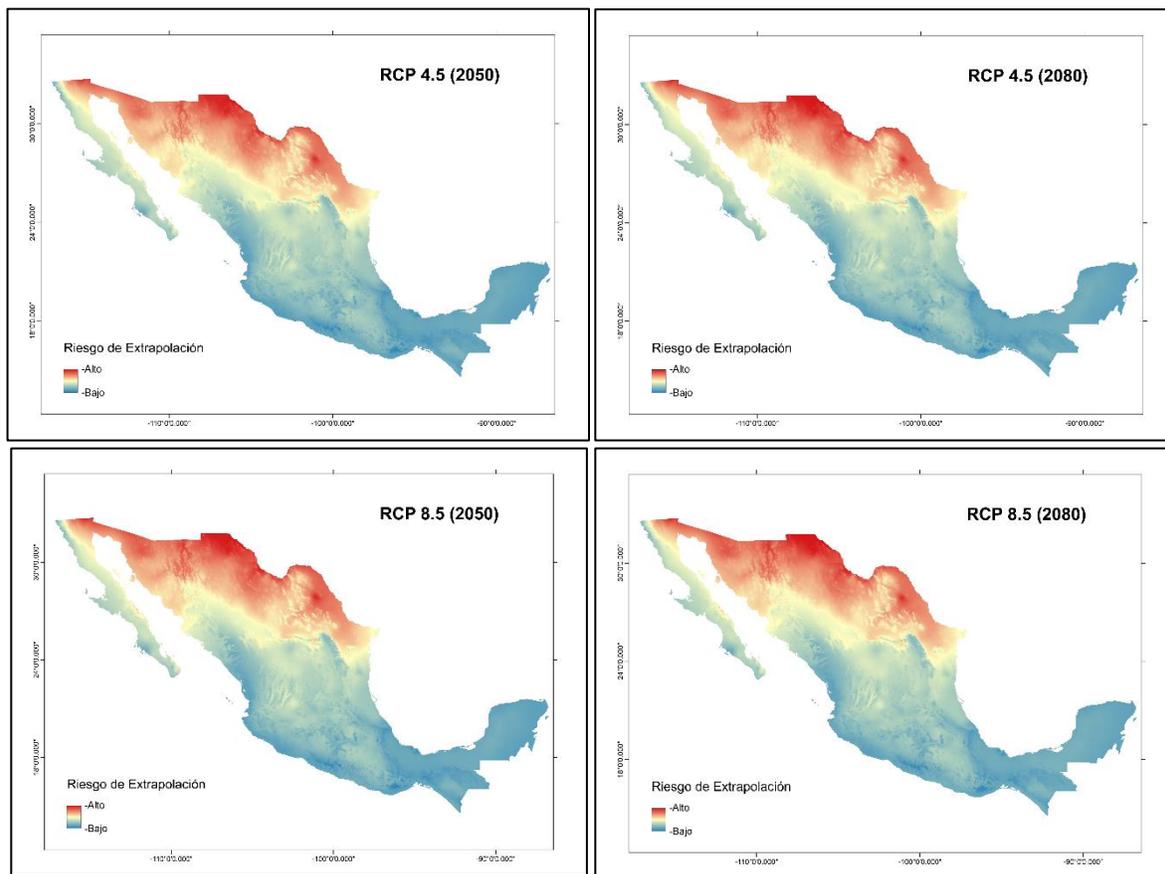


Loxosceles zapoteca



Anexo III. Análisis de riesgo de extrapolación (MESS).

Análisis MESS de riesgo de extrapolación del área de calibración en las condiciones actuales al área de proyección en condiciones futuras para los RCP 4.5 (2050 y 2080). Los valores rojos representan áreas extrapolativas. Los valores azules representan niveles de similitud entre el área de calibración y los diferentes escenarios de proyecciones de RCP.



12.PUBLICACIONES

“Under an integrative taxonomic approach: the description of a new species of the genus *Loxosceles* (Araneae, Sicariidae) from Mexico City”.

<https://doi.org/10.3897/zookeys.892.39558>

ZooKeys 892: 93–133 (2019)
doi: 10.3897/zookeys.892.39558
<http://zookeys.pensoft.net>

RESEARCH ARTICLE

A peer-reviewed open access journal
ZooKeys
Launched to accelerate biodiversity research

Under an integrative taxonomic approach: the description of a new species of the genus *Loxosceles* (Araneae, Sicariidae) from Mexico City

Alejandro Valdez-Mondragón^{1,3}, Claudia I. Navarro-Rodríguez^{2,4},
Karen P. Solís-Catalán^{2,4}, Mayra R. Cortez-Roldán², Alma R. Juárez-Sánchez²

1 CONACYT Research Fellow. Laboratory of Arachnology (LATLAX), Laboratorio Regional de Biodiversidad y Cultivo de Tejidos Vegetales (LBCTV), Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), sede Tlaxcala, Ex-Fábrica San Manuel, San Miguel Contla, C. P. 90640 Santa Cruz Tlaxcala, Tlaxcala, Mexico **2** Laboratory of Arachnology (LATLAX), Laboratorio Regional de Biodiversidad y Cultivo de Tejidos Vegetales (LBCTV), Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), sede Tlaxcala, Mexico **3** Colección Nacional de Arácnidos (CNAN), Departamento de Zoología, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Ciudad Universitaria, Apartado Postal 04510, Coyoacán, Mexico City, Mexico **4** Posgrado en Ciencias Biológicas, Centro Tlaxcala de Biología de la Conducta (CTBC), Universidad Autónoma de Tlaxcala (UATx), Carretera Federal Tlaxcala-Puebla, Km. 1.5, C. P. 90062, Tlaxcala, Tlaxcala, Mexico

Corresponding author: Alejandro Valdez-Mondragón (lat_mactans@yahoo.com.mx)

Academic editor: A. Pérez-González | Received 30 August 2019 | Accepted 4 October 2019 | Published 27 November 2019

<http://zoobank.org/E176337C-6F78-4462-8FDD-ACB727CD43E4>

Citation: Valdez-Mondragón A, Navarro-Rodríguez CI, Solís-Catalán KP, Cortez-Roldán MR, Juárez-Sánchez AR (2019) Under an integrative taxonomic approach: the description of a new species of the genus *Loxosceles* (Araneae, Sicariidae) from Mexico City. ZooKeys 892: 93–133. <https://doi.org/10.3897/zookeys.892.39558>

Resumen del VI Congreso Latinoamericano de Aracnología 2020.

“Efecto del cambio climático y avances en el conocimiento de la distribución potencial de cuatro especies del género *Loxosceles* (Araneae: Sicariidae) del Centro-Occidente de México”.

Efecto del cambio climático y avances en el conocimiento de la distribución potencial de cuatro especies del género *Loxosceles* (Araneae: Sicariidae) del Centro-Occidente de México

Mayra Rocío Cortez-Roldán*: Posgrado en Ciencias Biológicas, Centro Tlaxcala de Biología de la Conducta, Universidad Autónoma de Tlaxcala. Laboratorio de Aracnología (LATLAX), Laboratorio Regional de Biodiversidad y Cultivo de Tejidos Vegetales del Instituto de Biología UNAM, sede Tlaxcala, México, mayracortez2206@gmail.com

Alejandro Valdez-Mondragón: Laboratorio de Aracnología (LATLAX), Laboratorio Regional de Biodiversidad y Cultivo de Tejidos Vegetales del Instituto de Biología UNAM, sede Tlaxcala. Colección Nacional de Arácnidos (CNAN), Departamento de Zoología, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, lat_mactans@yahoo.com.mx

México es el país con la mayor diversidad de especies del género *Loxosceles* a nivel mundial con 40 de 140. Siendo las especies de la región Centro-Occidente (CO), las más estudiadas